



TESIS DOCTORAL

Revisión y estudio crítico sobre
diseño de ensambles de mobiliario de
madera para fresadora CNC de 3 ejes.
Estado del arte y propuestas.

Autor:

Víctor Armas Crespo

Director:

Pablo R. Prieto Dávila

Programa de Doctorado en Humanidades: Lenguaje y Cultura

Escuela Internacional de Doctorado

2023

Agradecimientos	8
Resumen.....	9
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Motivación	14
1.2. Objetivos.....	15
1.3. Materiales	18
1.4. Metodología para las referencias bibliográficas	21
1.5. Metodología para manejo experimental y docencia	23
1.6. Estructura de la memoria doctoral.....	25
CAPÍTULO 2. RESULTADOS.....	27
2.1. Bases documentales	28
2.2. Tabla de publicaciones	29
2.3. Presentación de los resultados del trabajo de investigación documental	37
2.4. Estructura del análisis de las referencias documentales	40
2.5. Presentación de resultados derivados del trabajo experimental	42
2.6. (1998-2006) C-Lab at HfG Group. Germany	45
2.6.1. Introducción	45
2.5.2. #1. (1997) 50 Digital Wood Joints	53
2.6.3. #2. (2001) Furniture Industry has to reconsider all products – Call it Customization Design	54
2.6.4. #3. (2003) C_Moebel	55
2.6.5. #4. (2003) Technofactory versus Mini-Plants: Potentials for a decentralized sustainable furniture production	56
2.6.6. #7. (2006) Use-Inspired Basic Research: Improved Understanding and Innovative Products - a Case Study	56
2.6.7. Principales aportaciones del C-Lab at HfG Group	57
2.7. Década 2000. Investigaciones aisladas	60
2.7.1. #5. (2004) SkinChair	60
2.7.2. #6. (2006) Design of a CNC Routed Sheet Good Chair	62
2.7.3. #8. (2007) Materializing a design with plywood	64
2.7.4. #9. (2009) Légumes Urbaines: Digital Modeling Transformations + Prototype Fabrication Based on the Egg Crate Construction Method	67
2.7.5. #10. (2010) A contribuição da prototipagem com emprego de fresadora CNC no processo de design de produto	69
2.8. Década 2010. Comienzan los Grupos Técnicos.....	72
2.8.1. #20. (2014) Finite Element Analysis of Wood Materials	74
2.9. (2010-2018) Mendel University Group. Czech Republic.....	77
2.9.1. Introducción	77
2.9.2. #11. (2010) Finite element analysis of dovetail joint made with the use of CNC technology.....	77

2.9.3. #12. (2010) Traditional Furniture Joinery from the Point of View of Advanced Technologies	78
2.9.4. #13. (2010) Chair design for CNC manufacturing – Skeleton Chair	80
2.9.5. #19. (2013) Possibilities of CNC Manufacturing with Regard to Furniture Design	82
2.9.6. #21, #22, #28. (2014) Development of Ready-to-Assemble (RTA) Furniture Constructions. (2015) Displacement in a Loaded Wooden Chair by Using Digital Image Correlation. (2017) furniture testing for higher competitiveness, better quality and design	85
2.9.7. #30. (2018) Experimental Development of Wood Products	88
2.9.8. Principales aportaciones del Mendel University Group	90
2.10. (2011-2017) Grupo AtFAB at University of Kentucky (AtFAB at UK). USA .	93
2.10.1. Introducción	93
2.10.2. #14. (2011) Design Offered Up: Control and Open Outcomes in a Digitally Enabled Design Process	94
2.10.3. #15. (2011) Design intercalated: The AtFAB project	97
2.10.4. #27. (2017) Design for CNC: Furniture Projects and Fabrication Technique	100
2.10.5. Principales aportaciones del Grupo AtFAB at University of Kentucky (AtFAB at UK)	103
2.11. Creadores y autores citados en <i>Design for CNC</i>	105
2.11.1. Ronen Kadushin	105
2.11.2. Colectivo Droog	109
2.11.3. Jens Dyvik	109
2.11.4. Joni y David Steiner	110
2.11.5. Otros autores	111
2.11.6. #17. (2011) SketchChair: An All-in-one Chair Design System for End Users	111
2.12. (2013-2017) Technical University in Zvolen (TUZVO) Group. Slovakia	114
2.12.1. Introducción	114
2.12.2. #18. (2013) Strength properties of self-locking furniture joints with shape adapted for the production by CNC technology	115
2.12.3. #25. (2017) Mechanical Properties of Furniture Self-locking Frame Joints	117
2.12.4. #26. (2017) Experimental and theoretical analysis of impact of shape selected type of self-locking joints on their mechanical properties	119
2.12.5. Principales aportaciones del Technical University in Zvolen (TUZVO) Group	121
2.13. (2011-2019) Purdue University Group. USA	123
2.13.1. Introducción	124
2.13.2. #16. (2011) Approach to furniture design education at Purdue University	125
2.13.3. #23. (2015) Determining Tension and Compression Strength and Basic Manufacturing Feasibility of CNC Router-cut Joints	127
2.13.4. #31. (2019) Manufacturing Feasibility Analysis and Load Carrying Capacity of Computer Numerical Control Cut Joints with Interlocking Assembly Feature	129
2.13.5. Principales aportaciones del Purdue University Group	132
2.14. Década 2010. Investigaciones aisladas	135
2.14.1. #24. (2016) Parametrically Fabricated Joints: Creating a Digital Workflow	135
2.14.2. #29. (2018) Furniture Design with Digital Media	138

2.14.3. #32. (2019) Assembly furniture.....	140
2.14.4. #33. (2021) Simply Wood. Design of All-Wood Furniture Joints.....	142
2.15. Otras publicaciones	145
2.15.1. (2018) MatchSticks: Woodworking through improvisational digital fabrication	145
2.15.2. (2020) Traditional Knowledge on Modern Milling Robots	147
2.15.3. (2020) Snap-Fit Joinery System Using Pinewood Material Elasticity Properties. (Samboro et al. 2020).....	149
2.15.4. (2021) Fabrication-aware Design for Furniture with Planar Pieces.....	150
2.14.5. (2017) Towards Zero-Waste Furniture Design	152
2.15.6. (2021) El Diseño de mobiliario de madera fabricado por router CNC.....	153
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	155
3.1. Contenido para formación, docencia e investigación.....	157
3.1.1. Discusión sobre el uso de la fresadora CNC	157
3.1.2. Ensamblajes: análisis y discusión	158
3.1.3. Esquemas de trabajo que facilitan el proceso de aprendizaje.....	179
3.1.4. Talleres de Trabajo	187
3.1.5. Valoración de debilidades y fortalezas de la CNC	190
3.2. Contenidos para desarrollo industrial.....	193
3.2.1. Transferencias al sector industrial	193
3.2.2. Colaboraciones con el sector Industrial	197
3.2.3. Digitalización: modelos productivos eficientes	198
CAPÍTULO 4. SOSTENIBILIDAD.....	205
4.1. Señales en la naturaleza.....	207
4.2. Permeabilidad del concepto de sostenibilidad a distintos campos prácticos incluyendo el diseño	208
4.3. El principio de los ODS: Naciones Unidas por la sostenibilidad y la concienciación social.....	211
4.4. La sostenibilidad en la producción de mobiliario	212
4.4.1. Madera	213
4.4.2. Contrachapado.....	216
4.4.3. Adhesivos	216
4.4.4. Acabados	217
4.4.5. Regulaciones	218
4.4.6. Optimización de recursos.....	220
4.4.7. Sostenibilidad en el diseño.....	221
4.4.8. Conceptos y estrategias de diseño sostenible.....	222
CAPÍTULO 5. PROPUESTAS	224
5.1. Propuestas de carácter general.....	225
5.2. Propuestas para la docencia.....	226

5.3. Propuestas para la investigación.....	227
5.4. Propuesta para transferencia.....	228
5.5. Propuestas para la industria.....	229
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....	230
GLOSARIO.....	232
BIBLIOGRAFÍA.....	235
APÉNDICE 1: Materiales adicionales.....	241
A1.1. (1998-2006) C-Lab at HfG Group. Germany.....	242
A1.1.1. #1. (1997) 50 Digital Wood Joints.....	242
A1.1.2. #2. (2001) Furniture Industry has to reconsider all products – Call it Customization Design.....	242
A1.1.3. #3. (2003) C_Moebel.....	244
A1.1.4. #4. (2003) Technofactory versus Mini-Plants: Potentials for a decentralized sustainable furniture production.....	245
A1.1.5. #7. (2006) Use-Inspired Basic Research: Improved Understanding and Innovative Products - a Case Study.....	248
A1.2. Década 2000. Investigaciones aisladas.....	252
A1.2.1. #5. (2004) SkinChair.....	252
A1.2.2. #6. (2006) Design of a CNC Routed Sheet Good Chair.....	255
A1.2.3. #8. (2007) Materializing a design with plywood.....	261
A1.2.4. #9. (2009) Légumes Urbaines: Digital Modeling Transformations + Prototype Fabrication Based on the Egg Crate Construction Method.....	263
A1.2.5 #10. (2010) A contribuição da prototipagem com emprego de fresadora CNC no processo de design de produto.....	266
A1.3. Década 2010. Comienzan los Grupos Técnicos.....	269
A1.3.1. #20. (2014) Finite Element Analysis of Wood Materials.....	269
A1.4. (2010-2018) Mendel University Group. Czech Republic.....	275
A1.4.1. #11. (2010) Finite element analysis of dovetail joint made with the use of CNC technology.....	275
A1.4.2. #12. (2010) Traditional Furniture Joinery from the Point of View of Advanced Technologies.....	276
A1.4.3. #13. (2010) Chair design for CNC manufacturing – Skeleton Chair.....	278
A1.4.4. #19. (2013) Possibilities of CNC Manufacturing with Regard to Furniture Design.....	280
A1.4.5. #21, #22, #28. (2014) Development of Ready-to-Assemble (RTA) Furniture Constructions. (2015) Displacement in a Loaded Wooden Chair by Using Digital Image Correlation. (2017) furniture testing for higher competitiveness, better quality and design.....	284
A1.4.6. #30. (2018) Experimental Development of Wood Products.....	288
A1.5. (2011-2017) Grupo AtFAB at University of Kentucky (AtFAB at UK). USA.....	291
A1.5.1. #14. (2011) Design Offered Up: Control and Open Outcomes in a Digitally Enabled Design Process.....	291
A1.5.2. #15. (2011) Design intercalated: The AtFAB project.....	295

A1.5.3. #27. (2017) Design for CNC: Furniture Projects and Fabrication Technique	301
A1.6. Creadores y autores citados en <i>Design for CNC</i>.....	316
A1.6.1. #17. (2011) SketchChair: An All-in-one Chair Design System for End Users	316
A1.7. (2013-2017) Technical University in Zvolen (TUZVO) Group. Slovakia ...	320
A1.7.1. #18. (2013) Strength properties of self-locking furniture joints with shape adapted for the production by CNC technology	320
A1.7.2. #25. (2017) Mechanical Properties of Furniture Self-locking Frame Joints	322
A1.7.3. #26. (2017) Experimental and theoretical analysis of impact of shape selected type of self-locking joints on their mechanical properties	324
A1.8. (2011-2019) Purdue University Group. USA.....	328
A1.8.1. #16. (2011) Approach to furniture design education at Purdue University.....	328
A1.8.2. #23. (2015) Determining Tension and Compression Strength and Basic Manufacturing Feasibility of CNC Router-cut Joints	331
A1.8.3. #31. (2019) Manufacturing Feasibility Analysis and Load Carrying Capacity of Computer Numerical Control Cut Joints with Interlocking Assembly Feature	332
A1.9. Década 2010. Investigaciones aisladas	339
A1.9.1. #24. (2016) Parametrically Fabricated Joints: Creating a Digital Workflow.....	339
A1.9.2. #29. (2018) Furniture Design with Digital Media	342
A1.9.3. #32. (2019) Assembly furniture	347
A1.9.4. #33. (2021) Simply Wood. Design of All-Wood Furniture Joints.....	349
A1.10. Otras publicaciones.....	352
A1.10.1. (2018) MatchSticks: Woodworking through improvisational digital fabrication.....	352
A1.10.2. (2020) Traditional Knowledge on Modern Milling Robots.....	356
A1.10.3. (2020) Snap-Fit Joinery System Using Pinewood Material Elasticity Properties. (Samboro et al. 2020).....	359
A1.10.4. (2021) Fabrication-aware Design for Furniture with Planar Pieces	361
A1.10.5. (2016) Towards Zero-Waste Furniture Design.....	362
A1.10.6. (2021) El Diseño de mobiliario de madera fabricado por router CNC.	362
APÉNDICE 2:	365
A2.1 Silla LFC	366
A2.2 Mueble Kerfing.....	367
A2.3 Ermel chair	368
A2.4 Shell lounge chair	369
A2.5 organik table	370
A2.6 Talbum	371
A2.7 Silla b-8	372
A2.8 Arakne.....	373
A2.9 Duit.....	374
A2.10 Loungechair Vol 4.....	375

“We should work for simple, good, undecorated things, but things that are in harmony with the human being and organically suited so the little man in the street.”

Alvar Aalto, London, 1957.

Furniture and glass: [exhibition] the Museum of Modern Art, New York. 2017.

Agradecimientos

En primer lugar, a la Universidad Rey Juan Carlos que ha acogido esta investigación y facilitado su desarrollo. A mi director Dr. Pablo R. Prieto Dávila, por su confianza y apoyo para iniciarme en una investigación difícil abriendo un campo con escasas referencias previas, y por su indispensable colaboración en la elaboración de la Tesis. A la Dra. M^a Luisa Walliser Martín por haber contado conmigo en el desarrollo de la programación docente y por facilitar los medios instrumentales para el desarrollo de esta Tesis. Asimismo, agradezco por su disponibilidad a todos los colegas del grupo de innovación DINAMO de la URJC.

A la Profa. Dra. Sara Álvarez Sarrat (Facultad de Bellas Artes, UPV), por haberme introducido en ámbitos docentes e investigadores de la mayor utilidad para mi trabajo futuro. A la Dra. Marlene López de Laboratorio Biomimético© por su imprescindible contribución en mi formación y contenidos de esta Tesis.

A Pablo G.A. y a mi familia especialmente a los más próximos. Han sido incondicionales y estimulantes en la presente como en muchas otras facetas de mi vida. Todos ellos han sido esenciales en mis logros personales. A los amigos que pienso recuperar a partir de ahora.

Resumen

Esta Tesis trata de ser una puesta al día y un aprendizaje riguroso del autor sobre la temática y estado del arte del diseño digital de objetos usando una máquina asequible como la fresadora CNC (se puede comprar con una mínima inversión) que, comparando con el trabajo industrial o artístico o artesanal predigital, puede producir los objetos a gran escala con mayor eficiencia; y puede hacerlo más deprisa y de forma más económica que en la era predigital y si fuera preciso con calidades homologables. En otras palabras, muestra el camino seguido para aprender a ser un diseñador digital de muebles, es decir un carpintero digital creativo. Los objetos fabricados, en los que se ha centrado este trabajo, han sido muebles, aunque ocasionalmente fueron máscaras/viseras sanitarias en plástico transparente durante la pandemia. Para ello se



covid.fighters. Fuente: @perezmecaphtoto

ha trabajado (i) simultaneando el proceso de documentación sobre referencias previas de autores precedentes o actuales (desde 1997 a 2022) y su estudio pormenorizado y al detalle, con el proceso de aprendizaje del uso de la máquina fresadora CNC; desde la concepción de una idea y de su proyecto hasta la elaboración del prototipo. (ii) Entrenando, cientos de veces (>250), el funcionamiento de la fresadora con cualquier mueble proyectado, trabajando especialmente el

punto crítico de la fabricación que son los ensambles entre piezas. (iii) Practicando cientos de horas (>250) con decenas de distintos muebles sencillos, interactuando con los estudiantes en su formación de grado, o como cooperante social voluntario haciendo material sanitario en el primer semestre del 2020 para, desde la universidad, ayudar con máscaras plásticas u otras piezas a los hospitales en los peores momentos de pandemia, junto con otros compañeros. (iv) Por fin, se culmina en esta memoria el proceso de formación recorrido por el autor de la Tesis para, a partir de ahora, poder explotar con solvencia, las propias ideas conducentes a enseñar mejor y a crear investigación o arte propio y a ofrecer transferencia en fabricación digital a los entornos locales, por la vía de la oferta y venta de servicios desde nuestro grupo de investigación universitario y/o por la preparación de jóvenes graduados dispuestos para ejercer como capital humano competente y estimulado.

El inicial acercamiento personal a la fabricación digital en grandes firmas del mercado moderno de muebles se hace por nuestra parte gracias al trabajo en *startups* del sector, como se describe en el texto (pág. 16). Las grandes transnacionales trabajan con otras máquinas de dimensiones y costes de mucho mayor escala. Sin embargo, en lo esencial (programas etc) usan la misma metodología que las fresadoras de tres ejes, más sencillas y económicas, como la que pudimos comprar en la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid (URJC).

En el **Capítulo 1** (1.2, 1.3, 1.4 y 1.5) se detallan los métodos de trabajo y programas de virtualización que se usaron con la fresadora, así como los programas de preparación que conducen al diseño mismo de un prototipo. Asimismo, se facilitan las características de la fresadora provistas por el fabricante y de los materiales, que han sido fundamentalmente derivados de la madera. Solo se alude tangencialmente a otros materiales que accidentalmente fueron utilizados con otro fin (ej. metacrilato para material sanitario).

Capítulo 2 (bases documentales). Con el fin de que en un futuro nuestro trabajo sea reproducible y, en todo caso mejorable, se ha tratado de huir de la improvisación y de explotar al máximo las experiencias de autores anteriores. En el texto se muestra y detalla la metodología que se ha seguido para el rastreo de referencias y documentación académica. El resultado de la búsqueda pudo confirmar que el tema tenía interés (33 referencias importantes) pero que existía una fuerte dispersión en cuanto a los contenidos y objetivos del conjunto de las referencias. Se procedió a su estudio estrujando al máximo cada publicación y describiendo su contenido en detalle y efectuando un agrupamiento de las publicaciones en categorías funcionales (2.3., pág. 39). Como puede verse en el capítulo, además de una tabla resumen (epígrafe 2.2.), la memoria ofrece una revisión crítica de todos los trabajos, referidos a los grupos de investigación o escuelas científicas que han investigado sobre fabricación digital de mobiliario y los avances logrados por cada uno, aportando discusión e interpretación de sus impactos y aportaciones. En este capítulo se recoge solo los resúmenes del estudio de cada publicación o documento (desde 2.6. hasta 2.15.). Documentación adicional importante para quien busque información reproductiva sobre estos resultados se ofrece más detallada en el Apéndice 1.

Esta memoria no puede restringirse a presentar los resultados sobre las referencias de autores previos. Nuestro estudio ha estado basado simultáneamente en experiencia. Así se recalca que los resultados experimentales son parte importante de la memoria y constitutiva de la Tesis; estos están representados por nuestra experimentación (epígrafe 2.5.) a partir de las referencias estudiadas. Según íbamos aprendiendo técnicas o procesos a partir de los artículos, los llevábamos a la máquina para confirmar su comprensión y, si era preciso, mejorar sobre ellos. Al menos se realizaron 250 horas de trabajo con la máquina. Con el fin de poner en común la docencia en las disciplinas de grado encomendadas por la URJC, con la experiencia acumulada por el autor de esta Tesis (cimentada en la experiencia previa en trabajos previos ejecutados en las empresas *startups*

aludidas en el texto (estudios abordados en 1.1. y siguientes). Así se desarrolló una fructífera dialéctica entre enseñante y aprendiz que se tradujo en una serie de proyectos (52 proyectos entre 2017 a 2022, de los cuales recogemos solamente 10 en esta memoria y se incluyen en el epígrafe 2.5 y Apéndice 2), casi todos ellos prototipos y experiencias. Los materiales y métodos seguidos se citaron en el Capítulo 1, y de los resultados más representativos se da cuenta en el capítulo 2. Otros resultados experimentales se muestran con mayor detalle en el Apéndice 2 como material adicional.

En el capítulo 3, análisis y discusión, se entra a estudiar y discutir los avances aportados por distintas escuelas y autores, así como en los detalles a tener en cuenta en la fabricación digital de un mueble; se discuten los contenidos de los documentos o artículos generales, pero también los aspectos más prosaicos y técnicos, especialmente los relativos a las experiencias de los autores sobre aprendizaje y sobre la transferencia. Se entra en profundidad a analizar la información sobre los aspectos que tienen directamente que ver con el punto crucial de toda la fabricación digital que son las estructuras y fabricación de los ensamblajes digitales.

Se analiza también cómo plantean los diversos Grupos o autores la resolución de problemas de diseño que se les van presentando. En síntesis, se aprecian dos maneras de plantearse los problemas que la nueva tecnología de la fresadora CNC tiene que resolver para la producción en la industria. Por una parte, están los Grupos de Investigación o autores que hemos incluido en la categoría 3 (ver pág. 39) que provienen de investigadores que poseen formaciones académicas de carácter primordialmente artístico, como pueden ser arquitectos o diseñadores; éstos suelen preocuparse por dar soluciones integrales en las que el plano estético de funde con las soluciones técnicas que se adoptan. En la otra parte situamos a los Grupos de Investigación o autores que provienen de formaciones relacionadas con ingenierías de producto, en este caso, de la madera (categoría 1 pág. 39), o de las Ciencias de la Computación (categoría 4, pág. 40); éstos suelen dar soluciones para resolver problemas concretos de un proceso sin entrar en las cuestiones transversales al diseño. Esto se va detallando en el texto considerando grupo por grupo. Se produce una interesante intersección en las publicaciones estudiadas y el surgimiento de los planteamientos estéticos que se traducen en vanguardias.

Este capítulo igualmente se detiene en poner de manifiesto el trabajo intenso dedicado en la Tesis al conocimiento de los ensamblajes digitales (epígrafe 3.1.2., ensamblajes) que consideramos los puntos críticos o cruciales de la fabricación digital de muebles que ofrecen el mayor campo de investigación y que constituyen algo que creemos son líneas provechosas de trabajo futuro; en el fondo se trata de continuar la labor de muchos de los autores que comentamos intentando la optimización de la fresadora CNC en este campo. Los cimientos se muestran reuniendo en la revisión, el progreso en el conocimiento proporcionado por los autores de referencia y señalando también carencias e incógnitas y aspectos donde consideramos que la mejora se presenta como un reto viable para el futuro. En el texto cuando se transcribe y discute en profundidad lo relativo a los ensamblajes, se aporta no solo descripción pormenorizada de los mismos y su diversidad a partir de algunas obras de síntesis, sino también sus aplicaciones de uso por parte de autores que no los reseñan en sus trabajos pero que nosotros los hemos podido inferir a través de las imágenes de sus publicaciones (ej. de Ebnöther, 2004). Asimismo, se discuten dificultades que han encontrado autores estudiados con el fin de analizar limitaciones para llevar a la práctica algunos proyectos o prototipos o para considerar los fracasos como puntos de partida para encontrar soluciones.

En el capítulo 4, de sostenibilidad se discute la vertiente fuertemente ligada a este proceso que tiene la fabricación digital de muebles con la fresadora CNC; tanto en los materiales de uso constructivo como en la unión de piezas mediante ensamblajes digitales como en los acabados (ej.

cobertura). En los epígrafes iniciales nos entretenemos en dar una visión general sobre la importancia de este concepto hoy paradigmático (transversal) a toda actividad humana, social e individual, y tratamos de explicar la razón por la que creemos que este marco de la sostenibilidad no podía faltar aquí en los tiempos en los que la cultura ecológica impregna las vanguardias socioculturales de referencias a la sostenibilidad como objetivo en la (<https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/sostenibilidad>) actividad académica y en las investigaciones en relación con la digitalización del diseño y fabricación de muebles. En la web de referencia se precisa que, en 1987, la Comisión Brundtland de las Naciones Unidas definió la sostenibilidad como lo que permite “satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus necesidades propias.” Hoy en día, hay casi 140 países en desarrollo en el mundo que buscan formas de satisfacer sus propias necesidades socioeconómicas, pero con la creciente amenaza del cambio climático, en sus vías de desarrollo deben realizar esfuerzos concretos para asegurar que su crecimiento de hoy no afecte o impacte de forma negativa a las generaciones futuras.

La sostenibilidad en el proceso de fabricación que nos ha interesado en esta Tesis se ha apoyado instrumentalmente en la fresadora CNC, ya que la máquina tiene a este respecto diferentes anclajes que se desarrollan en el capítulo de forma detallada (desde 4.4.1 a 4.4.8). La sostenibilidad es una perspectiva marco que, de forma tácita, ha estado presente en el diseño y fabricación de muebles desde que se divulgan más ampliamente los conceptos ecológicos (a partir de 1970).

En el capítulo 5 se hacen propuestas viables. Algunas de carácter general, como publicar ciertas partes de la memoria como una revisión bibliográfica o una guía. Otras son propuestas de investigación sobre temas concretos que nos han ido surgiendo con el trabajo o mejorar la docencia profundizando en el método Bauhaus (clásico pero revitalizado y que hemos practicado en nuestros cursos de grado) y; por último y como parte un compromiso personal muy querido, se propone efectuar una transferencia de las posibilidades de nuestro trabajo experimental docente con la fresadora CNC de 3 ejes para colaborar en la penetración de la fabricación digital en la industria del entorno.

En el **capítulo 6** se presentan muy esquemáticamente las conclusiones o logros de esta Tesis.

Como complemento para facilitar la lectura se listan acrónimos utilizados en el texto con su correspondencia. Asimismo, se recogen en Bibliografía las referencias listadas por orden alfabético de autores.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

Brevemente introduciré mi motivación personal. El desarrollo de mi mente espontáneamente ha estado y está en la búsqueda del arte a través de expresiones técnicas bellas y eficientes. Tras finalizar mi carrera de Arquitectura Universidad de las Palmas de Gran Canaria, mis primeros años de postgrado (incluso uno todavía como estudiante ERASMUS) fueron para abrir fronteras y practicar en aprendizaje en Stuttgart (Hochschule für Technik Stuttgart, en la Facultad de Arquitectura y Diseño) durante un año o una estancia breve en Londres (Houston Morris Architects, 82 Kensington High Street, LW8 4SG); especialmente formativa fue la experiencia que pude desarrollar durante mi fecunda estancia de un año en París (2007) como contratado en un estudio de alto nivel como es el de Perrault (Dominique Perrault Architecture, 4 Rue de Bouvier, 75011 París). Tras esta primera etapa, decido ampliar mi formación sobre tecnología en traducción de diseño realizando un máster en Barcelona (Universidad Internacional de Cataluña, Carrer de la Inmaculada 22, 08017 Barcelona) en 2009. Con este bagaje, mi primera experiencia laboral, de vuelta a Madrid, se enmarcó en el mundo de los *startups* centrados en la fabricación digital, encontrándome ya con las fresadoras y resto de maquinaria CNC. A partir de entonces, me explayé en dar forma a mis ideas con la máquina como vehículo de cada proyecto, dominando sus habilidades y entrenando y ajustando las mías. El trabajo creativo sometido a la demanda de un mercado insólito y cambiante dio solidez a mis cimientos sin traicionar mi camino de búsqueda de maridaje de belleza y tecnología.

Fue en aquella época de mi actividad profesional en los dos startups cuando se me presentó la posibilidad de colaborar como asociado en la experiencia docente que se desarrollaba en el grupo de la universidad Rey Juan Carlos donde he realizado esta Tesis; me interesó mucho el grupo y la posibilidad de aprender enseñando como actividad principal. Insólito interés, y desde luego contra pronóstico, porque nunca había reconocido que me atrajera la docencia. Pude comprender también desde entonces que entre trabajo artístico creativo y trabajo de investigación no hay divorcio sino disciplina. Si se acepta una disciplina, es más bien un campo abonado.

Desde mi primer contacto con la fresadora CNC de 3 ejes, percibí que el punto clave para hacer posible desarrollar o fabricar una idea, está en poder ensamblar o unir las piezas para conseguir la forma deseada. Y desde que el estudio y el trabajo de fabricación digital me descubrieron la conciencia de moverme dentro de las coordenadas de la sostenibilidad los ensambles digitales cobraron mayor sentido. Esta Tesis es un ensayo para conseguir la mayor sostenibilidad en la fabricación digital de muebles utilizando como herramienta de trabajo la fresadora CNC de 3 ejes; hasta el momento presente ese no ha sido el objetivo de los autores previos. Ello no quiere decir que este planteamiento sea inédito porque numerosos autores de cuyas aportaciones damos cuenta en la memoria, de manera tácita, incorporan elementos que son antecedentes de los planteamientos de sostenibilidad que hoy se plasman en varios ODS.

1.2. Objetivos

Se comienza este capítulo de la memoria formulando lo que es el objetivo subyacente de la formación doctoral que perseguimos. Se trata de adquirir una formación solvente en carpintería digital, que es un campo amplio y de múltiples caras. Entre otras posibilidades, en nuestro caso, ha intentado capacitarnos para ser capaz de resolver innovadoramente ideas de diseño de mobiliario. Más técnicamente esa capacitación se obtiene fundamentalmente resolviendo el problema más crítico en la fabricación digital y tradicional que son los ensambles (Capítulo 3.1.2.) (Gros y Sulzen, 2001; Gros, 2003; Steffen, 2006, Snow et al. 2006; Filson et al. 2017; Langová et al. 2017; Tian et al. 2018). Casi como corolario se trata también de facilitar el camino a otros docentes o aprendices para acercarse a la construcción digital sorteando los obstáculos con los que tropezaron los pioneros por no leerse o no conocerse unos a otros. En esto la memoria doctoral quiere ser una guía en la que ha cruzado información que estaba, en buena parte, fluyendo desconectada.

Nuestro primer contacto con la fabricación digital, todavía en sus primeros pasos, fue en el máster en Arquitectura Biodigital (Universidad Internacional de Cataluña, Barcelona) en 2009. Esta formación profesional nos permitió, con un buen bagaje previo en estudios nacionales e internacionales de arquitectura, entrar como arquitecto en un sector laboral naciente en el que empezaron a brotar múltiples iniciativas tecnológicas digitales, algunas de las cuales dieron lugar a *startups* tanto en España como en otros países también tecnológicamente desarrollados. Estas empresas innovadoras atrajeron y ocuparon a jóvenes profesionales en un mundo de vanguardia. Desde entonces (2010) el mundo de la fabricación digital ha explotado y parece que no hay duda de que poco a poco ocupará inevitablemente espacios de la mayor repercusión en el mundo industrial. Esta presumible tendencia obliga a las instituciones encargadas y responsables de la formación profesional y universitaria a ofrecer enseñanzas y competencias para aportar el capital humano idóneo a este sector. Desde 2012 la URJC está ofreciendo la titulación de Grado en Diseño Integral y Gestión de la Imagen incluyendo materias que forman a los estudiantes para adquirir estas competencias. De hecho, el Grupo DINAMO dirigido por Doña Amaya Matesanz Muñoz, donde se encuadra esta Tesis, ha recibido la aprobación como Grupo de Innovación de la URJC para continuar desarrollando innovación con estas tecnologías.

La fabricación digital es todavía un campo en vanguardia en el sector industrial en el que España y Europa tienen empeño y camino por recorrer. Nuestro proyecto a largo plazo no es solo aportar innovación en la construcción de muebles con la fresadora CNC de 3 ejes, sino también conseguir las mejores soluciones en un marco de sostenibilidad. La implantación de la cultura ecológica en todas las manifestaciones individuales y sociales tienen un fuerte sentido en la industria del mueble. Los ODSs marcan tanto la innovación como el uso de materiales y técnicas sostenibles como retos prioritarios. El abordaje innovador en este campo requiere desarrollos de investigadores y la necesaria implementación docente de los mismos como tareas que lejos de ser sucesivas tienen que estar profunda y simultáneamente integradas (Becerril et al. 2021).

Consciente de esta situación la coordinadora del naciente (2012) Grado en Diseño Integral y Gestión de la Imagen, Dra. María Luisa Walliser Martín propuso a la Universidad y lo logró, dotar al equipo de profesores implicados en el grado, entre otros medios personales e instrumentales, de la infraestructura material imprescindible para desarrollar, al nivel de la investigación y docencia superior, las materias curriculares concernidas. Así, se adquiere la maquinaria necesaria, fundamentalmente la fresadora CNC de 3 ejes, impresora 3d y cortadora láser.

La innovación en un campo científico o tecnológico de vanguardia es un reto emocionante para cualquier investigador, pero las cualidades pioneras entrañan importantes dificultades; en

particular en la universidad, donde el trabajo docente impone dedicación y alimentación innovadora constante.

Dentro de las asignaturas obligatorias del Grado, Diseño de Mobiliario pareció un campo novedoso y muy abonado para hacer investigación e innovación en materia de fabricación digital, por la constatación inicial de que las grandes industrias del mueble (empresas como Ikea y otras...) inmediatamente habían incorporado distintos productos y procesos digitales con éxito arrollador. La mayor de las dificultades para adquirir experiencia y capacidad de innovación en las pequeñas y medianas empresas del sector, así como en los centros de formación profesional y universitaria, son la mano de obra cualificada y los costes inabordables de la maquinaria que utilizan las grandes empresas aludidas. Esto es así porque las máquinas fresadoras de más de 3 ejes (5, 7, 8) son grandes infraestructuras cuya inversión está en torno a 100.000€ (<https://www.nxcnc.com/blog/5-axis-cnc-milling-machine-purchase-guide#>) mientras que una fresadora de 3 ejes como la utilizada en este trabajo está en torno a los 7.000€.

El número de ejes de una fresadora CNC se relaciona con el grado de complejidad y libertad de innovación que proporciona. Sin embargo, las bases metodológicas de partida de todas las fresadoras CNC son muy similares e incluso utilizan los mismos programas en la mayoría de los casos. Puede decirse que un usuario se enfrenta de la misma manera con cualquiera de las fresadoras CNC disponibles.

Puede decirse que tanto la función docente como la capacidad de innovación en el campo del diseño de mobiliario con tecnología digital, pueden implementarse suficientemente utilizando la fresadora CNC de 3 ejes, sin que necesariamente se requiera de otras fresadoras inaccesibles para un centro docente, lo cual nos ha motivado a poner a punto todas estas tecnologías con la mayor ambición. Obligatoriamente hubo que enfrentar el problema de localizar las referencias solventes previas sobre la explotación de esta máquina para conocer las posibilidades y limitaciones del campo de trabajo.

Las primeras aproximaciones al conocimiento de la gran industria del mueble mostraron que, aunque se trabajara con materiales derivados de la madera, una parte importante del proceso industrial y del producto mismo, contenían o utilizaban otros materiales de cuestionable sostenibilidad o en algunos casos claramente insostenibles, como los plásticos. En los últimos años tanto los materiales adhesivos como los necesarios para ajustar y unir piezas de distinta naturaleza han mejorado en cuanto a su nivel de responsabilidad en materia medioambiental. No obstante, está probado que el uso exclusivo de uniones del mismo material, en este caso la madera o un derivado, es más sostenible por durabilidad y reutilización, ofreciendo además otras cualidades, entre las que la facilidad de degradación podría ser la principal (Braun, 2021).

Ante estas circunstancias procedimos a definir nuestro marco de trabajo: la fabricación de muebles de madera con máquina fresadora CNC de 3 ejes y aspirando a la máxima sostenibilidad en producto y proceso de construcción. Para lo cual realizamos una prospección exhaustiva de referencias previas y actuales seleccionando mayoritariamente los buscadores y fuentes académicas de consenso. Los resultados obtenidos modularon el campo de trabajo de tal forma que por razones de rigor académico y de necesidades docentes para abordar enseñanza de primera calidad, la interpretación de los datos encontrados fue en sí mismo un objetivo primordial para poder respaldar una correcta evaluación del estado del arte en la materia. Asimismo, se decidió restringir la experimentación innovadora a la práctica docente en el sentido conceptual de aprender haciendo como reza el principio metodológico de la Bauhaus. La puesta a punto de la tecnología y las referencias previas disponibles han conducido a un robusto conocimiento del estado del arte que permite ahora, a este doctorando, el desarrollo de un proceso creativo libre; tanto para continuar profundizando en la búsqueda de las mejores soluciones de ensamblaje,

mediante la investigación tecnológica, como para desarrollar cualquier proyecto a demanda industrial. Disponemos de todas las bases para abordar ambas cuestiones con probabilidad de éxito. Nosotros mismos y/o nuestros estudiantes en su futuro profesional sea en investigación sea en cualquier otra actividad que emprendieran.

Según lo que se acaba de describir y acotar, los objetivos de esta Tesis han sido los siguientes:

- Revisión crítica de las referencias y experiencias previas en materia de ensamblajes y ensamblajes digitales que pueden localizarse en la literatura y documentación académica desde las primeras publicaciones en 1997 hasta 2022, en particular aquellos ensamblajes diseñados para ser cortados con fresadora CNC de 3 ejes. Se ha incluido en la búsqueda las ideas directamente aplicadas a la transferencia docente.
- Autoformación en carpintería digital de mobiliario de madera mediante una puesta al día de todos los tipos de ensamblajes digitales localizados que han resultado los autores previos a 2022. Y en relación con los ensamblajes nuestra aproximación se hace desde el punto de vista de las condiciones tecnológicas y dando apoyo con ellas a las decisiones estéticas. Ambos aspectos, tecnológico y estético, en relación con las posibilidades de investigación y desarrollo industrial en materia de ensamble.
- Autoformación en carpintería digital de mobiliario de madera mediante la fabricación de muebles con tecnología digital para facilitar la construcción de piezas enmarcada en soluciones de máxima sostenibilidad.
- Experimentación y manejo en la enseñanza de estas técnicas. Entrenamiento para los estudiantes de su capacidad de efectuar un proceso creativo para unir piezas de madera que configurarán un mueble. Adicionalmente se han perseguido otras aportaciones complementarias en docencia (elaboración de proyectos por parte de estudiantes de grado y presentación pública de muestras).

1.3. Materiales

Los medios materiales para el trabajo ejecutado han sido:

- El soporte material que corresponde al capítulo de búsqueda bibliográfica fueron las herramientas informáticas habituales de oficina y los motores o plataformas de búsqueda fueron siempre de acceso público y accesibles para cualquier usuario sin necesidad de apoyo corporativo ni licencias especiales.
- La máquina fresadora CNC modelo CNC 6090 de la empresa distribuidora Framún Techno. Sus parámetros técnicos principales son: área de trabajo (600x900x100 mm), dimensiones totales (750x1200x1300 mm), peso 300 kg, estructura de mesa de aluminio ranurada, transmisión XYZ de husillos, motor de fresado 2.2 KW, motores tipo paso a paso, comandos tipo HPLG Gcode, máxima velocidad de trabajo 5000 mm/min, máxima velocidad de desplazamiento 7200 mm/min, controladora DSP, precisión 0.025 mm, revolución máxima 24000 rpm y alimentación eléctrica 220V – 50 Hz. La instalación de la máquina fue puesta a punto por la empresa Gesmain/Framún Techno, en marzo de 2018 y supervisada bianualmente por la misma empresa.



Fresadora CNC 6090. Fuente: Framun Techno

- Tableros. Los materiales utilizados para la elaboración de prototipos experimentales han sido tableros de Contrachapado de abedul y tableros de *Medium Density Fiber* (MDF), suministrados por la empresa Gabarró. En concreto, en el grupo de investigación de nuestra universidad se compraron tableros de contrachapado de espesores 6.5, 12, 16 y 18 mm. El contrachapado utilizado es el llamado grado de ebanistería. Posee entre 7 y 9 capas interiores de madera de abedul, con menos defectos y grados de deformación, que lo hacen ideal para uso en fabricación digital, que necesita una superficie, lo más plana posible, para lograr el mínimo de imperfecciones en los ensambles, como ya se indicará principalmente en el Capítulo 2.



Contrachapado de abedul. Fuente: Gabarró.com

El contrachapado resulta idóneo, para responder a las solicitudes características de estos productos obtenidos con fabricación digital. Pese a que los inicios de utilización del contrachapado se remontan a civilizaciones como el antiguo Egipto y China, la versión actual industrializada, data de la Revolución Industrial. Diseñadores como Alvar Aalto (1898-1976) o Charles (1907-1978) y Ray Eames (1912-1988), trabajaron con este nuevo material, con técnicas innovadoras, para obtener formas curvadas que respondían a una ergonomía acorde con el cuerpo humano (Postell, 2012). Fabricados con más de un 94% de madera, los compuestos de este material alternativo pueden estar configurados a base de elementos como partículas (macroscópicas), fibras, hebras y chapas (láminas), que, para conseguir las propiedades deseadas, se adhieren con resinas adhesivas termo endurecibles y otros aditivos. En el caso de los utilizados por nosotros y la bibliografía relacionada con escasas variaciones, los componentes son todos ellos productos de madera o las aludidas resinas que en nuestros tableros son naturales y biodegradables. En nuestro caso y en el de las referencias recogidas aquí, salvo advertencia expresa, el tablero contrachapado está constituido por chapas (láminas) de madera, una sobre otra, a 90° en dirección a la fibra, con sus capas contiguas y fijadas entre sí, convirtiendo un producto terminado bajo calor y presión (Postell, 2012). Las características específicas son proporcionadas por el fabricante. En conjunto deben coincidir con las características que se describen en Hoadley (2000).

Dando por hecho una buena configuración del material durante su producción, se obtiene un producto con unas características técnicas adecuadas: gran estabilidad dimensional, resistencia a quebrar, gracias a la alternancia de la dirección de la fibra en sus diversas capas; gran resistencia a la flexión, a lo largo y ancho del tablero (Ross, 2010); y, como ya se mencionó en el Capítulo 2 y Apéndice 1, Filson et al. (2017), el producto arroja excelentes resultados en la relación resistencia-peso. Por todo esto, se presenta como un material perfecto para mobiliario, producido con CNC al que, además, se le suman todas las propiedades y beneficios de trabajar con la madera. Dentro de los 3 grados de configuración del contrachapado, que depende del número de capas interiores y del tipo de madera que posea, el utilizado para mobiliario es el llamado Grado de ebanistería. Posee entre 7 y 9 capas interiores de madera blanda o compuesta con caras de madera dura, con menos defectos y grados de deformación, que lo hacen ideal para uso en Fabricación Digital, que necesita una superficie, lo más plana posible, para lograr el mínimo de imperfecciones en los ensambles, como ya se ha indicado.

Otro tipo de configuración de tablero, que suele utilizarse, por su bajo precio y sus métodos más sostenibles, son los compuestos por fibras de Densidad Media, o, más conocidos por sus iniciales DM. La tecnología estudiada en esta Tesis, enfocada específicamente para ensambles digitales en madera, convierten al DM como material poco idóneo, ya que, por su configuración interna, es por lo general, menos resistente a los esfuerzos específicos para uniones de mobiliario fresado con 3 ejes, como ya se ha dicho en el Capítulo 2. Las mismas razones se aplicarían a la no utilización de otro tipo de tableros generalizados en el mercado, como pueden ser los de aglomerado, alistonados, OSB y otros.

- Programas CAD. El utilizado para la elaboración de los diseños finales de los prototipos experimentales ha sido Rhinoceros de la empresa MCNeel.
- Programas CAM. Los programas para la elaboración de las trayectorias de corte de los prototipos experimentales han sido RhinoCam de la empresa MCNeel y Cut 2D de la empresa vectric. Cualquiera de los dos programas ha sido alternativamente usados.
- Utensilios mecánicos de montaje de las piezas. En el taller hemos utilizado cualquier herramienta o pieza artesanal de las que se usan en carpintería y bricolaje para lograr los encajes más ajustados.
- Acabado de las superficies de los prototipos experimentales. Buscando los productos más sostenibles se han utilizado los descritos en las referencias bibliográficas utilizadas en cada uno de los ensayos (ver APÉNDICE 1). Normalmente y en particular en nuestros primeros experimentos se utilizaron productos de base biológica o simplemente acuosa, siempre tratando de evitar los compuestos orgánicos volátiles (VOC). Alternativamente en los últimos tiempos continuando con la búsqueda de los materiales más sostenibles se está ensayado, con aparentes resultados positivos todavía con medidas de tratamiento a base de jabón, elaborado para nuestra experimentación por la Dra. Marta Muñoz Hernández donde investiga en el área de la ciencia e ingeniería de los materiales de la URJC.

1.4. Metodología para las referencias bibliográficas

En la presente memoria se ofrecerá una visión del actual estado del arte en el campo de los ensamblajes digitales con fresadora CNC de 3 ejes. Asimismo, se ampliará información sobre los temas que abarca la sostenibilidad en mobiliario, además de la inclusión de sistemas pedagógicos prácticos para la docencia.

Toda la información bibliográfica se recaba con el mismo método, es decir, comprobando las publicaciones académicas existentes en distintas ramas del conocimiento en las que se quiere profundizar, básicamente en lo referente a ensamblajes digitales.

En la búsqueda primaria se revisan aquí las publicaciones identificadas a partir de cuatro bases de datos —Scopus, Web of Science (WOS), Google Scholar y Cumulative Index of Computer-Aided Design (CumInCAD)— desde 1998, año en que se iniciaron los estudios sobre ensamblajes digitales hasta lo publicado en febrero de 2022. Todas las búsquedas en los motores mencionados se realizaron en lengua inglesa. Las palabras clave utilizadas para la búsqueda fueron “CNC”, “muebles” y “juntas”; en aras del rigor, también se realizó una búsqueda complementaria del término “ensamblajes de muebles CNC”, que, sin embargo, no arrojó publicación significativa adicional alguna. Una búsqueda cerrada, de las tres palabras en estricto orden, identificó muy pocos resultados, por lo que se realizó una búsqueda abierta avanzada, utilizando las palabras específicas en los motores para permitir filtrar algunos campos de búsqueda, evitando así seleccionar miles de artículos. Partiendo de los criterios de inclusión y exclusión de los estudios, se realizó una búsqueda bibliográfica lo más amplia posible para identificar los estudios que cumplían con los criterios de selección. Esta búsqueda arrojó 539 resultados: 88 de Scopus, 6 de WOS, 83 de Google Scholar y 362 de CumInCAD. De estos, 504 fueron excluidos por no estar dentro del ámbito estricto de este trabajo. Cabe señalar que algunas de las plataformas carecían de opciones de filtrado para extraer y organizar la información de forma óptimamente gestionable y automatizada. Los filtros establecidos para el tamizaje de estas publicaciones fueron: el número de ejes de la fresadora (excluidos los que tienen más de tres); montajes con técnicas aditivas (impresión 3D), montajes con piezas metálicas, es decir, todo lo relacionado con estructuras tridimensionales para la resolución de superficies estructurales como suma de los elementos; y, asimismo, montajes para soluciones constructivas para la edificación con madera. Aquí el idioma de las obras seleccionadas no se restringió al inglés; también se incluyó el portugués y en algunos casos el alemán. En total, se obtuvieron, única y exclusivamente aplicando los filtros, 16 publicaciones sobre ensamblajes digitales para muebles de madera realizados con fresadora de 3 ejes. No todos los resultados en el campo fueron identificados por esta búsqueda: una vez que se localizaron los grupos de investigación más importantes, la inspección de las bibliografías de sus publicaciones seleccionadas identificó 17 estudios adicionales.

En búsquedas secundarias, una vez que se localizaron los autores y grupos de investigación específicos, se inspeccionaron las bibliografías de las publicaciones, necesarias para constituir el marco teórico que se propone. En consecuencia, en esta búsqueda se estudiaron e introdujeron dos publicaciones en formato libro y quince artículos de investigación, relacionados directamente con la temática propuesta. En total aquí se revisan las referencias de 33 trabajos académicos relevantes que constituyen la base teórica, resumida en la Tabla 1.

Aunque discutible, nos pareció obligado incluir en las búsquedas algunos trabajos académicos (TFG o TFM o similar) recogidos en los motores de búsqueda. Por el contrario, se excluyeron artículos relevantes, pero claramente enfocados en el uso de algoritmos matemáticos, ya que se consideraron excesivamente especializados para el acceso de la mayoría de los diseñadores de productos y que, además, entran de lleno en la disciplina de las Ciencias de la Computación. Como

se explicará más adelante, este tipo de investigaciones sólo se han utilizado excepcionalmente incluyéndolas en una Categoría 4 (Capítulo 2.3.). Sin embargo, se ha incluido en la bibliografía algunas referencias atribuibles a esta categoría (p. ej., Koo et al., 2017; Yan et al., 2021).

1.5. Metodología para manejo experimental y docencia

En el estudio que se refleja en esta Tesis doctoral se han superpuesto los planos que citaremos más abajo, sin embargo, la perspectiva global del diseño que hemos adoptado en la mayor parte de los casos contempla el *Eco-designthinking* (Linkosalmi et al, 2016) que como se verá en el Capítulo 4.4.8. constituye esencialmente un marco de sostenibilidad como elemento transversal dentro del que este trabajo se mueve. Los planos metodológicos articulares son los siguientes:

- i. El análisis crítico de la documentación y referencias que se han podido localizar según la metodología expuesta anteriormente en el punto 1.4.
- ii. El trabajo experimental, fresadora en marcha, que ha consistido en un continuo proceso de prueba y error sobre la base de distintas ideas o distintos productos y ensayos sobre lo estudiado, que se ha puesto en práctica durante el desarrollo de la Tesis. En primer lugar, la instalación y puesta a punto de la máquina y en segundo término el diseño de diferentes productos (muebles que luego podrán ser fabricados por la máquina). Ambos objetivos se ejecutaron en el laboratorio como autoformación.
- iii. Práctica y entrenamiento. Hasta 2023 la Sede de Quintana de la URJC, donde se ha desarrollado íntegramente nuestro trabajo, no ha contado con técnico de laboratorio. El técnico es el autor de esta Tesis que a su vez ha tenido a plena disposición tan excelente herramienta de trabajo. Lo que ha podido traducirse en la experiencia profesional que se ha adquirido completando e incrementado la que ya se aportaba en el desarrollo profesional previo en máquinas similares. El manejo de la máquina se hace efectivo en unos meses a partir de los cuales se empezó con el diseño de ensayos propios y los contenidos de las clases prácticas de las asignaturas de Maquetas y Prototipos, y Diseño de Mobiliario del Grado de Diseño Integral y Gestión de la Imagen. Por dar una cifra constatable, se ha llevado a cabo un mínimo de 250 horas de trabajo en la máquina solo para ejecución de los prototipos experimentales que se han realizado dirigiendo y fresando uno a uno los trabajos de los estudiantes.
- iv. Aprender haciendo. Digamos que con el objetivo de trabajar la docencia ligada al aprendizaje creativo se sigue el método experimental que en su día puso en práctica La Bauhaus (Wick, 1982) que consiste en aprender haciendo. Al contrario que un banco de pruebas, el trabajo experimental con estudiantes o colegas incorpora un beneficio exponencial. No solo piensa el profesor, sino que, todos los interlocutores incorporan ideas procedentes de aciertos y errores. En la actividad que se ha seguido, el docente es el único actor que tiene todas las claves del proceso en tanto que los aprendices son participantes activos solo hasta la etapa de manejo directo de la máquina.
- v. Así puede decirse que se han adquirido competencias en carpintería digital para alcanzar un nivel autónomo de creación de productos de diseño de mobiliario y se han transferido a los estudiantes de las asignaturas mencionadas tales competencias.

La metodología seguida para la fabricación digital de muebles cortados con fresadora CNC de 3 ejes es la que sigue. Es un relato complejo que abarca etapas previas a la manipulación de la máquina. A continuación, se describen de la manera más sencilla que es la forma como han sido llevadas a la práctica en el proceso docente:

- a. Cada uno de los proyectos responde a un enunciado planteado por el autor. El ejercicio consiste en la realización de un mueble con planteamiento estético libre. Selección del material sobre el que se va a trabajar acorde con el producto o prototipo que se pretende realizar. En las experiencias contenidas en esta memoria como se ha dicho en el Capítulo 1.3, los materiales utilizados han sido tableros de contrachapado de abedul y tableros de *Medium Density Fiber* (MDF), suministrados por la empresa de distribución de maderas Gabarró.
- b. Concebida la idea que se quiere ejecutar es preciso que se pueda llevar a la práctica para ser producido por fabricación digital. De ser posible, a continuación, hay que definir la funcionalidad a la que responde el objeto (mesa, silla, etc.). Inmediatamente después, se decide de forma precisa el número de piezas necesarias para componer el producto. Cuarto paso y también fundamental, decidir el sistema de unión o ensamble que permita conseguir la forma estética a la que se quiere llegar (figura de ensambles de C-Lab, DWJ pág. 55 o ensambles de Uysal et al., 2019, pág. 168). Donde se encuentran alguno de los principales ensambles que se han descrito hasta hoy).
- c. *Computer Aided Design (CAD)*, es decir, la virtualización de las decisiones de diseño finales puede ser obtenida mediante cualquier programa de vectorizado. En nuestro caso se ha utilizado el programa *Rhinoceros* de la empresa *McNell* del que se tiene mucha experiencia y opinión.
- d. *Computer Aided Manufacturing (CAM)*, es decir, programa de mecanizado. Se introducen los archivos vectorizados para que el programa pueda crear las trayectorias de corte de las piezas. Es en lo que entre los expertos se conoce “familiarmente” como Código G.
- e. Este código G son las instrucciones que ya pueden ser leídas por la fresadora para ejecutar las instrucciones para la construcción de las piezas. Los tableros han de haber sido introducidos y fijados a la máquina según las instrucciones del fabricante.
- f. Montaje del mueble. Esta última fase de confección del mueble resultará acertada si la fase de vectorización se ha programado correctamente y por tanto el artefacto cumplirá con su funcionalidad en la estética propuesta. Si el resultado obtenido no es el adecuado hay que localizar el error para subsanarlo recorriendo de manera inversa el proceso descrito.

Cada ficha de construcción del producto recoge los pasos anteriores. En los ejemplos seleccionados en el Apéndice 2, se detallan los datos que hay que aportar en la programación del trabajo, que son los que siguen:

Medidas máximas (H/A/F mm):

Referencias:

Material:

Función:

Número de piezas / número de minitableros (1250 x 600):

Ensamblajes:

Programas (CAD y CAM):

Acabado:

1.6. Estructura de la memoria doctoral

Este volumen se estructura en seis capítulos y dos apéndices, cuyos contenidos se explican a continuación.

Capítulo 1

Contiene una descripción del proceso que conduce al doctorando a formarse como experto en el oficio de la carpintería digital. Se relata las circunstancias personales y la oportunidad del tema irrumpiendo en un mundo a caballo entre la estética y el arte, y la ingeniería de fabricación industrial (hoy digital). Se detallan los objetivos concretos a lograr desde diferentes perspectivas señalándose la síntesis de manera precisa. Se describe en primer lugar el detalle de los materiales necesarios que fueron utilizados y los métodos de trabajo y procedimientos. Así, se describen pormenorizadamente la máquina (fresadora CNC), y herramientas menores, los programas digitales (CAD y CAM), los materiales de construcción (tableros) y las propiedades de la madera, así como los tipos de acabados sostenibles en prototipos. Se detalla luego la metodología seguida para la búsqueda bibliográfica de referencias, así como la descripción metodológica que respalda la manera cómo se ha planteado la adquisición de competencias tanto a partir de las referencias como a partir del ensayo experimental en el laboratorio (o taller de fresado).

Capítulo 2

Incluye los resultados obtenidos. Hay tres tipos de resultados: 1) los que conciernen a las referencias académicas de todo lo aportado por autores precedentes en una revisión crítica de las fuentes considerando todas las referencias y analizando las aportaciones que se realizan en las obras referidas, siguiendo una estructura idéntica para cada obra. Los detalles completos de cada una se han trasladado al Apéndice 1. En la descripción de cada referencia analizan diferentes criterios en relación con los contenidos y en particular se incluye una valoración de la aportación que el trabajo incorpora al acervo del conocimiento del campo. 2) Los que tienen que ver con el entrenamiento experimental que se ejecuta manejando la máquina con el fin de constatar que el doctorando logra reproducir lo que los autores van tratando en las aportaciones señaladas para el aprendizaje de los puntos más críticos (los ensambles) y confirmar así la capacitación adquirida con la máquina y materiales disponibles. 3) Los que proceden del establecimiento consciente de un proceso de aprendizaje dialéctico (tipo Bauhaus) utilizando el proceso formativo de los estudiantes de Grado.

Capítulo 3

La discusión que se plantea en este capítulo se refiere primero a la valoración ponderada de las aportaciones recogidas en las referencias bibliográficas, y se ponen de relieve las interrelaciones entre lo aportado por los autores y los resultados obtenidos en la reproducción de los mismos con nuestros materiales y métodos experimentales. Asimismo, se discuten las perspectivas de las escuelas y autores. Tanto de la experimentación que hemos realizado como el estudio comparado de autores y sus perspectivas diversas nos ha permitido enriquecer nuestra propia formación como poder realizar una síntesis crítica para, en el presente y en el futuro mejorar procesos y productos. Se van analizando en cada uno de los epígrafes conceptos que se han ido apprehendiendo a partir de todo tipo de antecedentes y se señalan fortalezas y debilidades en la digitalización de la fabricación de mobiliario con la fresadora CNC. Se incluyen desde discusión en el sentido estricto de un trabajo experimental hasta reflexiones a partir de los conocimientos que

se van adquiriendo. Las propuestas que se recogen en el Capítulo 5 nacen de las evidencias e interpretaciones aquí planteadas.

Capítulo 4

La sostenibilidad como fuerza motriz de carácter transversal se ha penetrado tanto en nuestro enfoque creativo como en el de formación. Se ha recogido en este capítulo, informativamente o para reforzar algunas correlaciones, aspectos de la cultura contemporánea que difunden las sucesivas convenciones e informes sobre cambio climático. Y ello se hace por considerar que los problemas de sostenibilidad se plantean por la necesidad de paliar las consecuencias en el cambio climático antropogénico de acciones y procesos industriales en relación con la huella ecológica. Nos parece necesario argumentar así porque creemos que este paradigma está siendo incorporado como elemento de primordial importancia en las agendas de las organizaciones internacionales o como ingrediente de necesaria consideración para la toma de decisiones a cualquier nivel de relación y organización humana. Precisamente por ello se incluyen en este capítulo alusiones a los cambios normativos que se van incluyendo por los gobiernos y organismos transnacionales que llegan a afectar de plano a diferentes aspectos de tratados cuando hacemos referencia a la industria de mobiliario digital.

Por último, en el Capítulo se entra a justificar desde el punto de vista de la sostenibilidad los beneficios sobre el uso de la tecnología digital que trabajamos y que abarca varios campos como la maquinaria, el material a utilizar o las uniones entre piezas.

Capítulo 5

Este capítulo, en base a los resultados obtenidos puntualiza varias propuestas enfocadas a diversas áreas en las que los resultados obtenidos pueden aportar en la docencia, en la investigación y en la industria.

Capítulo 6

Aquí se establecen las conclusiones que van a cerrar la investigación con contribuciones que se encontrarán no solo al servicio de proyectos que avancen en la digitalización del diseño y producción de mobiliario de madera, sino también enfocado a ser la base de otras áreas relacionadas con estructuras más complejas como arquitectura efímera u otras. Estableciendo una base teórica consensuada se abren nuevas vías de investigación que facilitan nuevos enfoques.

Bibliografía

Se incluye la totalidad de las referencias bibliográficas utilizadas.

APÉNDICE 1

En este apartado muestran detalles que resultan información adicional de lo que se ha reflejado en el Capítulo 2.

APÉNDICE 2

En este apartado figura la información adicional de los resultados experimentales mostrando productos y artefactos que han sido trabajos que muestran los ejercicios que se han realizado para constatar el aprendizaje y también para fomentar el entrenamiento en el manejo de todas las herramientas que conlleva la fabricación con métodos digitales.

CAPÍTULO 2. RESULTADOS

2.1. Bases documentales

Como se ha explicado en el apartado de metodología 1.4., de la recopilación de trabajos académicos con las búsquedas explicadas, se ha obtenido una base teórica sobre la que se ha trabajado. Para ello se ha elaborado una tabla con las publicaciones más relevantes relacionadas con este campo, clasificadas cronológicamente y esquematizando aspectos o informaciones destacadas. En este capítulo se va a profundizar en la base académica publicada sobre ensambles en tableros de madera cortadas con fresadora de CNC de 3 ejes.

La Tabla 1 enumera las publicaciones, ordenadas por fecha de aparición, cada una clasificada con la cita bibliográfica correspondiente, autores, grupo de investigación, número de citas en cada base de datos, tipo de documento, fuente y tema, y la contribución del trabajo al campo estudiado. Las publicaciones de los miembros del mismo grupo de investigación se enumeran sobre su propio fondo de color. El tipo de trabajo se clasifica en predominantemente técnico, o teórico, o bien, con un enfoque pedagógico. También si se desarrollan ensamblajes específicos, así como su aporte al área de estudio. Las publicaciones cuyo año y número de posición están en rojo son las extraídas directamente de los 16 estudios primarios mencionados. Tras una rápida evaluación, podría decirse que la mayoría de las obras pueden reunirse en cinco grupos de investigación. No obstante, algunas publicaciones que aparecen de forma aislada merecen mención por su contribución al conocimiento de la fabricación digital con la expresada maquinaria, ya sea por la morfología del producto descrito o por su valor pedagógico. Las publicaciones que provienen de grupos aislados se presentan por separado sobre un fondo blanco.

Siguiendo la cronología, todos los trabajos y equipos comienzan a estar recogidos en las bases de datos de los buscadores científicos como WOS o Scopus, a partir de 2009. El buscador CumIncad contiene desde 2004 trabajos indexados para estas disciplinas. Ofrece interés para esta temática, pero dada su especificidad o poca difusión no tiene excesiva repercusión en otros medios o buscadores como sí poseen WoS o Scopus. Con frecuencia se publica en CumIncad investigaciones cercanas a las Ciencias de la Computación enfocadas a las disciplinas del diseño y arquitectura. También, existen muchas investigaciones que documentan formas experimentales de resolver problemas que, si bien en ocasiones no llegan a una solución específica, resultan de ayuda para conocer cómo otros investigadores abordan posibles soluciones.

Hay amplio consenso internacional en que los buscadores WoS y Scopus son referentes validados. Frente a la dificultad de incluir áreas como artes y humanidades, las técnicas de selección de fuentes que han sido introducidas en ambos buscadores han supuesto un esfuerzo que ha incrementado su valor en ambos campos. El número de citas depende del tamaño de la comunidad científica en la que se desarrolle la actividad investigadora. En el campo de las artes, el número de citas es excesivamente bajo con respecto a los de ciencias. No es lo mismo ocho citas en una comunidad científica que en otra, puesto que en un área pueden considerarse abundantes y en otras pueden ser escasas. Donde sí hay consenso es en que las investigaciones exitosas son consultadas por la generalidad de la comunidad. El hecho de saber que hay campos científicos que son muy poco consultados o relevantes impide el desarrollo de ideas de riesgo por parte de algunos investigadores. Esto iría en detrimento de una investigación libre. Los jóvenes investigadores, que son los más creativos, se encuentran mediatizados por investigar sólo lo que es relevante quedando algunos campos de investigación desiertos. Este es quizás uno de los problemas que ha dificultado la búsqueda de las referencias para esta Tesis.

2.2. Tabla de publicaciones

Year	Title	Author/s		Group
# 1 1997	50 Digital Wood Joints	Gros, Jochen Sulzer, Friedrich		C-Lab at HfG Germany
# 2 2001	Furniture industry has to reconsider all products--call it customization design	Gros, Jochen		C-Lab at HfG Germany
# 3 2003	C-Moebel - Digitale Machart und gestalterische Eigenart	Steffen, Dagmar	Gros, Jochen Eisermann, Jan	C-Lab at HfG Germany
# 4 2003	Technofactory versus Mini-Plants: Potentials for a decentralized sustainable furniture production	Steffen, Dagmar Gros, Jochen		C-Lab at HfG Germany
# 5 2004	SkinChair	Ebnother, If		ETH Zurich Switzerland
# 6 2006	Design of a CNC Routed Sheet Good Chair	Davis, Noel R.		MIT USA
# 7 2006	Use-Inspired Basic Research: Improved Understanding and Innovative Products - a Case Study	Steffen, Dagmar		C-Lab at HfG Germany
# 8 2007	Materializing a Design with Plywood	Sass, Lawrence	Michaud, Dennis Cardoso, Daniel	MIT USA
# 9 2009	Légumes Urbaines: Digital Modeling Transformations + Prototype Fabrication Based on the Egg Crate Construction Method	Vamvakidis, Simos		NTUA Greece
# 10 2010	A contribuição da prototipagem com emprego de fresadora CNC no processo de design de produto	Cardoso, Eduardo		UFRGS Brasil
# 11 2010	Finite Element Analysis of Dovetail Joint Made with the Use of CNC Technology	Sebera, Václav Šimek, Milan		Mendel University Czech Republic
# 12 2010	Traditional Furniture Joinery from the Point of View of Advanced Technologies	Šimek, Milan Sebera, Václav		Mendel University Czech Republic
# 13 2010	Chair design for CNC manufacturing – Skeleton Chair	Šimek, Milan Koreny, Adam		Mendel University Czech Republic
# 14 2011	Design Offered Up: Control and Open Outcomes in a Digitally Enabled Design Process	Filson, Anne Rohrbacher, Gary		AtFAB at UK USA
# 15 2011	Design intercalated: The AtFAB project	Filson, Anne Rohrbacher, Gary		AtFAB at UK USA
# 16 2011	Approach to furniture design education at Purdue University	Haviarova, Eva		Purdue University USA
# 17 2011	SketchChair: An All-in-one Chair Design System for End Users	Saul, Greg Lau, Manfred	Mitani, Jun Igarashi, Takeo	UTokio Japan
# 18 2013	Strength properties of self-locking furniture joints with shape adapted for the production by CNC technology	Langová, Nadežda	Joščák, Pavol Grič, Michal	TUZVO Slovakia
# 19 2013	Possibilities of CNC Manufacturing with Regard to Furniture Design	Šimek, Milan Kořený, Adam	Dlahý, Zdeněk Mihailović, Stefan	Mendel University Czech Republic
# 20 2014	Finite Element Analysis of Wood Materials	Tankut, Nurgul Denizli	Tankut, Ali Naci Zor, Mustafa	Bartın University Turkey
# 21 2014	Development of Ready-to-Assemble Furniture Constructions	Šimek, Milan Kořený, Adam	Sebera, Václav Tippner, Jan Dlahý, Zdeněk	Mendel University Czech Republic
# 22 2015	Determination of Displacement in a Loaded Wooden Chair by Using Digital Image Correlation	Šimek, Milan Dlahý, Zdeněk	Sebera, Václav Novák, Vít Kořený, Adam	Mendel University Czech Republic
# 23 2015	Determining Tension and Compression Strength and Basic Manufacturing Feasibility of CNC Router-cut Joints	Haviarova, Eva Uysal, Mesut	Tasdemir, Cagatay Gazo, Rado	Purdue University USA
# 24 2016	Parametrically Fabricated Joints: Creating a Digital Workflow	Cormack, John Sweet, Kevin		Victoria U. of Wellington New Zealand
# 25 2017	Mechanical Properties of Furniture Self-locking Frame Joints	Grič, Michal Joščák, Pavol Tarvainen, Ilkka	Ryönänkoski, Henri Lagaňa, Rastislav Langová, Nadežna Andor, Tomáš	TUZVO Slovakia
# 26 2017	Experimental And Theoretical Analysis Of Impact Of Shape Selected Type Of Self-Locking Joints On Their Mechanical Properties	Langová, Nadežna Grič, Michal	Milch, Jaromír Šmidriaková, Mária	TUZVO Slovakia
# 27 2017	Design for CNC: Furniture Projects and Fabrication Technique	Rohrbacher, Gary Filson, Anne	France, Anna Kazianas Young, Bill	AtFAB at UK USA
# 28 2017	Furniture testing for higher competitiveness, better quality, and design	Šimek, Milan		Mendel University Czech Republic
# 29 2018	Furniture Design with Digital Media - A participative educational experiment of digital craftsmanship	Symeonidou, Ioanna		U. of Thessaly Greece
# 30 2018	Experimental Development of Wood Products	Šimek, Milan		Mendel University Czech Republic
# 31 2019	Manufacturing Feasibility Analysis and Load Carrying Capacity of Computer Numerical Control Cut Joints with Interlocking Assembly Feature	Uysal, Mesut Tasdemir, Cagatay	Haviarova, Eva Gazo, Rado	Purdue University USA
# 32 2019	Assembly furniture	Kim, Joan		University of Iowa USA
# 33 2021	Simply Wood, Design of All-Wood Furniture Joints	Braun, Moritz		Linæus University Sweden

Tabla resumen de publicaciones

#	DATABASE (16 primary research articles)	YEAR	TITLE	AUTHOR/S	DOCUMENT TYPE	SOURCE	THEME CONTRIBUTION	CITATIONS		GROUP
#1		1997	50 Digital Wood Joints	Gros, Jochen Sulzer, Friedrich	CD-ROM whith archives	Ed. Deutsche Verlags-Anstalt DVA	· Practical: Teaching Pedagogies · Investigation results through 50 different morphologies joints	Google Schollar	0	C-Lab at HfG Offenbach am Main Germany
								Scopus	0	
								Wos	0	
#2		2001	Furniture industry has to reconsider all products–call it customization design	Gros, Jochen	Conference paper	MCPC01 World Congress on Mass Customization and Personalization	· Theoretical · Criteria and justification for the development of the new CNC technology	Google Schollar	6	C-Lab at HfG Offenbach am Main Germany
								Scopus	0	
								Wos	0	
#3		2003	C-Moebel - Digitale Machart und gestalterische Eigenart	Steffen, Dagmar Gros, Jochen Eisermann, Jan	Book	Ed. Anabas	· Practical and Theoretical · Dissemination of several joints	Google Schollar	0	C-Lab at HfG Offenbach am Main Germany
								Scopus	0	
								Wos	0	
#4		2003	Technofactory versus Mini-Plants: Potentials for a decentralized sustainable furniture production	Steffen, Dagmar Gros, Jochen	Conference paper	MCPC03 The 2nd International Conference on Mass Customization and Personalization	· Theoretical · Criteria and justification for the development of the new technology	Google Schollar	14	C-Lab at HfG Offenbach am Main Germany
								Scopus	0	
								Wos	0	
#5	CumInCAD	2004	SkinChair	Ebnöther, If	Master thesis	ETH Zurich	· Practical: Teaching Pedagogies · Exploratory project	Google Schollar	2	ETH Zurich Eidgenössische Technische Hochschule Switzerland
								Scopus	0	
								Wos	0	
#6		2006	Design of a CNC Routed Sheet Good Chair	Davis, Noel R.	Bachelor thesis	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	· Practical: Teaching Pedagogies · Empirical and theoretical development of a chair using mortise and tenon	Google Schollar	1	Department of Architecture MIT USA
								Scopus	0	
								Wos	0	

Tabla de publicaciones. 1 de 6

#	DATABASE (16 primary research articles)	YEAR	TITLE	AUTHOR/S	DOCUMENT TYPE	SOURCE	THEME CONTRIBUTION	CITATIONS		GROUP
#7		2006	Use-Inspired Basic Research: Improved Understanding and Innovative Products - a Case Study	Steffen, Dagmar	Conference paper	Design Research Society International Conference, Lisbon	· Theoretical · Summary and theoretical reflections after completion of the C-Lab project	Google Schollar	1	C-Lab at HFG Offenbach am Main Germany
								Scopus	0	
								Wos	0	
#8		2007	Materializing a Design with Plywood	Sass, Lawrence Michaud, Dennis Cardoso, Daniel	Conference paper	25 eCAADe 25th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe	· Practical: Teaching Pedagogies · Development of theory and practice. 3 Attachment strategy system: connection edge (CE), connection running (CR) and connections lateral (CL)	Google Schollar	17	Digital Design and Fabrication Group Department of Architecture MIT USA
								Scopus	0	
								Wos	0	
#9	CumInCAD	2009	Légumes Urbaines: Digital Modeling Transformations + Prototype Fabrication Based on the Egg Crate Construction Method	Vamvakidis, Simos	Conference paper	27 eCAADe Computation: The New Realm of Architectural Design - 27th eCAADe Conference Proceedings	· Practical: Teaching Pedagogies · Monocoque system as a methodology to produce morphologies with CNC	Google Schollar	3	National Technical University of Athens Greece
								Scopus	0	
								Wos	0	
#10	CumInCAD	2010	A contribuição da prototipagem com emprego de fresadora CNC no processo de design de produto	Cardoso, Eduardo	Conference paper	SIGraDi 2010 XIV Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Grafica Digital, Disrupción, modelación y construcción: diálogos cambiantes	· Practical: Teaching Pedagogies · Methodology and results from a student workshop on Subtractive Rapid Prototyping	Google Schollar	0	UFRGS Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre, Brasil
								Scopus	0	
								Wos	0	
#11	Google Schollar Scopus	2010	Finite Element Analysis of Dovetail Joint Made with the Use of CNC Technology	Sebera, Václav Simek, Milan	Journal article	Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis	· Technical: Wood Engineering · Dovetail process and analysis of dovetail joint made with 3-axis CNC and tested with FEM	Google Schollar	13	Department of Wood Science Faculty of Forestry and Wood Technology Mendel University Czech Republic
								Scopus	9	
								Wos	0	
#12		2010	Traditional Furniture Joinery from the Point of View of Advanced Technologies	Simek, Milan Sebera, Václav	Conference paper	SWST International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe – Timber Committee	· Technical: Wood Engineering · Applications of the FEA method for digital furniture dovetail assemblies	Google Schollar	9	Department of Wood Science Faculty of Forestry and Wood Technology Mendel University Czech Republic
								Scopus	0	
								Wos	0	

Tabla de publicaciones. 2 de 6

#	DATABASE (16 primary research articles)	YEAR	TITLE	AUTHOR/S	DOCUMENT TYPE	SOURCE	THEME CONTRIBUTION	CITATIONS		GROUP
#13		2010	Chair design for CNC manufacturing – Skeleton Chair	Šimek, Milan Koreny, Adam	Conference paper	SWST International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe – Timber Committee	· Practical: Teaching Pedagogies · Design process of a ready-to-assemble chair. Flat-pack furniture with interlocking jointing system	Google Scholar	0	Department of Wood Science Faculty of Forestry and Wood Technology Mendel University Czech Republic
								Scopus	0	
								Wos	0	
#14		2011	Design Offered Up: Control and Open Outcomes in a Digitally Enabled Design Process	Filson, Anne Rohrbacher, Gary	Conference paper	CVE 2011 International Conference on Cooperative Design, Visualization and Engineering	· Theoretical: Teaching Pedagogies · Design project to develop a line of CNC-fabricated furniture objects with Interlocking jointing “L/Z” system	Google Scholar	4	AtFAB at UK College of Design University of Kentucky Pence Hall, Lexington, USA
								Scopus	2	
								Wos	2	
#15		2011	Design intercalated: The AtFAB project	Filson, Anne Rohrbacher, Gary	Journal article	International Journal of Design Sciences and Technology	· Theoretical: Teaching Pedagogies · Design project to develop a line of CNC-fabricated furniture objects with Interlocking jointing “L/Z” system. More data and elaborated conclusions	Google Scholar	3	AtFAB at UK College of Design University of Kentucky Pence Hall, Lexington, USA
								Scopus	0	
								Wos	2	
#16	Google Scholar	2011	Approach to furniture design education at Purdue University	Haviarova, Eva	Journal article	Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Forestry and Wood Technology	· Theoretical: Teaching Pedagogies · The importance of integrating new CNC technology as an educational approach for furniture design	Google Scholar	0	Department of Forestry and Natural Resources Purdue University West Lafayette, USA
								Scopus	0	
								Wos	0	
#17		2011	SketchChair: An All-in-one Chair Design System for End Users	Saul, Greg Lau, Manfred Mitani, Jun Igarashi, Takeo	Conference paper	TEI '11 International Conference on Tangible Embedded and Embodied Interaction	· Practical · Application that allow novice to control entire process of designing and building their own chairs	Google Scholar	197	The University of Tokyo Japan
								Scopus	125	
								Wos	2	
#18	Google Scholar	2013	Strength properties of self-locking furniture joints with shape adapted for the production by CNC technology	Langová, Nadežda Joščák, Pavol Grič, Michal	Journal article	Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Forestry and Wood Technology	· Technical: Wood Engineering · Empirical study of digital joint strength with mortise and tenon self-locking	Google Scholar	4	Faculty of Wood Sciences and Technology Technical University in Zvolen TUZVO Slovakia
								Scopus	0	
								Wos	0	

Tabla de publicaciones. 3 de 6

#	DATABASE (16 primary research articles)	YEAR	TITLE	AUTHOR/S	DOCUMENT TYPE	SOURCE	THEME CONTRIBUTION	CITATIONS		GROUP
#19		2013	Possibilities of CNC Manufacturing with Regard to Furniture Design	Šimek, Milan Kořený, Adam Dlauhý, Zdeněk Mihailović, Stefan	Conference paper	Wood is good-user oriented material, technology and design. Proceedings of the 24th International Scientific Conference	· Practical: Teaching Pedagogies · Furniture design based on technologies connection, ergonomics of sitting and parametric design	Google Scholar	2	Department of Wood Science Faculty of Forestry and Wood Technology Mendel University Czech Republic
								Scopus	0	
								Wos	0	
#20		2014	Finite Element Analysis of Wood Materials	Tankut, Nurgul Denizli Tankut, Ali Naci Zor, Mustafa	Journal article	Drvna industrija		Google Scholar	41	Bartın University Turkey
								Scopus	26	
								Wos	21	
#21	Google Scholar	2014	Development of Ready-to-Assemble Furniture Constructions	Šimek, Milan Kořený, Adam Sebera, Václav Tippner, Jan Dlauhý, Zdeněk	Conference paper	SWST International Convention of Society of Wood Science and Technology	· Technical: Wood Engineering · CNC furniture DIC testing process with dovetail self-locking	Google Scholar	0	Department of Wood Science Faculty of Forestry and Wood Technology Mendel University Czech Republic
								Scopus	0	
								Wos	0	
#22	Scopus Web of Science	2015	Determination of Displacement in a Loaded Wooden Chair by Using Digital Image Correlation	Šimek, Milan Dlauhý, Zdeněk Sebera, Václav Novák, Vít Kořený, Adam	Journal article	Drvna industrija	· Technical: Wood Engineering · CNC furniture DIC testing process with dovetail self-locking	Google Scholar	0	Department of Wood Science Faculty of Forestry and Wood Technology Mendel University Czech Republic
								Scopus	0	
								Wos	0	
#23	Google Scholar	2015	Determining Tension and Compression Strength and Basic Manufacturing Feasibility of CNC Router-cut Joints	Haviarova, Eva Uysal, Mesut Tasdemir, Cagatay Gazo, Rado	Conference paper	ISCHP 2015 International Scientific Conference on Hardwood Processing	· Technical: Wood Engineering · First study testing 7 variants of digital self-locking assembly designs	Google Scholar	0	Department of Forestry and Natural Resources Purdue University West Lafayette, USA
								Scopus	0	
								Wos	0	
#24	CumInCAD	2016	Parametrically Fabricated Joints: Creating a Digital Workflow	Cormack, John Sweet, Kevin	Conference paper	SIGraDi 2016 XX Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Grafica Digital, Crowdfunding	· Theoretical: Teaching Pedagogies · Explore the ability to create set of digital assemblies in the parametric environment with finger joint, mortise and tenon	Google Scholar	1	Victoria University of Wellington New Zealand
								Scopus	0	
								Wos	0	

Tabla de publicaciones. 4 de 6

#	DATABASE (16 primary research articles)	YEAR	TITLE	AUTHOR/S	DOCUMENT TYPE	SOURCE	THEME CONTRIBUTION	CITATIONS		GROUP
#25	Google Scholar	2017	Mechanical Properties of Furniture Self-locking Frame Joints	Grič, Michal Joščák, Pavol Tarvainen, Ilkka Ryönänkoski, Henri Lagaña, Rastislav Langová, Nadežna Andor, Tomáš	Journal article	BioResources	· Technical: Wood Engineering · Digital Dovetail self-locking assemblies' resistance: both FEM and empirical tests	Google Scholar	5	Faculty of Wood Sciences and Technology Technical University in Zvolen TUZVO Slovakia
	Scopus							4		
	Wos							3		
#26	Google Scholar	2017	Experimental And Theoretical Analysis Of Impact Of Shape Selected Type Of Self-Locking Joints On Their Mechanical Properties	Langová, Nadežna Grič, Michal Milch, Jaromír Šmidriaková, Mária	Journal article	Acta Facultatis Xylogogiae Zvolen res Publica Slovaca	· Technical: Wood Engineering · Digital dovetail self-locking assembly resistance, FEM application on their 2013 study	Google Scholar	3	Faculty of Wood Sciences and Technology Technical University in Zvolen TUZVO Slovakia
	Scopus							1		
	Wos							1		
#27		2017	Design for CNC: Furniture Projects and Fabrication Technique	Rohrbacher, Gary Filson, Anne France, Anna Kaziunas Young, Bill	Book	Maker Media	· Practical: Teaching Pedagogies · The most complete work in the CNC field with practical cases. Interlocking jointing "L/Z" system according to physical demands and uses to develop a line of CNC-fabricated furniture objects	Google Scholar	2	AtFAB at UK College of Design University of Kentucky Pence Hall, Lexington, USA
								Scopus	0	
								Wos	0	
#28	Scopus	2017	Furniture testing for higher competitiveness, better quality, and design	Šimek, Milan	Conference paper	WoodEMA2017 More Wood, Better Management, Increasing Effectiveness: Starting Points and Perspective	· Technical and Theoretical: Wood Engineering · New ways of testing furniture thanks to advances and new techniques in wood products and parametric design with dovetail self-locking.	Google Scholar	0	Department of Wood Science Faculty of Forestry and Wood Technology Mendel University Czech Republic
	Web of Science							0		
	Wos							0		
#29	CumInCAD	2018	Furniture Design with Digital Media - A participative educational experiment of digital craftsmanship	Symeonidou, Ioanna	Conference paper	36 eCAADe Computing for a better tomorrow 36th eCAADe Conference Proceedings	· Practical: Teaching Pedagogies · Educational experiment of 4 day workshop for full-scale furniture production. Joints by lateral metal rods	Google Scholar	0	Department of Architecture University of Thessaly Volos, Greece
								Scopus	0	
								Wos	0	
#30		2018	Experimental Development of Wood Products	Šimek, Milan	Conference paper	WoodEMA2018 Increasing the Use of Wood in the Global Bio-Economy	· Theoretical: Wood Engineering · Enhance the use of CNC to design ready-to-assemble flat-pack furniture with a minimum number of joints	Google Scholar	0	Department of Wood Science Faculty of Forestry and Wood Technology Mendel University Czech Republic
								Scopus	0	
								Wos	0	

Tabla de publicaciones. 5 de 6

#	DATABASE (16 primary research articles)	YEAR	TITLE	AUTHOR/S	DOCUMENT TYPE	SOURCE	THEME CONTRIBUTION	CITATIONS		GROUP
#31	Google Scholar	2019	Manufacturing Feasibility Analysis and Load Carrying Capacity of Computer Numerical Control Cut Joints with Interlocking Assembly Feature	Uysal, Mesut Tasdemir, Cagatay Haviarova, Eva Gazo, Rado	Journal article	BioResources	<ul style="list-style-type: none"> Technical: Wood Engineering Empirical test of resistance and viability of 8 different dovetail self-locking assemblies in two materials 	Google Scholar	0	Department of Forestry and Natural Resources Purdue University West Lafayette, USA
	Scopus							0		
	Wos							0		
#32		2019	Assembly furniture	Kim, Joan	Master thesis	Master of Fine Arts, degree in Art Graduate College of The University of Iowa	<ul style="list-style-type: none"> Practical: Teaching Pedagogies Step-by-step design of 3 "flat pack", easy-assembly furniture items with dovetail offset to fit 	Google Scholar	0	University of Iowa USA
	Scopus							0		
	Wos							0		
#33	Google Scholar	2021	Simply Wood, Design of All-Wood Furniture Joints	Braun, Moritz	Master thesis	Master of Engineering with specialization in Innovation Linæus University	<ul style="list-style-type: none"> Theoretical: Wood Furniture Collection of principles and patterns for all types of wooden furniture assemblies, focusing on circular furniture 	Google Scholar	1	Linæus University Sweden
	Scopus							0		
	Wos							0		

Tabla de publicaciones. 6 de 6

Year	Group	Transferencia	Docencia	Colaboración con empresas	Talleres de trabajo	Sostenibilidad
# 1 1997	C-Lab at HfG Germany	Sí	Sí	Sí	No	Sí
# 2 2001	C-Lab at HfG Germany	Sí	Sí	Sí	No	Sí
# 3 2003	C-Lab at HfG Germany	Sí	Sí	Sí	No	Sí
# 4 2003	C-Lab at HfG Germany	Sí	Sí	Sí	No	Sí
# 5 2004	ETH Zurich Switzerland	Sí	Sí	No	No	No
# 6 2006	MIT USA	Sí	Sí	No	No	Sí
# 7 2006	C-Lab at HfG Germany	Sí	Sí	Sí	No	Sí
# 8 2007	MIT USA	Sí	Sí	No	No	No
# 9 2009	NTUA Greece	Sí	Sí	No	No	No
# 10 2010	UFRGS Brasil	Sí	Sí	No	Sí	No
# 11 2010	Mendel University Czech Republic	Sí	No	No	No	Sí
# 12 2010	Mendel University Czech Republic	Sí	No	No	No	Sí
# 13 2010	Mendel University Czech Republic	Sí	Sí	Sí/No	Sí/No	Sí
# 14 2011	AtFAB at UK USA	Sí	Sí	Sí	Sí/No	Sí
# 15 2011	AtFAB at UK USA	Sí	Sí	Sí	Sí/No	Sí
# 16 2011	Purdue University USA	Sí	Sí	Sí/No	No	No
# 17 2011	UTokio Japan	Sí	Sí	No	Sí	Sí
# 18 2013	TUZVO Slovakia	Sí	No	No	No	No
# 19 2013	Mendel University Czech Republic	Sí	Sí	No	No	Sí
# 20 2014	Bartın University Turkey	Sí	Sí	No	No	Sí
# 21 2014	Mendel University Czech Republic	Sí	Sí	Sí/No	No	Sí/No
# 22 2015	Mendel University Czech Republic	Sí	Sí	Sí/No	No	Sí/No
# 23 2015	Purdue University USA	Sí	Sí	Sí/No	No	Sí
# 24 2016	Victoria U. of Wellington New Zealand	Sí	Sí	No	No	No
# 25 2017	TUZVO Slovakia	Sí	No	No	No	No
# 26 2017	TUZVO Slovakia	Sí	Sí	No	No	Sí
# 27 2017	AtFAB at UK USA	Sí	Sí	Sí/No	Sí	Sí
# 28 2017	Mendel University Czech Republic	Sí	Sí	Sí/No	No	Sí/No
# 29 2018	U. of Thessaly Greece	Sí	Sí	Sí/No	Sí	Sí
# 30 2018	Mendel University Czech Republic	Sí	Sí/No	No	No	Sí
# 31 2019	Purdue University USA	Sí	Sí	Sí/No	No	Sí
# 32 2019	University of Iowa USA	Sí	Sí	No	No	Sí
# 33 2021	Linæus University Sweden	Sí	Sí	Sí/No	Sí	Sí

Tabla resumen aportaciones en Transferencia, Docencia, Colaboración con empresas, Talleres de trabajo y Sostenibilidad

2.3. Presentación de los resultados del trabajo de investigación documental

Antes de comenzar a describir todos los trabajos encontrados en la búsqueda metodológica es importante destacar algunos parámetros específicos, o categorías, que ampliaron la primera búsqueda. En el apartado de metodología (1.4.) se mencionó que principalmente se buscaron investigaciones circunscritas a ensambles de madera y, posteriormente, se profundizó tratando de hallar, en las bibliografías de estos primeros trabajos, posibles vías de interés que no quedaran incluidas en la primera búsqueda. Como se mencionó, son 16 los trabajos primarios específicos encontrados sobre ensambles digitales y tras analizar sus respectivas bibliografías se ha considerado de interés incluir los que no fueron localizados con los motores de búsqueda aplicados anteriormente. Tras ese segundo filtro o búsqueda secundaria se encontraron trabajos, quizás menos profundos, como un Trabajo de fin de Grado o una Tesis de fin de Máster que, pese a no superar ciertos niveles en cuanto a la contrastación de datos, se tomarán en cuenta por su interés metodológico o por el desarrollo de soluciones. Su importancia en ensambles no es excesiva, pero se analizan por ser el germen, o las primeras incursiones con rigor académico, que transforman lo virtual en realidad tangible; de ahí su interés en recogerlo. Por resumir y agrupar información común, en esta tabla presentada, vamos a encontrar cuatro tipos de investigaciones o categorías de trabajos:

1. **Categoría 1** que interesan porque se centran específicamente en el tema de esta Tesis, con los ensambles de madera con fresadora de control numérico de tres ejes, en una vertiente más técnica de resistencia física de dichos ensambles llevados a su límite. Estos trabajos se suelen desarrollar en equipos de investigación relacionados con la ingeniería de la madera y la física de materiales; siguen pruebas normalizadas con una metodología reglada para lograr unos resultados precisos y contrastados. Se trata de trabajos que se podrían categorizar dentro del tipo “Ingeniería o científico-técnico”. Estos trabajos persiguen solucionar cuestiones específicamente técnicas de dimensionado y resistencia de los ensambles.
2. La **Categoría 2** de trabajos engloba aquéllos cuyo interés no está específicamente en los ensambles que muestra, posiblemente poco sofisticados o que ni siquiera se presentan, sino en las metodologías pedagógicas para la docencia. Es decir, que las investigaciones que lleven a cabo y su registro sean en sí un trabajo que facilita y fomenta el uso de herramientas digitales, dignas de mención por su interés como transferencia de conocimiento replicable. Estos trabajos suelen tener un carácter muy experimental en los que se recogen resultados, relevantes o no, pero que solamente por registrar dicho conocimiento, se consideran de interés porque ayudan a dicha transferencia. Normalmente este tipo de investigaciones parten de escuelas de diseño enfocadas a proponer soluciones estéticas y funcionales tratando de llevar las nuevas técnicas a su límite de trabajo de forma experimental. Pero no hay una solución en sí específica sino solamente un proceso. En esta Categoría también se verá que existen metodologías implementadas por equipos de ingeniería de la madera, como sistemas de trabajo para adquirir las aptitudes técnicas necesarias para diseño de productos, en particular mobiliario.
3. La **Categoría 3** comprende trabajos englobados en el mundo del **diseño** que enfatizan en una vertiente más **estética**. Se concede mucha importancia al objeto general, o a partes de este, ya que prima lo funcional con morfologías que cumplirían la acepción más primitiva de la palabra Diseño.

4. La **Categoría 4** va más allá de los límites de esta Tesis que profundiza las Ciencias de la Computación. Hay aún muchos problemas pendientes de solución, desde complicados algoritmos matemáticos para dar respuesta a infinidad de cuestiones digitales que van desde la interacción de un usuario que trata de diseñar un artefacto al sentarse frente al ordenador, hasta que es viable su fabricación con tecnología digital. Por ejemplo, el ensamble entre piezas se podría tratar de resolver previamente con un modelo matemático que interpretase, conforme a diversas solicitudes mecánicas cómo se unen varias piezas; es decir, que, mediante la computación, un ordenador sería capaz de solucionarlo. Se trata de una ciencia de indudable importancia pero que, para nuestro propósito, aún quedaría en lo virtual, si bien con la convicción de que tendrían solución ciertos problemas técnicos que un diseñador corriente no podría resolver desde las matemáticas sino desde las habilidades manuales. Estos trabajos tratan de solucionar problemas computacionales desde el entorno virtual, antes de poder ser fabricados.

Categoría	Clasificación
Categoría 1	Ingeniería de la madera: científico técnicos
Categoría 2	Incluyen metodologías pedagógicas
Categoría 3	Diseño desde las Humanidades
Categoría 4	Ciencias de la computación

Tabla. Categorización propia de las publicaciones objeto de estudio

En adelante, cuando se haga mención a los “trabajos técnicos” se estará haciendo referencia a los incluidos en la Categoría 1, los mencionados como “trabajos pedagógicos” corresponderán a la Categoría 2, las referencias a los grupos de “diseño” se incluyen en la Categoría 3 y las menciones a trabajos referentes a las Ciencias de la Computación, corresponderán a los de Categoría 4. Mediante esta categorización se pretende conseguir una herramienta útil para los docentes facilitándoles el enfoque que van a encontrar en cada trabajo estudiado.

En ocasiones habrá trabajos coincidentes entre las Categorías 2 y el resto, debido a que no se ha encontrado un número suficiente de trabajos de investigación que sustente las diferencias entre ambas, como campos específicos, sobre pedagogía de técnicas para diseño. Generalmente son trabajos a modo de taller experimental, en los que se recogen experiencias prácticas de gran utilidad para docencia. Pero indistintamente pueden partir del seno de las otras categorías mencionadas con la particularidad de que tratan de explicar sus avances desde un punto de vista pedagógico.

Llama la atención, a medida que se ha ido profundizando en la búsqueda de trabajos de investigación, que las cuatro categorías señaladas para englobarlos: técnicos, docentes, diseño e informático, no se encuentren conectadas entre sí. La Categoría 4, comienza a aparecer mucho más recientemente, y ello unido a que no es el campo específico de este estudio, motiva la escasez de trabajos que se referenciarán al final de esta recopilación. Así pues, las categorías más profusamente estudiadas son las restantes, Categorías 1, 2 y 3. Cada una de ellas evoluciona aportando avances en sus respectivos campos sin realizar prácticamente mención alguna a los trabajos de las restantes categorías.

El grupo de la universidad de Offenbach (Hochschule für Gestaltung, en adelante C-Lab at HfG) del que se profundizará en 2.6., es el único que se encuentra referenciado por algunos autores en

varias de las categorías mencionadas, aun perteneciendo a distintas ramas de conocimiento. Se constata además que los grupos de diseño englobados en la Categoría 3 no profundizan en la búsqueda de autores y fuentes que pudieran aportar soluciones técnicas. Se echa en falta, pues, una metodología de trabajo consensuada para registrar o documentar de manera ordenada y práctica, los avances en estas tecnologías en auge en esta Categoría.

Por otra parte, los grupos de la Categoría 1 sí que muestran una metodología más rigurosa y asentada, con referencias a autores que investigan técnicas parecidas para solucionar problemas similares. La falta de citas entre autores de las Categorías 1 y 3 pone de manifiesto que el campo más perjudicado es el del Diseño puesto que muchos de los progresos y soluciones propuestas desde el campo técnico podrían constituir una fuente de información muy útil para obtener resultados más ágiles y certeros.

En la Tabla 1 que se expone ayuda conocerlas y estudiarlas para un dominio documentado en la materia de los ensambles. Solo con la utilización de esta maquinaria de manera práctica sin complementar con una base teórica necesaria para obtener una visión general no generará un conocimiento completo, sino que, al contrario, generará más incógnitas. A medida que se ha ido profundizando en la bibliografía se corrobora la utilización de algunos métodos de trabajo, poco apropiados, de usuarios que han sido formados exclusivamente a través del uso práctico de la maquinaria sin tener en cuenta los fundamentos teóricos.

Otra apreciación sobre la que se quiere incidir y que ya se ha comentado es la dificultad en encontrar esa bibliografía circunscrita a este tema ya que no existe un referente que aúne todas las obras de esta temática recogidas en un solo documento como pretende esta Tesis. Con la presentación de estos trabajos básicos encontrados se toman como referencia para docentes y diseñadores que quieran adentrarse en este campo y no emplear tiempo en una búsqueda ardua y costosa en tiempo.

La Tabla 1 muestra los títulos más relevantes en cada campo introduciendo además contenidos esquematizados para facilitar (y optimizar la labor de) la búsqueda para cualquier interesado. Dado que uno de los intereses de esta investigación es la transferencia de conocimiento sobre un tema algo fragmentado en distintas investigaciones, no conectadas entre sí, la presentación de toda la información en un mismo documento optimiza los tiempos de búsqueda. Por lo tanto, plasmar todo en un solo documento facilita enormemente esta transferencia. Se trata de enfocar y optimizar el tiempo a otros docentes o interesados en la materia a la lectura de un material que ya está filtrado con la información más relevante. No obstante, si se quisiera investigar sobre otras cuestiones paralelas relacionadas se tendría que ir a la referencia citada para consultarlo dependiendo del interés particular en las temáticas de cada uno.

2.4. Estructura del análisis de las referencias documentales

Consecuencia de este estudio por lo general en esta clasificación de Grupo se está utilizando como autor principal aquel que resulta repetido en la mayoría de las publicaciones.

El esquema de presentación y estudio de los diversos trabajos recopilados entre 2.6. y 2.15. será el siguiente:

- **Resumen.** Pequeña introducción sobre lo que versa el artículo, trabajo o grupo de investigación.
- **Interés del trabajo o grupo de Investigación** Se da respuesta a esta pregunta en cada artículo o al principio de cada grupo de investigación de manera concisa para conocer el interés específico en cada caso.
- **Datos bibliométricos.** Se harán comentarios sobre los datos obtenidos sobre los índices de impacto de los trabajos individuales tanto si pertenecen a un grupo o departamento de investigación definido como si es aislado. Se irá de lo general a lo particular gestionando datos de la Universidad donde se publica analizando las áreas del conocimiento con mayor cantidad de publicaciones y su relación con el área específica de los artículos publicados. En el caso de ser en revistas específicas o conferencias también se analizarán sus índices. Una breve búsqueda de los autores de los trabajos mencionados para comprobar si tienen o no más publicaciones relacionadas con el ámbito de estudio y si son y siguen siendo perfiles activos en los ámbitos científicos, o por el contrario son casos aislados. También un análisis de las citas obtenidas en Web of Science, Scopus y Google Académico. Hay ocasiones en que no se pueden obtener los datos nombrados puesto que sus publicaciones son antiguas con respecto a la era de la digitalización de los artículos científicos. Se recogen de los motores de búsqueda de Web of Science y Scopus.
- **Principales aportaciones** de cada investigación que han aportado nuevo conocimiento o documentado conocimiento que no se había registrado con anterioridad.
- Tabla (**Aporta conocimiento para:**) que sintetiza de manera rápida si el trabajo refleja aportaciones relevantes sobre los conceptos de transferencia, docencia, colaboración con empresas, talleres de trabajo y Sostenibilidad.
- Desarrollo de la Tabla (**Aporta conocimiento para:**) que justifica de manera específica y simplificada los conceptos mencionados. Se visualiza de manera rápida si los trabajos aportan o no sobre los temas señalados resulta de gran ayuda tanto para un estudioso como para un docente, en el campo de las fresadoras CNC de 3 ejes. Dependiendo del campo objeto de estudio, el interesado podrá conocer de antemano qué tipo de transferencia de conocimiento aporta cada artículo y en qué sentido lo hace. Podrá anticipar, si existen aportes adecuados para implementarlos en docencia para diseño y producción de mobiliario con fresadora CNC; si se menciona la colaboración con empresas y de qué manera, pues en caso afirmativo los autores pretenden de manera expresa su divulgación para el conocimiento y beneficio de las misma; si aporta algún sistema específico de taller de trabajo para implementar en docencia o alguna pauta que dé pie para ello; y, finalmente, si existe mención justificada o no sobre sostenibilidad, o incluso si no existiese, con las metodologías utilizadas en su proceso, la introduce implícitamente. Además, se informará en términos generales del número de aportaciones sobre dichas cuestiones que posee cada trabajo. Lo que se pretende es facilitar al máximo y de forma rápida para qué le puede servir al interesado cada uno de los trabajos estudiados y resumidos en esta Tesis.

- **Resumen de artículos** realizados desde el punto de vista de lo que un docente o persona interesada, debe conocer entorno al diseño de mobiliario producido con fresadora CNC de 3 ejes desde el foco de las áreas de las Humanidades. Se recogen exclusivamente los datos y curiosidades más relevantes para este campo. En el caso de no dar información específica sobre metodologías de diseño de mobiliario con la tecnología mencionada, su inclusión podrá ser por su enfoque pedagógico para docencia, sostenibilidad u otro que se explicará en cada caso específico. Este punto en cada trabajo se traslada al Apéndice 1.

Lo que se pretende es facilitar al máximo y de forma rápida para qué le puede servir al interesado cada uno de los trabajos resumidos en esta Tesis.

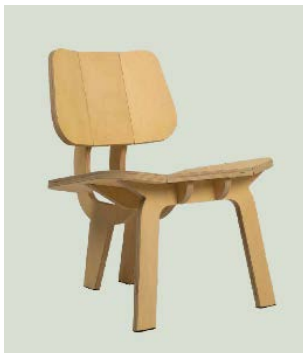
2.5. Presentación de resultados derivados del trabajo experimental

Se presentan aquí como resultados la constatación experimental de que se ha sabido entender por parte del autor de esta Tesis, lo que se refleja en los resultados señalados y recogidos en las referencias bibliográficas consignados en la Tabla 1 (Capítulo 2.2.). En segundo lugar, también son resultados de esta Tesis lo que se han llevado a la práctica y ensayo en la docencia y se han desarrollado en otros aspectos de carácter creativo e integrativo (método Bauhaus) como exposiciones, etc. Por ejemplo, resultan representativos, entre otros, los que fueron expuesto de mayo a septiembre de 2021 en el espacio expositivo que se habilitó en el aula polivalente de la Sede de Madrid-Quintana en la URJC. De los 52 proyectos ejecutados desde 2018 a 2023, sólo en la Sede de Madrid-Quintana, se han seleccionado los diez más representativos para exponer en esta Tesis. Todos los proyectos han sido dirigidos y ejecutados por el autor, y los estudiantes han participado en el diseño y construcción. Más detalles de interés de los mismos se encuentran en el Apéndice 2.

El proceso de diseño descrito en el Capítulo 1.5., permite un tipo de fabricación digital que es el que hemos seguido. No pretende competir con grandes empresas o infraestructuras del sector sino proveer de herramientas para fabricar productos a demanda o creaciones propias para afrontar la resolución de problemas de fabricación en entornos locales o nacionales. Es lo mismo fabricar una silla que una casa de muñecas o una visera quirúrgica o que un proyecto de arquitectura efímera, la máquina es la misma y el proceso es el mismo.

La experiencia combinada con el conocimiento de la máquina lleva a cualquier experto a la evidencia de que lo fundamental no suele ser encontrar la pieza que coincida con lo que se quiere hacer sino localizar los ensamblados adecuados para que éstos puedan conducir a la forma que se persigue. Es decir, acoplar una serie de uniones con unas sollicitaciones específicas para sus ensamblados. Bien entendido que cada uno de los ensamblados es o puede ser distinto de otros utilizados en la misma pieza porque todos ellos tienen a su vez una determinada caracterización funcional.

Para mostrar los resultados del trabajo experimental hemos creído conveniente seleccionar una serie de ejemplos que desarrollamos con los estudiantes de Grado y que fueron expuestos en el centro universitario. A continuación, se presentan algunos proyectos que hemos llevado a cabo mencionados de manera sintética a través de imágenes.



Título: *Silla LFC* (ver Capítulo A2.1)

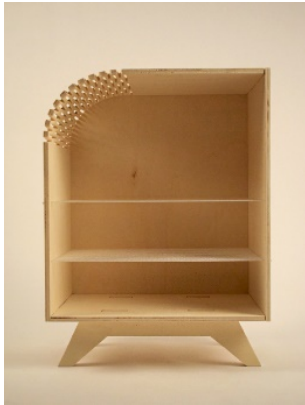
Autoras de la idea: Nora Abad, María de María, Loreto del Valle y Silvia Gancedo

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Nora Abad, María de María, Loreto del Valle y Silvia Gancedo

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Mueble: Silla

Curso: 2019-20



Título: *Mueble Kerfing* (ver Capítulo A2.2)

Autores de la idea: Natalia Bru, Alberto Kittsteiner, Ainhoa Montejano y Raquel Torre

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Natalia Bru, Alberto Kittsteiner, Ainhoa Montejano y Raquel Torre

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Mueble: aparador almacenaje

Curso: 2019-20



Título: *ermel chair* (Silla Ermel) (ver Capítulo A2.3)

Autores de la idea: Laura Bioque, Patricia Ruíz, Miguel A. Vilán

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Laura Bioque, Patricia Ruíz, Miguel A. Vilán

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Mueble: Silla

Curso: 2020-21



Título: *Shell lounge chair* (ver Capítulo A2.4)

Autores de la idea: Ana San Martín, Ikram El Ghamashi y Carlos Vargas

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Ana San Martín, Ikram El Ghamashi y Carlos Vargas

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Mueble: Silla

Curso: 2020-21



Título: *orgánic table* (ver Capítulo A2.5)

Autoras de la idea: Lorena Cayuelas y Sara Lucía

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Lorena Cayuelas y Sara Lucía

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Mueble: sillón

Curso: 2020-21



Título: *TALBUM* (ver Capítulo A2.6)

Autoras de la idea: Elvira Castellanos, Inés Cifuentes y Henar González

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Elvira Castellanos, Inés Cifuentes y Henar González

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Mueble: taburete-mesita

Curso: 2020-21



Título: *Silla b-8* (ver Capítulo A2.7)

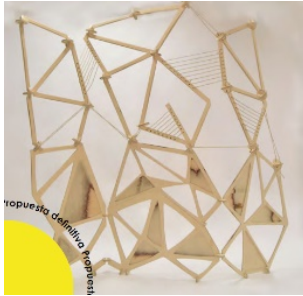
Autoras de la idea: Lucía Martín, Lucía de la Peña y Clara Rodríguez

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Lucía Martín, Lucía de la Peña y Clara Rodríguez

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Mueble: Sillón

Curso: 2021-22



Título: *Arakne* (ver Capítulo A2.8)

Autoras de la idea: Natalia Ameijeiras, Nicole Dávila y Raquel Gómez

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Natalia Ameijeiras, Nicole Dávila y Raquel Gómez

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Mueble: Biombo

Curso: 2021-22



Título: *Duit* (ver Capítulo A2.9)

Autoras de la idea: Lidia Gallego, María Gómez y Alicia de Inés

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Lidia Gallego, María Gómez y Alicia de Inés

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Mueble: juguete modular

Curso: 2022-23



Título: *Loungechair Vol4* (ver Capítulo A2.10)

Autoras de la idea: Celia García, Ana Belén Gil y Alejandra Moreno

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Celia García, Ana Belén Gil y Alejandra Moren

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Mueble: Silla

Curso: 2022-23

2.6. (1998-2006) C-Lab at HfG Group. Germany

Los primeros documentos que aparecen en la Tabla 1, unificados sobre fondo azul para una fácil detección en la Tabla, corresponden a las primeras publicaciones halladas en este campo de estudio y provienen del mismo equipo de trabajo. Los componentes de este grupo de investigación poseen un total de cinco publicaciones en este ámbito y parten del mismo proyecto de investigación del centro docente alemán Hochschule für Gestaltung (Escuela Superior de Proyectos); para simplificar se denominará Universidad de Offenbach o Grupo C-Lab at HfG. Gros, según la información consultada, se encuentra presente como autor en casi todas las publicaciones estudiadas y fue él quien comenzó a configurar su equipo introduciendo por ejemplo a Friedrich Sulzer o a Dagmar Steffen, como se comentará más adelante.

2.6.1. Introducción

Interés del C-Lab at HfG Group

Para empezar, se trata del primer equipo registrado en los buscadores científicos que afronta la realización de mobiliario de madera con fresadora CNC de 3 ejes, partiendo del interés del diseño estético, pues no en vano se ubican en una facultad centrada en diseño de productos. Introduce numerosas aportaciones avaladas por su proyecto, tanto por estudios teóricos como por desarrollos prácticos. Sus resultados han servido de ejemplo a muchas otras investigaciones. Los restantes Grupos de Investigación han referenciado en sus trabajos tanto a este equipo como a su autor más relevante, Jochen Gros.

Este proyecto completo se podría englobar en la **Categoría 3**, de las 4 establecidas (2.3.), debido al énfasis que hacen en el diseño de productos, también base de su origen, si bien, el carácter pedagógico de algunos trabajos podría rozar la **Categoría 2**.

Datos bibliométricos

La Universidad de Offenbach solo dispone de un total de 21 documentos publicados en la base de indexación científica de Scopus, ninguno de los cuales hace referencia a alguno de los cinco mencionados en esta recopilación. Como se comprobará con los siguientes trabajos, llama la atención que esta universidad posea tan pocos artículos indexados en los buscadores científicos. Únicamente en la búsqueda realizada con el buscador Google Académico, con los filtros y palabras mencionadas en la metodología, apareció el artículo publicado en 2001. A través de la bibliografía aportada por otros textos hubo de realizarse una rigurosa búsqueda y seguimiento de posibles artículos sobre esta temática firmados por alguno de los autores del equipo, obteniendo así el resto de ellos. Por lo tanto, si no se conocen de antemano sus autores y la relación que tienen con la fabricación digital para mobiliario, o bien los títulos exactos de las publicaciones, no resultará fácil la localización de estos trabajos científicos. Debido al bajo índice de impacto de esta universidad, comparada con el resto de las que se van a mencionar, no se profundizará en sus datos bibliométricos pues su aportación es escasa para esta comparativa. En base a los datos encontrados, se podría concluir que este equipo de investigación no puede considerarse de un gran impacto en este campo, pero tal como se irá comprobando a lo largo de esta Tesis, constituye un grupo pionero que marcó el comienzo en la fabricación digital de mobiliario. De ahí el interés en conocer tanto sus publicaciones como el panorama que las rodeó hasta hacerlas posible.

Como se ha dicho, los cinco trabajos se pueden localizar sólo si se conocen sus títulos o sus autores en Google Académico, que, como se puede comprobar en la Tabla 1, se registra el número de citas

actuales. Si se analizan los ámbitos de publicación, de las cinco referenciadas de este equipo, dos son de libre publicación, sin filtro alguno. La primera tiene como soporte un CDRom llamado *50 digital woodjoints*, y la segunda se publica en el libro escrito en alemán *C-Moebel*. Las tres restantes son artículos científicos. La primera, en CDRom, adquiere relevancia puesto que como se comentará se encuentra divulgada libremente en internet, siendo posible la consulta de casi todos sus ensambles. Es el documento que emerge con más asiduidad en cualquier buscador de internet desde hace casi una década, todo un éxito de divulgación en portales no académicos. Si se profundiza en la localización de los tres artículos académicos mencionados se constata que no se encuentran en ninguna de las plataformas de búsqueda científica citadas en este estudio, excepto en Google Académico. Tampoco aparecen indexados en WoS, Scopus o CumIncad, quizás porque las fechas de los artículos son anteriores a la digitalización en masa de este tipo de servidores, que fue posterior. Pero, sobre todo, al tratarse de artículos concebidos desde una óptica más teórico humanista resulta difícil englobarlos en un campo tan específico como la fabricación digital de mobiliario con fresadora de tres ejes; de ahí la posible escasez de citas. Solo poseen citas en Google académico Steffen y Gros (2003) y Steffen (2006) con 14 y 1 respectivamente.

Por otra parte, su relevancia e impacto científico pudieran ser menores ya que, una vez estudiada toda la bibliografía, podría decirse que son fases experimentales de trabajo en las que no está registrada una metodología específica consensuada, para poder ser replicada por cualquier investigador, como ocurre por ejemplo en el campo de la ingeniería de la madera. Entre sus méritos se encuentra el haber sido el primer grupo de investigación que produjo mobiliario con fresadora CNC de 3 ejes, así como la documentación publicada de sus resultados sobre ensambles digitales y el registro de sus desarrollos y conclusiones teóricas sobre esta manera de producir. Debido a que fueron los pioneros en este uso no disponían de bibliografía en la que basarse para la realización de los ensambles con esta maquinaria. Tampoco estaban familiarizados con los métodos científicos del momento para la recogida de datos de manera sistemática, ya que era una metodología poco común en las disciplinas de humanidades dedicadas al diseño. En el caso de que este grupo hubiera consultado para sus planteamientos, disciplinas más técnicas, como las aportadas por Purdue University (2.13.), podrían haber encauzado sus investigaciones hacia resultados más empíricos. Pero dada la formación y procedencia de este grupo, su motivación no era tanto la parte técnica como la parte estética, para la resolución de problemas inherentes al diseño de productos, con la aparición de una nueva tecnología. Denota el interés por este equipo por parte de otros investigadores de otras ramas, la constatación de que son citados tanto por los grupos de disciplinas más relacionadas con ingeniería de producto como por los de diseño. En ambos casos les interesa sus puntos de vista y cómo han resuelto el diseño de los ensambles, ya citados en las Categorías 1 y 3, descritas al principio de este capítulo.

En lo que concierne sólo a los artículos científicos publicados, el primero de 2001, corresponde a una conferencia, presentada y publicada como artículo, en las Actas del Primer Congreso de Personalización en Masa en Hong Kong. Dicha conferencia no se encuentra registrada ni en Scopus o WoS, por lo que se carece de datos relevantes. No obstante, en rasgos generales y bajo búsquedas sencillas en internet, se informa que fue un evento que se organizó para: proporcionar un foro de discusiones, intercambio de nuevos enfoques fomentando una mayor colaboración, compartir las mejores prácticas y estudios de casos de personalización masiva, acelerar el desarrollo de tecnologías centrales e infraestructuras para la mencionada personalización, y discutir modelos de negocios apropiados en la economía de entonces. Con tales fines se ponía de manifiesto el carácter teórico del artículo y los diversos intereses del desarrollo de estas máquinas. Este artículo aparece citado en Uysal et al. (2019), como se verá en su momento, y pese a ser una investigación proveniente del diseño desde la disciplina de humanidades, es el único autor citado

por casi todos los ingenieros de materiales. Lo que llama la atención es que citen su artículo de 2001 y no el de 1997 que es el que realmente introduce las 50 diferentes morfologías. Se verá que, de los otros dos Grupos técnicos, no es citado por Mendel University en ninguno de sus tres artículos, mientras que sí lo cita Tuzvo en sus tres artículos con los *50 digital Wood joints* del 97. También Gros es citado por AtFAB at UK, siendo algo más lógico puesto que vienen de la misma disciplina.

El segundo artículo, de 2003, se presenta en otra Conferencia, segunda edición de la anterior, denominada Segunda Conferencia Internacional en Customización y Personalización en Masa. Finalmente, el artículo de 2006, lo realizó la investigadora Steffen junto con Gros, en la universidad alemana de Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal, North-RhineWestphalia, y formó parte de la Conferencia Internacional celebrada en Lisboa en 2006, organizada por la Design Research Society¹, conmemorando su 40 aniversario.

Como se ha señalado, ninguna de estas publicaciones, o conferencias, se encuentra registrada en los buscadores científicos mencionados. Como tampoco se encuentra registrado el perfil del investigador que inició este proyecto. Según la información encontrada, Jochen Gros parece ser el autor común en las publicaciones de este grupo y, seguramente, el aparente ideador de esta línea de investigación. Ha sido durante 30 años profesor de Teoría del Diseño en la Universidad de Arte y Diseño de Offenbach en Alemania. Tras la lectura de los artículos aportados en esta investigación, hay relación directa entre el diseño de productos con las nuevas formas de producirlo. Su primera faceta laboral habría coexistido con lo que entonces eran las corrientes más críticas en la producción de los objetos (<https://jochen-gros.de>). Es posible deducir que esta base de conocimiento y la aparición de las CNC llevarían a Gros a investigar una nueva manera de producir, en este caso el mobiliario, con esta nueva técnica, tratando de dar respuesta a la incógnita de cómo crear diseño en la nueva era digital que comenzaba en aquel momento. Es curioso que dicho interés finalizase en 2004 cuando quedaba todo por hacer. Quizás fueron testigos de las innumerables limitaciones técnicas del momento.

Consideraciones históricas previas al Grupo de Investigación C-Lab at HfG

Dada la relevancia histórica de esta universidad en el mundo del diseño se comenzará con algunos datos previos, de indudable interés para mayor comprensión y contextualización de las publicaciones que aquí se recogen. Por ello, antes de pasar a describir los trabajos publicados por este grupo se hace necesario mencionar, por la importancia en el mundo del diseño, que esta universidad es heredera, en tercera generación, de la Bauhaus. Cuando ésta fue clausurada en 1933 por los nazis (Wick, 1982), muchos de sus integrantes marcharon hacia los Estados Unidos huyendo del régimen. Allí se desarrolló un movimiento de continuidad de la Bauhaus. Situándonos en Europa, el escultor y arquitecto suizo Max Bill, en 1951, siguiendo los preceptos de la famosa escuela, funda en Ulm (República Federal Alemana) la Hochschule für Gestaltung y la denomina la Neues Bauhaus (Nueva Bauhaus) para diferenciarla de la anterior. Tras varios problemas económicos, debidos al cese de las subvenciones por problemas internos de gestión, en 1968 se clausura la Neues Bauhaus. En 1970, la Universidad de Offenbach integra entre sus enseñanzas un Colegio de Arte y además, paralelamente, fue la primera en actuar después del renombrado

¹La DesignResearchSociety es una sociedad científica comprometida con la promoción y el desarrollo de la investigación del diseño. Fundada en 1966, es la sociedad mundial multidisciplinaria más antigua para la comunidad de investigación del diseño. Su serie de conferencias internacionales, grupos de interés especial y presencia en online reúne a una comunidad de todo el mundo en todas las áreas de investigación del diseño.

cierre del HfG de Ulm cuyo título utilizó gran parte de su concepto de enseñanza que continuaba con metodologías de la Bauhaus².

Con estos antecedentes no es de extrañar la gran carga empírica que se percibe en el proyecto de este primer grupo de investigación, del que se tiene evidencia científica en el campo de ensamblés digitales con fresadora, y que dura alrededor de 10 años. Tras estudiar varias de sus publicaciones se evidencia en su metodología práctica una fuerte configuración de ADN bahausiana.

Se va a comenzar con un breve resumen de sus estudios para dar una visión general de este equipo, y posteriormente se pasará a desgranar con más profundidad cada uno de ellos. Las primeras publicaciones de diseño de mobiliario con tecnología digital con CNC ven la luz en los años 90 del pasado siglo XX. Los profesores Gros y Sulzer fundan C-Lab en el departamento de diseño de productos de la universidad de Arte y Diseño de Offenbach. Su herramienta de trabajo fue una fresadora por control numérico de tres ejes recién adquirida, gracias a subvenciones del Gobierno, para producir productos y/o mobiliario. Se focalizan en enseñar e investigar mediante diseño experimental, profundizando en aspectos culturales o estéticos de producto, y en las condiciones y objetivos de la nueva tecnología de producción. Profesores y estudiantes trabajaron juntos en este estudio, en parte con proyectos internos y en parte con proyectos externos de empresas asociadas. Realizaron una profunda labor de estudio y análisis de ensamblés tradicionales japoneses y europeos susceptibles de ser realizados con CNC. También llevaron a cabo una gran labor divulgativa organizando conferencias, seminarios, talleres de trabajo, además de editar varias publicaciones.

Como se ha mencionado anteriormente, en el CD-Rom presentan 50 ensamblés digitales en madera junto con aplicaciones prácticas en muebles diseñados íntegramente para producirse con CNC; aquí publican todos los archivos vectorizados en distintas extensiones, es decir, los interesados pueden descargarse la información digital para hacer uso de ella o modificar sus diseños. Aportan casos prácticos en colaboración con empresas privadas para el desarrollo y evolución del sector. El proyecto completo realizado por C-Lab y recogido en las publicaciones mencionadas no continuó por diversos factores, tal y como se recogen en los documentos. Entre ellos, la tecnología todavía era limitada, para este desarrollo, la escasez en la variedad y cantidad de diseños para el consumidor se traducía en poca demanda, y la necesidad de un plan adicional de máquetin. Su éxito lo tuvo como producto experimental, no como producto competitivo. Sin duda, el desconocimiento o la falta de experiencia en el mercado fue un obstáculo.

Este gran proyecto no nace tras la adquisición de una fresadora de control numérico y su puesta en funcionamiento para diseñar sin más, como experimento. Este proyecto se fundamenta y cobra sentido gracias a los estudios teóricos de aquellos años que analizaban tanto los aspectos económicos, como la crisis en el diseño, o como el cambio estructural organizativo y productivo que presentaba la digitalización de las empresas.

Publicaciones del C-Lab at HtG Group

Toda la información que se va a aportar a continuación sobre este grupo se ha recogido exclusivamente de los tres artículos científicos y el CD-Rom. Hay que destacar la gran actividad divulgativa no científica que realizó el equipo y que en ocasiones es complicado encontrar, debido a que las fechas en las que se produjo fueron las puertas del comienzo del uso de internet masivo, y pudieron no haber quedado registradas. No obstante, sólo nos centraremos en las informaciones que se recogen en estas publicaciones científicas, resumiendo sus contenidos ya que,

² https://wikieur.com/wiki/Hochschule_f%C3%BCr_Gestaltung_Offenbach_am_Main

dependiendo del año de publicación, algunas partes teóricas guardan similitudes al basarse en un proyecto común a todas ellas.

Según estos textos mencionados, escritos en la primera década de los 2000, el concepto clave que transforma radicalmente muy diversos campos es la digitalización de las empresas, tema que preocupa y que estudian numerosos autores. A medida que va irrumpiendo, va produciendo un efecto transversal de cambios, tales como la economía o las estructuras de las empresas, tanto en organización como en producción. La digitalización de la maquinaria industrial se va haciendo cada vez más presente en grandes y medianas empresas de aquellos cercanos años. El ahorro en tiempo que se aporta en la producción con esta maquinaria es patente y su uso en tareas que tradicionalmente pertenecían a oficios en artesanía tradicional origina un debate social, artístico, filosófico y económico. Gros trata de integrar a diversos gremios de la madera y producción en varios momentos de su proyecto para hacerlos partícipes de la tecnología que se va instaurando y evitar así que se sientan excluidos. Paralelamente en la comunidad científica se van sucediendo aportaciones que abarcan desde el debate internacional sobre investigación del diseño, el análisis profundo sobre crisis en el diseño, hasta los cambios en la producción tecnológica, o en la economía.

Muchos teóricos del diseño, y también de la empresa y de la economía en general, estuvieron, entonces, fuertemente influidos por la publicación de Davidow y Malone de su libro de economía *The virtual corporation* en 1992. En él se exponen los fundamentos sobre toda empresa que pretenda sobrevivir en el siglo XXI. Desde una perspectiva actual, pasados más de 30 años, resultan obviedades, pero en aquel momento constituyó un análisis muy novedoso y relevante. Se concentraron en el producto virtual como el centro de toda revolución futura y los beneficios que le aporta esta nueva forma de entender las empresas para el cliente. La aparición de productos virtuales y su disponibilidad en cualquier momento, en cualquier lugar en cualquier tamaño o forma, lo describen como el gran cambio del momento.

En cuanto a los actores de este proyecto destacaremos a dos de los principales, así como sus ámbitos de procedencia. Son ellos Friedrich Sulzer y Jochen Gros. El primero de ellos, Sulzer, era un maestro ebanista y diseñador industrial que trabajaba en un proyecto de investigación sobre *New Technologies in Wood Processing*, en el Institute for Interior Design and Furniture Design en la Kunstakademie, Stuttgart. Por otra parte, el profesor Jochen Gros, que ya se ha descrito su trayectoria en el epígrafe de datos bibliométricos. Justo antes de fundar este proyecto se encontraba investigando sobre artesanía electrónica y, entre otros temas, tocaba muy de lleno la personalización en masa y la semántica del producto. Lo cual explica que una de sus metas u objetivos con el nuevo proyecto sería el estudio de la transición de la producción en masa (en cadena o seriada) a la fabricación flexible asistida por ordenador. Estas irrupciones de la tecnología en las empresas, según él, traerán consigo cambios económicos y culturales como los que acompañaron a la industrialización en los siglos XIX y XX. Entorno a estos años de variaciones en el sistema industrial hay que destacar que muchos economistas describieron tales situaciones de cambio de la producción industrial en masa hacia la fabricación flexible con computadora, con términos como *flexible specialization* (Piore & Sabel, 1984), *virtual production* (Malone & Davidow, 1992), *masscustomization* (Pine, 1993), y *customer-individual massproduction* (Piller, 1998). Las ventajas de la producción digital son sobre todo un reto tecnológico y económico que Gros cree que tendrá serias consecuencias para el diseño industrial. Dichas cuestiones fueron planteadas y respondidas en su momento por la German Werkbund, por la Bauhaus de Dessau y por la Escuela de Ulm, pero ahora se repiten debido a los nuevos cambios técnicos, aunque bajo signos inversos. Pese a que hasta entonces y durante muchas décadas primaba el funcionalismo, Gros entiende que las herramientas digitales alientan la personalización de productos hechos en pequeñas series a medida. Según él, debemos reemplazar el concepto de Diseño Industrial por el de Diseño

personalizado. Estas nuevas maneras de producir aportarán indudablemente nuevos diseños y objetos pues todo lo diseñado hasta ahora sigue las formas de producir industrializadas. En este cambio de estilo se justifica la expresión de Gros, “La forma seguirá a los métodos de producción” (Gros, 2001).

Una vez se ha descrito la situación de la que partía el proyecto de C-Lab podríamos decir que los motores de este gran estudio comienzan con varios hitos previos. El primero es el realizado por el Instituto de Arquitectura de Interiores y Diseño de Mobiliario de Stuttgart (hoy Weissenhof-Institut) en mayo de 1993, bajo la batuta del diseñador alemán Profesor Arno Votteler, fallecido en 2020. Fue uno de los diseñadores pioneros de la postguerra. Según Gros, con su escrito “New Technologies in Furniture Construction” quería mostrar el estado de arte de aquel momento con la nueva tecnología digital y sus nuevas perspectivas para pequeñas y medianas empresas trabajadoras de la madera. Dicho estudio lo realiza con uno de los actores ya mencionados, Friedrich Sulzer. Este texto marca el principio sobre investigaciones de diseño de mobiliario digital con dos metas: el estado en ese momento de la tecnología digital en la realización de mobiliario y el diseño potencial en base a la nueva tecnología.

Tras un año de investigación el equipo presentó sus adelantos en *Furniture in C* en la Feria Internacional de mobiliario de Colonia de 1994. El segundo paso tuvo lugar en el “décimoprimer Seminario de Weissenhof” (“11th Weissenhof Seminar”) que reunió a pequeñas y medianas empresas y diseñadores de la industria del mobiliario para abrir nuevos horizontes en el uso práctico de las nuevas tecnologías. Además, se discutieron problemas y posibilidades que se derivan del uso de estas tecnologías con presentación in situ de casos prácticos. Y el tercer factor, casi determinante, es que Sulzer se incorpora a la Universidad de Offenbach. Esto produce una combinación de factores muy importantes: gracias a los conocimientos adquiridos en Stuttgart por Sulzer y a la investigación que llevaba a cabo el profesor Jochen Gros sobre artesanía electrónica, ambos fundan en 1993 el “C_Lab” que se mantiene activo hasta 2004, y el nombre que se ha tomado en esta Tesis para este Grupo de Investigación. Ponen el foco en buscar los fundamentos sobre la compatibilidad del diseño con CNC y el desarrollo experimental de productos virtuales. Hoy se podría entender como comercio virtual, online o por internet, en donde cualquier usuario con conexión a la red tiene acceso a visualizar cualquier producto para comprarlo sin siquiera tenerlo realmente en sus manos, una verdadera utopía en aquellos años. Partiendo de aquí, otra cuestión que fue objeto de estudio fue el llamado “arte de personalizar” que ya había sido estudiado por Gros. Examina el reto de un diseño específico y el proceso de diseño industrial con el cliente como co-diseñador. Las primeras empresas que se lanzan a la personalización en masa ofrecieron solo variaciones superficiales de sus productos, como se comentará más adelante mostrando un ejemplo de aplicación.

Tras la fundación de C_Lab en HfG, en el departamento de diseño de producto, se centraron prioritariamente en enseñar e investigar mediante el diseño experimental profundizando en aspectos culturales o estéticos de producto, así como en las condiciones y objetivos de la nueva tecnología de producción. De ahí la presencia de la letra C, que simboliza la consonante por la que comienzan tres grupos de palabras muy relevantes, que relacionan las metodologías relativas a las técnicas de este proyecto: *mdfDesign* (CAD) que corresponden a las iniciales en inglés de programas que ayudan al diseño por ordenador, *Computing Numerical Control* (CNC), que denomina el tipo de maquinaria que se utiliza y *Computer Aided Manufacturing* (CAM) que hace referencia a los programas que usan las máquinas para realizar los trabajos de producción.

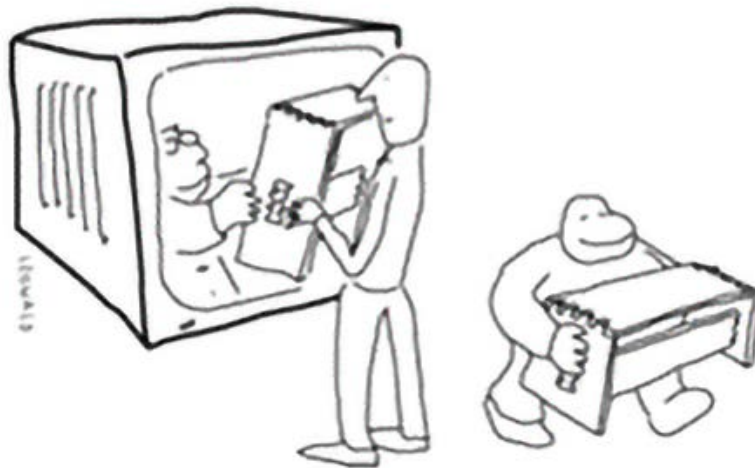
Profesores y estudiantes trabajaron juntos en este estudio tanto con proyectos internos como con proyectos externos con asociados. También llevaron a cabo una labor divulgativa organizando conferencias, seminarios y talleres de trabajo, además de editar publicaciones, y de informar a

empresas e instituciones técnicas. Disponían de los más sofisticados y diferentes equipos técnicos del momento, como ordenadores tipo Macintosh y PC para trabajar con programas para los mencionados CAD/CAM, así como maquinaria, como un escáner 3D, fresadora CNC y un centro CNC de mecanizado de madera. Esta última máquina mencionada es automatizada, realiza múltiples operaciones de mecanizado mediante control numérico por computadora CNC, con una mínima intervención humana, utilizando herramientas usuales de corte rotatorio como sierras y fresas. La fresadora CNC sólo utiliza las fresas como herramienta de trabajo simplificando mucho el sistema de éste.

online.produkt

Mit online.produkt im Internet.

Die Möglichkeiten der „virtuellen Produktion“
werden erprobt



online.produkt: modelo de transferencia de producción virtual. Fuente: C_Lab

Relatados los pormenores de esta iniciativa, a continuación, se dará a conocer cronológicamente los hitos principales que se suceden a lo largo del proyecto. El año 1995 fue muy productivo ya que tuvieron lugar algunas conferencias organizadas por C_Lab de varios días de duración, entre ellas *From the Good to the virtual form* celebrada en julio de ese año y dirigida por Gros. El centro del debate fue la forma virtual. Quince empresas presentaron diferentes tecnologías digitales. El visitante podía observar los problemas relacionados con la tecnología con fresadora CNC tras observar la exposición “Mobiliario Digital” que mostraba proyectos realizados por un grupo de catorce estudiantes. Todos los participantes del evento estaban de acuerdo en los cambios radicales que pronto se iban a producir. Los ponentes dieron sus puntos de vista sobre posibles estrategias para enfocar los problemas técnicos y logísticos. Como prueba empírica se mostró en este evento un rediseño del taburete *Ulm Stool* (ver figura pág. 57) ideado por el arquitecto y antiguo director de la Escuela de Ulm, Max Bill, para que fuera compatible con tecnología CNC con sus ensamblados incluidos. Este primer producto virtual era susceptible de cambiar sus medidas y proporciones para poder producirlo a la escala deseada. Estos mismos catorce estudiantes trabajaron sobre conceptos teóricos para convertirlos en ejecuciones reales. El resultado fue lo que denominaron *online.produkt*, que consiste en el desarrollo, por parte de C_Lab, de un

escenario de modelo de transferencia de producción virtual. Se está produciendo en este momento un cambio estructural originado por la tecnología digital, que se ejemplifica en la producción de mobiliario y todo su proceso: desarrollo de producto, comunicación con el cliente, producción y distribución.

Para hacer realidad este tipo de producción se debía contar previamente con mobiliario compatible con CNC. Para tal cambio tuvieron en cuenta varios puntos en los que las uniones son el *quid* de la cuestión. Parte de las actividades del proyecto reviven cualidades técnicas y estéticas de los ensambles tradicionales en madera. Surge así otro importante evento llamado “Japanese Wood joints...digital” en el que el especialista en carpintería japonesa y europea Harald Wezel, analizó los ensambles tradicionales japoneses en madera mediante una demostración, así como sus usos en mobiliario y construcciones. Fueron también comparados con los ensambles tradicionales europeos. En un segundo nivel, el equipo tenía que familiarizarse con las herramientas digitales, por lo que cinco estudiantes se dedicaron a programar (diseñar y proyectar) las uniones en madera. Debían ser susceptibles de producirse mediante fresadora CNC de 3 ejes. Estos ensambles acuñados por C-Lab at HfG como “ensambles digitales” de madera reemplazaron las uniones tradicionales especiales, reduciendo costes de producción y facilitando el ensamble de mobiliario. Al ser juntas integradas se convierten tanto en elementos constructivos como características formales del diseño. Como dijo Ren Müller, “esto no va de inventar los ensambles de nuevas, sino de darle a los existentes una forma de expresión distinta”. Los cambios estéticos eran notables. Estos nuevos ensambles son capaces de combinar la alta tecnología futura con la calidad y tradición de la artesanía que se ha desarrollado durante siglos.

Ya en el año 1996, en colaboración con una asociación de profesionales de la madera, tuvo lugar la conferencia “Creativity and Technology” en la que ahondaron en los efectos tecnológicos en la artesanía del mueble. Todo lo que se estaba planteando hasta ahora era complicado introducirlo en cualquier firma artesana debido a su notable falta de recursos; solo sería posible a través de alianzas estratégicas con asociados de otros campos, como podían ser el diseño, distribución, tecnología e innovación en la administración, u otros mercados. La idea de este encuentro era también desarrollar mobiliario virtual que podía ser fabricado de una manera descentralizada en diferentes fábricas con tecnología CNC.

En el mismo año, en la Feria de Colonia *Orgatec*, algunos productores comienzan a presentar proyectos de mobiliario personalizado, como lo hizo la empresa Wiko, o la Op Top. Esta última, por ejemplo, instalaba locales de exposición en el centro de ciudades, conectados directamente con sus centros de producción de alta tecnología en las afueras. Toda la información relevante de construcción, cálculos, producción se encontraba en una base de datos. Entre sus novedades, el cliente podía, modificar dimensiones, materiales, tipo de armarios, etc., desde el modelo digital, en la propia pantalla y visualizarlo en tiempo real con el vendedor. Hoy en día todo este proceso no resulta novedoso pues hay empresas, como Ikea, que poseen en sus tiendas ordenadores con programas de modelado y visualizado 3d en los que el cliente puede conformar y visualizar partes de su casa, como su cocina, para luego encargarla. Si todo era satisfactorio, con un simple botón de aceptación se enviaba la orden a fábrica para comenzar su producción de una forma descentralizada y óptima ya que el sistema buscaría la fábrica más próxima. Afirmaban producir con precios de media por debajo del 20-30% inferiores a lo que era el precio de mercado. Se basaban en que la venta al por menor origina costes en el almacenaje, máquetin, transporte y margen de mercado originando todo ello cuatro veces el coste de producción. Por todo esto afirmaban que un trabajo personalizado resultaba más caro, pero que, a su vez, se vendía más barato e incluso con un precio más bajo al por menor. Ninguna carpintería podría permitirse esto ni siquiera cooperando con una tienda de muebles.

2.5.2. #1. (1997) 50 Digital Wood Joints

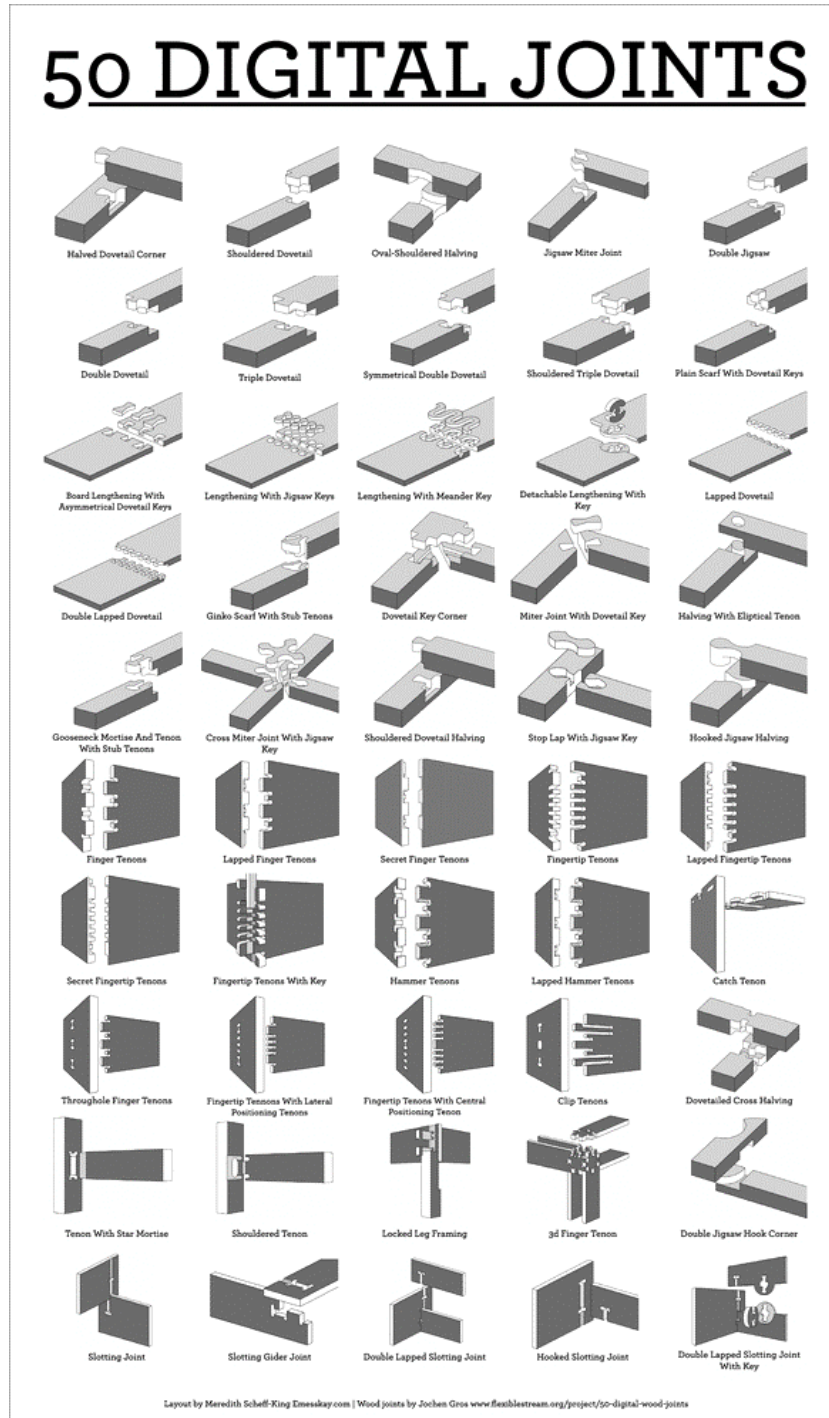
1
1997

50 Digital Wood Joints

Gros, Jochen
Sulzer, Friedrich

C-Lab at HfG
Germany

Gros, J., & Sulzer, F. (1997). *50 Digital Wood Joints*. Stuttgart, Germany: Deutsche Verlags-Anstalt DVA.



50 Digital Wood Joints. Fuente: C_Lab

En el marco de un contexto en ebullición sobre el tema que nos ocupa y a pleno rendimiento se publica, en 1997, *50 digital Wood joints*, título que recibe el trabajo más relevante de este proyecto, que recoge un gran número de casos prácticos que utilizarán posteriormente como base muchos de los investigadores futuros. Entre otras aportaciones muestran 50 ensambles digitales

en madera, junto con aplicaciones prácticas en muebles diseñados íntegramente para producirse con fresadora CNC.

Uno de sus éxitos es además la publicación de todos los archivos vectorizados en distintas extensiones para ser abiertos en varios programas de modelado digital. Explican también la maquinaria y el software utilizado, así como una pequeña guía para poder fresar de manera autónoma (ya obsoleta en época actual). Tanto los escenarios propuestos como el mobiliario o las uniones en madera en los que trabajaron no eran destinados para soluciones patentadas preparadas para poner en el mercado, sino que pretendían ser una inspiración para el futuro enfoque digital, y como veremos en otras publicaciones de otras universidades, ha resultado ser verdaderamente la inspiración esperada.

2.6.3. #2. (2001) Furniture Industry has to reconsider all products – Call it Customization Design

# 2 2001	Furniture industry has to reconsider all products–call it customization design	Gros, Jochen	C-Lab at HfG Germany
-------------	--	--------------	-------------------------

Gros, J. (2001). Furniture industry has to reconsider all products–call it customization design. In *World Congress on Mass Customization and Personalization, HKUST, Hong Kong University of Science and Technology*, Vol. 1, 1-8.

La siguiente publicación, y primero de sus tres artículos, corresponde a “Furniture industry has to reconsider all products – Call it Customisation Design”, en el año 2001. Se recuerda que este trabajo fue publicado en las Actas del Primer Congreso de Personalización en Masa, en Hong Kong; de ahí la introducción de ciertos conceptos al hilo de este encuentro. Pese a que ya se han expuesto de manera conjunta muchos de los temas se completarán con alguna información en cada artículo.

En éste en concreto, ponen en conocimiento de la comunidad científica las primeras reflexiones teóricas, desarrollos y conclusiones que iban surgiendo hasta el momento durante el proyecto. Los conceptos principales que comienzan a barajar son los mencionados anteriormente sobre la Personalización en Masa y el rediseño de los productos en los que el equipo había profundizado. En el caso del mobiliario, puesto que se están centrando en todo momento en este sector, apuntan la necesidad de investigar sobre las uniones de forma para que se innove en el sector. Una de sus muestras constituye el reversionado taburete diseñado por Max Bill.



C-stool. Fuente: C_Lab

2.6.4. #3. (2003) C_Moebel

# 3 2003	C-Moebel - Digitale Machart und gestalterische Eigenart	Steffen, Dagmar	Gros, Jochen Eisermann, Jan	C-Lab at HfG Germany
-------------	---	-----------------	--------------------------------	-------------------------

Steffen, D., Gros, J., & Eisermann, J. (2003)(Buchanan & Buchanan, 2001). *C-Moebel - Digitale Machart und gestalterische Eigenart*. Frankfurt am Main, Germany: Anabas.

El libro *C_Moebel*, 2003, resume y refleja las discusiones y desarrollos previos desde la publicación del proyecto de C_Lab. unos diez años atrás. Recoge las aportaciones de los diferentes profesionales mencionados como carpinteros, diseñadores, profesores y estudiantes, considerando las posibilidades del diseño orientado a la producción de muebles, para que las ventajas de la tecnología CNC puedan ser efectivas hacia nuevas formas y nuevas conexiones. Está dirigido a quienes se dedican al diseño de muebles e interiores, en particular a los interesados en herramientas digitales de diseño, fabricación y venta de muebles. Pretenden demostrar cómo estas herramientas asistidas por ordenador, además de las tecnologías digitales de la información y la comunicación, podían favorecer, ya entonces, un estilo de producción que denominaron Producción en Masa a Medida. Se entendía como producción descentralizada, flexible e individualizada de piezas únicas y de pequeñas series, a precios competitivos.

Además de los fundamentos teóricos, el libro presenta los resultados prácticos del proyecto interdisciplinario conocidos hasta ese momento. Sin duda alguna, ha sido un inconveniente que este libro, que recopila la mayoría de los escritos y publicaciones hasta aquí estudiadas, no haya sido traducido del alemán, lo cual ha restado relevancia para un indudable éxito en la comunidad internacional.

2.6.5. #4. (2003) Technofactory versus Mini-Plants: Potentials for a decentralized sustainable furniture production

# 4 2003	Technofactory versus Mini-Plants: Potentials for a decentralized sustainable furniture production	Steffen, Dagmar Gros, Jochen	C-Lab at HfG Germany
-------------	---	---------------------------------	-------------------------

Steffen, D., & Gros, J. (2003). Technofactory versus Mini-Plants: Potentials for a decentralized sustainable furniture production. In *MCPC03: The 2nd International Conference on Mass Customization and Personalization*, 6-8.

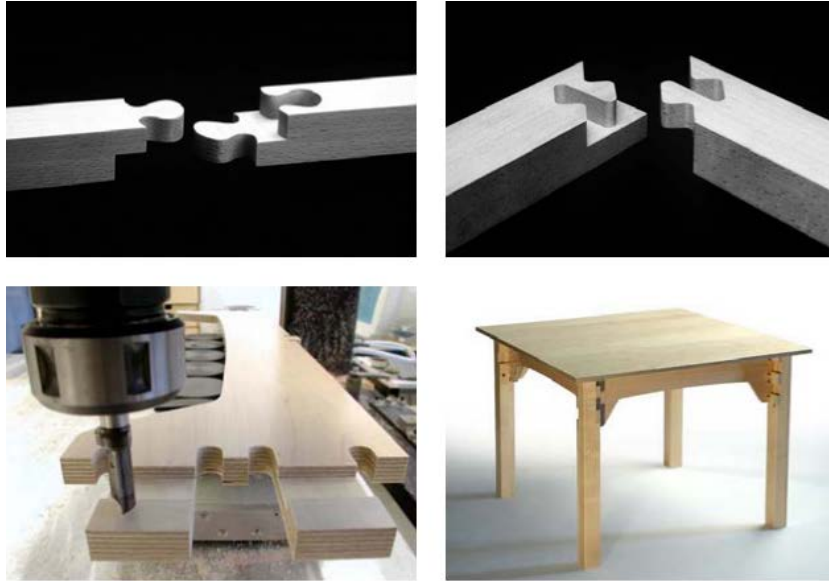
En 2003 se publica “Technofactory versus Mini-Plants: Potentials for a decentralized sustainable furniture production”, siguiente aportación científica del equipo de trabajo, presentada en otra conferencia, segunda edición de la anterior, denominada “Segunda Conferencia Internacional en Customización y Personalización en Masa”. Su título es significativo pues se plantea su ya iniciada reflexión sobre una producción descentralizada para un mobiliario sostenible. Reiteran algunas ideas ya mencionadas, pero en todo momento su intención es tratar de introducir la digitalización en carpinterías de medianas empresas, en un país como Alemania en el que la carpintería artesanal fue muy importante en siglos pasados, pero fue mermando con la industrialización.

2.6.6. #7. (2006) Use-Inspired Basic Research: Improved Understanding and Innovative Products - a Case Study

# 7 2006	Use-Inspired Basic Research: Improved Understanding and Innovative Products - a Case Study	Steffen, Dagmar	C-Lab at HfG Germany
-------------	--	-----------------	-------------------------

Steffen, D. (2006) Use-Inspired Basic Research: Improved Understanding and Innovative Products - a Case Study, in Friedman, K., Love, T., Côte-Real, E. and Rust, C. (eds.), *Wonderground - DRS International Conference 2006*, 1-4 November, Lisbon, Portugal.

La siguiente, tercera y última aportación del Grupo, es “Use-Inspired Basic Research: Improved Understanding and Innovative Products - a Case Study”. Se conoció en la Conferencia Internacional en Lisboa en 2006 organizada por la *Design Research Society*. La única firmante es Dagmar Steffen. Proviene del mismo grupo, parte de su formación la realizó en la Universidad de Offenbach, y estuvo presente en el proyecto grupal comenzado por Gros, con quienes comparte autoría en otros trabajos mencionados. Debido a su especialización en teoría del Diseño, este artículo puede considerarse el más teórico de los tres. Traslada sus reflexiones teóricas acerca del diseño del proyecto a un caso práctico y ofrece la posibilidad de recorrer con cierta distancia todo lo acontecido años atrás, lo cual permite deducir que la mayoría de las acciones del proyecto, ya explicadas en los trabajos anteriores, se habían producido y concluido. Se incidirá, pues, en lo novedoso de sus aportaciones. El análisis de todos los datos tras un tiempo prudencial le otorga gran valor a toda la información. La sensación que se tiene al seguir este artículo es que realmente la mayoría de las acciones del proyecto ya se habían producido y concluido de manera que muchas de las explicaciones de base e hitos seguidos ya se han explicado con los anteriores trabajos por lo que se incidirá en nuevas informaciones o en puntos de vista algo más completos por su mayor profundización.



Mesa con ensamblajes digitales en madera. Fuente: C_Lab

2.6.7. Principales aportaciones del C-Lab at HfG Group

Una vez expuesta toda la producción teórica registrada por C-Lab at HfG, resulta de gran utilidad su consulta. La obra culmen es *50 digital Wood joints*, la que más circula por las redes de internet debido a que cualquier interesado/a tecleando cualquiera de las palabras *digital wood joints* podrá observar varios de los ensamblajes. El hecho de haberla publicado de manera abierta ha propiciado una gran difusión de sus archivos. El propio Gros, en su web particular, permite hoy en día la descarga de *50 digital Wood joints*. Esto ha servido como base de consulta a numerosos diseñadores. Toda la documentación publicada de este equipo y leída 20 años después es de gran valor.

Observados con perspectiva es interesante comprobar que muchas empresas del sector han seguido varias de sus aportaciones o predicciones, quizás la mayoría de ellas sin conocerlo. Dado lo intrincado de encontrar sus investigaciones se podría concluir que estas empresas han replicado lo establecido por ese grupo, aunque sin estudiar todas las conclusiones, por lo que adquieren relevancia sus estudios habiendo logrado documentar lo que se ha cumplido años más tarde en ámbitos parecidos.

Hay empresas que han arrancado proyectos similares que tampoco han tenido el éxito esperado o su evolución ha sido muy lenta. Pero varios de los inconvenientes que registraba C-Lab se siguen repitiendo. No hacer una minuciosa revisión de lo que otros autores ya han realizado anteriormente para advertir posibles problemas puede ocasionar que no se penetre con más rotundidad en el mercado. Varias de las deficiencias encontradas y documentadas por este equipo deben tratar de subsanarse para que finalmente esta tecnología produzca los cambios tan importantes que vaticinaban.

Otro de los métodos que refleja esta publicación para una mejor instauración de estas nuevas tecnologías es la necesidad de un profundo estudio y documentación del estado de esta disciplina para poder analizar mejor los posibles problemas. La información acerca de este campo es el propósito de esta Tesis con la recopilación de escritos de la Tabla 1 que se irán desgranando.

Este Grupo y las diferentes publicaciones derivadas de él deberían ser de obligada lectura para cualquier interesado en profundizar en la producción de mobiliario con estas técnicas, tanto por

la profundidad de sus investigaciones como por ser pioneros en adentrarse en este campo. Son ellos quienes acuñaron el término ensamblajes digitales (*digital joints*) para este tipo de uniones de piezas con máquinas de control numérico. Para este equipo, sus aportaciones no estaban pensadas para ser patentadas y ponerlas en el mercado, sino que pretendían ser la referencia básica para el futuro enfoque digital. A la vista de los resultados futuros no anduvieron desencaminados puesto que son varios los autores posteriores que referencian a Gros con respecto a la fabricación digital de mobiliario CNC de 3 ejes y la forma de sus ensamblajes. Este primer grupo de investigación, con Gros a la cabeza, tras 2006 no vuelve a publicar nada relacionado con este campo según los filtros establecidos en este estudio.

Este proyecto es de extrema importancia en la materia de esta Tesis no solo por ser el primer equipo que investiga profundamente los ensamblajes digitales con la nueva tecnología, sino que lo realiza desde el punto de vista del diseño y de la pedagogía, y no desde la ingeniería de la madera, como se verá en posteriores investigaciones que aparecen en la Tabla 1. Estas investigaciones las incluiríamos en la Categoría 3 predominantemente enfocada a soluciones para diseño; y con aportaciones en lo pedagógico en la Categoría 2, sobre todo el aporte *50 digital Wood joints*. El carácter pedagógico de los otros documentos no lo constituye su enfoque hacia una metodología precisa para el aprendizaje con fabricación digital, sino que la simple documentación de todos los procesos de trabajo sirve tanto para establecer una metodología de enseñanza como para su estudio por parte de empresas que quisieran introducirse en esta tecnología. Lo que sí resulta un aporte realmente pedagógico tanto para docencia como para cualquier usuario es disponer en abierto de todos los archivos de los 50 ensamblajes digitales.

Se debe resaltar las limitaciones digitales por las que pasó este proyecto para entender que fue un reto difícil y muy laborioso que no dispuso de las técnicas con las que se trabaja hoy en día. Tuvieron que afrontar múltiples problemas como softwares y capacidad de almacenar datos e información, muy limitados; o la fresadora que cuya forma de trabajo requería de mucha más preparación que la que se precisa con las máquinas actuales.

El desarrollo de todo el proyecto de C-Lab tiene un marcado carácter en el ámbito de las humanidades, como se ha mencionado. A través de su lectura se percibe un intento de resolver un problema general cual es enfoque de producir diseñar mediante una nueva tecnología, como ocurriera en la Bauhaus.

Se pretende reflexionar, como se verá con el Grupo de AtFAB at UK, sobre la configuración de todo un gran sistema para crear diseño que abarque una transversalidad de campos. Paralelamente, otros trabajos más cortos dentro de la concepción humanista tratan de exponer una solución puntual por medio de las tecnologías digitales. Sobre todo son los grupos técnicos o de Categoría 1 los más preocupados en solucionar un problema puntual y específico como puede suelen ser la comprobación de las resistencias de las uniones de una o varias morfologías específicas, como se irá viendo.

Aportaciones

- Sin lugar a duda, la mayor aportación práctica que comparte este equipo son los 50 ensamblajes digitales con sus archivos vectorizados. Pueden importarse en cualquier programa de vectorizado y pueden ser modificados al gusto de cualquier diseñador. La información se encuentra tanto en archivos 2 D como en archivos 3D.
- Si se quiere profundizar en algunas de las etapas del proyecto, como sus antecedentes a partir de una base de estudios teóricos transversales, o la

secuencia de acontecimientos durante su desarrollo, o las posteriores conclusiones, pasados algunos años de su culminación, resulta sin duda de relevante interés para estudiosos de la materia. Aportan gran cantidad de bibliografía y estudios teóricos relacionados con diseño de la época.

- En la parte experimental, también se encuentran ejemplos prácticos de cooperación con empresas privadas de producción de mobiliario, en los que advierten tanto de las ventajas como de los inconvenientes que hallaron para implementar esta tecnología. Si bien no se documentan todos ellos pormenorizadamente debido a la técnica tan limitada, pueden deducirse.
- Otra aportación destacada lo constituye la justificación del uso de un modelo de producción sostenible, con las innumerables ventajas que proporcionan estas técnicas, aún sin el debido contraste científico que sí se verá en otros documentos aportados en esta Tesis.

Aporta conocimientos para:	#1, #2, #3, #4 y #7. C-Lab at HtG Group
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	Sí
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #1, #2, #3, #4 y #7. C-Lab at HtG Group.

- **TRANSFERENCIA:** Propicia la transferencia de conocimiento en cuanto a ensamblajes digitales gracias a su publicación *50 Digital Wood Joints*.
- **DOCENCIA:** No aparece una guía como tal para poder replicar en docencia la metodología de fabricación digital, pero ayuda a ello la publicación de sus ensamblajes.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se establece una metodología de colaboración, pero sí que se enumeran casos prácticos en los que ha sido necesaria la colaboración con empresas de fabricación de mobiliario, para tratar de verificar de alguna manera el desarrollo de la investigación.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No se plantea ningún taller de trabajo que pudiera ser replicable tanto para docencia como para los interesados en la tecnología de fabricación digital.
- **SOSTENIBILIDAD:** Existen continuas justificaciones que avalan tanto el uso de la tecnología CNC como de los materiales aptos para su corte. No de manera científica, mediante contraste de datos, pero sí a través de la lectura de literatura sobre sostenibilidad.

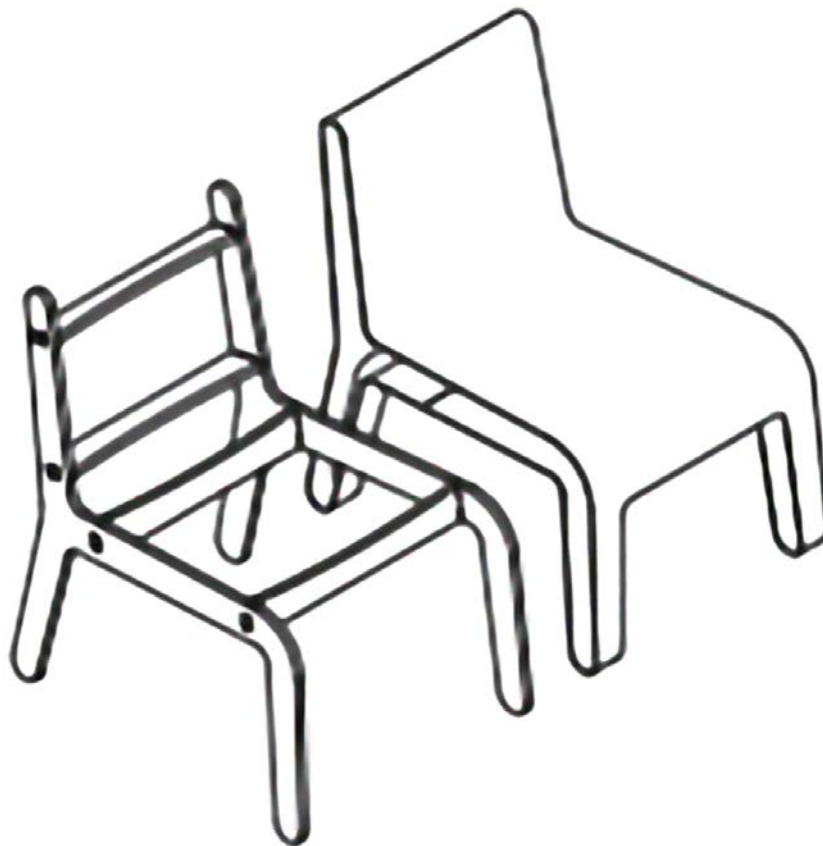
2.7. Década 2000. Investigaciones aisladas

2.7.1. #5. (2004) SkinChair

# 5 2004	SkinChair	Ebnöther, If	ETH Zurich Switzerland
-------------	-----------	--------------	---------------------------

Ebnöther, I. (2004) *SkinChair*. Diplomarbeit NDS Architektur, ETH Zürich.

Continuando con la relación de los trabajos seleccionados, encontramos *SkinChair*. No es un trabajo que verse específicamente de ensambles en madera, pero se adentra muy bien en la problemática de realizar un mueble, en este caso una silla con tecnología CNC.



SkinChair. If Ebnöther, 2004.

Interés del trabajo de investigación

Corresponde a un trabajo realizado en la Escuela Técnica Federal de Zurich y publicado por este mismo centro docente. Pese a que su nivel académico es algo limitado por tratarse de un Trabajo de Fin de Máster tiene mucho interés su desarrollo metodológico. Puede englobarse en la Categoría 2 por su carácter experimental, en un intento de desarrollo de un producto con las técnicas digitales recién introducidas en un centro de diseño. Se aprecia en las imágenes que utiliza ensambles, y en este caso, de caja y espiga en madera, pero ni las explica ni las menciona ya que no es la finalidad de su investigación. Categorizarla en el grupo pedagógico obedece a sus aspectos metodológicos. Llama la atención todas las herramientas digitales utilizadas en una fecha de publicación tan temprana.

Datos bibliométricos

Este trabajo está firmado por If Ebnöther y su perfil de autor no se encuentra indexado en las plataformas de búsqueda científica consultadas. Se ha realizado en la ETH de Zurich, una escuela técnica que tiene registrados 176.668 publicaciones, 32.803 autores y 22.200 alumnos. De esas publicaciones, el 12.2% (39.162) corresponde a su área mayoritaria de investigación: Física y Astronomía. Al tratarse de un trabajo académico de rango inferior al artículo no se encuentra indexado en las bases de datos científicas; tampoco se conoce su área de publicación para comparar con otros centros. En Google Académico posee dos citas. Se ha comprobado que este centro publica activamente en las conferencias de eCAADe cuyo motor de búsqueda científica es el mencionado CumInCad. Precisamente este título apareció en las metodologías de búsqueda primaria de esta Tesis en el motor de CumInCad, de ahí el color rojo negrita en la fuente de la fecha de la primera columna de la Tabla 1.

Principales aportaciones

- El trabajo analizado no contiene una aportación verdaderamente relevante en cuanto al campo del fresado con CNC. Su importancia radica en su enfoque para documentar una vía de estudio específica para la creación de mobiliario con estas técnicas, así como a que suple la escasez de trabajos académicos existentes al respecto en los buscadores científicos.

Aporta conocimientos para:	#5. Ebnöther, I. (2004) SkinChair
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	No

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #5. Ebnöther, I. (2004) SkinChair.

- **TRANSFERENCIA:** Propicia la transferencia de conocimiento en cuanto a replicar un objeto con fabricación digital, pero no profundiza en la metodología empleada.
- **DOCENCIA:** Es algo escaso el aporte para docencia, pero sí interesa como una manera de enfrentarse a producir un objeto, una silla, y documentarlo.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** no se evidencia una metodología de colaboración ni posibilidades con empresas privadas.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No se plantea ningún taller de trabajo que pudiera ser replicable tanto para docencia como para interesados en la tecnología de fabricación digital; tampoco es de interés para el objeto que nos ocupa.
- **SOSTENIBILIDAD:** No se evidencian argumentos que sustenten el uso de la tecnología CNC o los materiales utilizados, que tampoco aquí interesan.

2.7.2. #6. (2006) Design of a CNC Routed Sheet Good Chair

# 6 2006	Design of a CNC Routed Sheet Good Chair	Davis, Noel R.	MIT USA
-------------	---	----------------	------------

Davis, N. R. (2006). *Design of a CNC routed sheet good chair*. Bachelor of Science in Art and Design Thesis, Massachusetts Institute of Technology.

Este es el título que se analiza del siguiente apartado de la Tabla 1. Se trata de un Trabajo de Fin de Grado para conseguir la licenciatura en Ciencias en Arte y Diseño, en Diseño Arquitectónico, centrado en la realización de una silla con CNC. Su nivel académico y su rigor es el que se espera en este tipo de trabajos. Su interés es pedagógico. Documenta cómo se van introduciendo iteraciones mediante el análisis de otros ejemplos para concluir en un producto final. Interesa la descripción que el autor hace de este tipo de iteraciones puesto que, en alguna de las siguientes investigaciones, se verá que se mencionan, pero no se describen, como le ocurre a AtFAB at UK. Por ello entraría en la Categoría 2, de enfoque pedagógico. Son interesantes las reflexiones y cuestiones que va resolviendo a medida que va dando forma al proyecto. Para un diseñador o para un estudiante de diseño sirve de gran ayuda puesto que se va reflexionando sobre las dificultades que van apareciendo, poco a poco, y sus posibles soluciones. Esto tiene relación con la metodología de trabajo, cada vez más en auge en varias disciplinas, llamada *Design Thinking* uno de cuyos principios básicos es la iteración. También el diseño trata de ir respondiendo a preguntas o solucionando problemas a medida que se va experimentando. Por ello, desde el punto de vista metodológico, aporta una buena ayuda pedagógica porque responde a preguntas inmediatas que cualquier diseñador de una silla se plantearía al adentrarse en temáticas como fresadora, ergonomía, material, uniones, resistencias lógicas de piezas, etc.



CNC Routed Sheet Good Chair. Davis, 2006.

Interés del trabajo de investigación

Se trata, como ya se ha dicho, de otro Trabajo de Fin de Grado, por lo que su profundización en cuanto a metodología es algo limitada con respecto a otros artículos, pero acorde con su nivel. Se engloba claramente en una Categoría 2, con matices en Categoría 3, debido a la prioridad tan marcada en diseño estético. Tiene interés su desarrollo pedagógico, a modo de iteraciones por medio de maquetas, estudios teóricos y estudio empíricos sobre ergonomía de una silla. Supone una guía factible de replicar puesto que cada cambio en su diseño queda explicado en sus estudios y reflexiones. Esta cuestión puede llegar a ser de gran ayuda para un docente de diseño de mobiliario o de producto, que quiera hacer ver a sus alumnos que están aprendiendo a diseñar. Y que interioricen ejemplos de cómo van cambiando las formas en el proceso de concepción de un diseño.

Datos bibliométricos

Este trabajo está firmado por Noel R. Davis quien posee un perfil registrado en Scopus con un único trabajo a su nombre, cuya área relacionada es la ingeniería. Se presentó en el seno del *Department of Architecture*, dentro del Massachusetts Institute of Technology (MIT) cuyo perfil tiene registrados en Scopus 287.621 trabajos, de los cuales el área de mayor publicación con 16,7% (74.894) es la correspondiente a Física y Astronomía. El trabajo se encuentra indexado en Google Académico sin que apareciera en los resultados de la búsqueda primaria explicada en la metodología, sino tras el estudio de otras bibliografías. Posee una cita en Google Académico. No se encuentran más registros de este autor indexado en estas bases de datos, con la temática específica de ensamblajes para fresadoras de tres ejes.

Principales aportaciones

- Muestra un sistema explicado de iteraciones diversas hasta llegar a su diseño final. ES adecuado para la docencia al mostrar un ejemplo gráfico para configurar una silla pasando por sus distintas fases.
- Aporta explicaciones sobre procesos prácticos para mecanizar con fresadora, algo poco común en trabajos académicos, y de indudable ayuda a principiantes en el fresado.
- Recoge varios ejemplos gráficos de ensamblajes y demuestra cómo utilizarlos en alguna de sus iteraciones.
- Aporta explicaciones intuitivas sobre solicitaciones y esfuerzos físicos en sillas, poco frecuente encontrar en trabajos de esta índole.
- Recoge explicaciones prácticas sobre ergonomía, en lo que se basaría la forma de su diseño de silla versátil tratando de cumplir las tres funciones específicas.
- Incorpora afirmaciones, sobre sostenibilidad dirigidas específicamente a los materiales a utilizar. Sus justificaciones no son empíricas ni contrastadas, y sus estudios también se engloban en una de las áreas de conocimiento de los ingenieros de la madera.
- Aportación sobre historia del diseño de mobiliario desde el punto de vista del autor.

Aporta conocimientos para:	#6. Davis, N. R. (2006)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #6. Davis, N. R. (2006).

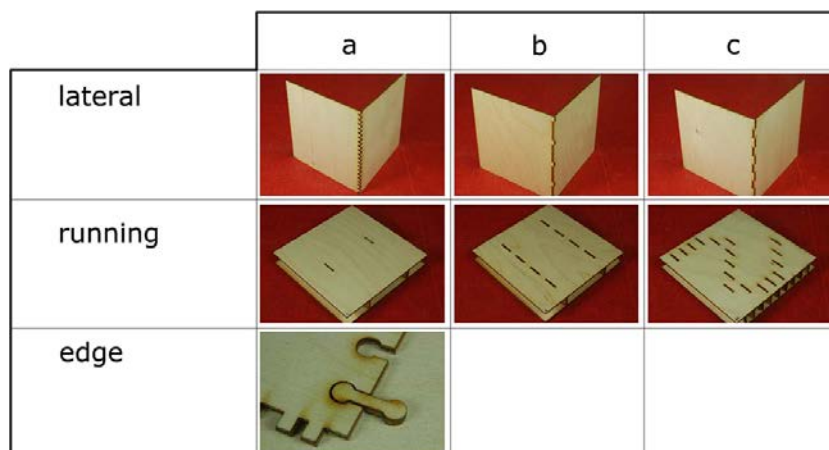
- **TRANSFERENCIA:** Propicia la transferencia de conocimiento en varias áreas como iteraciones en diseño, procesos de mecanizado, ensambles, solicitaciones físicas, ergonomía y sostenibilidad.
- **DOCENCIA:** Aunque es algo escaso su aporte para la docencia interesa como una manera de enfrentarse a replicar en fases, como las iteraciones para el diseño de una silla, cuestiones prácticas de mecanizado, ensambles, explicaciones de esfuerzos, ergonomía, materiales de uso y una breve base teórica de historia del diseño de mobiliario.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se evidencia una metodología de colaboración, ni posibilidades, con empresas privadas.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No se plantea ningún taller de trabajo que pudiera ser replicable ni para docencia ni para interesados en entender mejor la tecnología de fabricación digital.
- **SOSTENIBILIDAD:** Existen algunas justificaciones que sustentan el uso del tablero como material sostenible. No de manera científica contrastada sino de manera intuitiva.

2.7.3. #8. (2007) Materializing a design with plywood

# 8 2007	Materializing a Design with Plywood	Sass, Lawrence	Michaud, Dennis Cardoso, Daniel	MIT USA
-------------	-------------------------------------	----------------	------------------------------------	------------

Sass, L., Michaud, D.J., & Cardoso, D. (2007). Materializing a Design with Plywood. *Proceedings of the 25th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe)*, 26-29 September, Frankfurt, Germany.

Este artículo también se englobaría en la Categoría 2 de los trabajos seleccionados, por su carácter pedagógico. No es realmente relevante en las soluciones de ensamble que proponen. Su interés para esta Tesis estriba en las maneras de enfrentarse a una morfología complicada para la producción con métodos digitales.



Study models testing for variations between the number of attachments between surface and structure. Sass et al., 2006.

El estudio de este trabajo permite conocer distintas estrategias para materializar un elemento tridimensional usando como material el contrachapado. Es importante para un diseñador, que

utilice fabricación digital, conocer las limitaciones de reproducir un objeto 3d a través de elementos planos en dos dimensiones. No resulta del todo obvio el proceso para llegar a concluir de manera satisfactoria la transformación de la forma virtual en forma física. Sus autores estudian cómo las CNC son capaces de realizar prototipados rápidos, de morfologías complicadas, planteando como metodología la división en distintos componentes que, cortados por separado y unidos posteriormente, reproducen un objeto en tres dimensiones. Este equipo hace una clasificación de las distintas maneras dividir los objetos en componentes y plantear las uniones entre sí.

Interés del trabajo de investigación

El mayor acierto de este estudio se refleja en su carácter pedagógico, Categoría 3. Una vez se va instaurando la fabricación digital es necesario pensar cómo se puede materializar una morfología que se diseña en un programa virtual para construirlo de manera real, en base a las limitaciones que plantea la máquina CNC en la que se va a realizar. Se documenta cómo reproducir un objeto 3D mediante elementos planos, en dos dimensiones, que se cortan separados y se unen posteriormente. La manera de solucionar el problema resulta sin duda instructiva para que los interesados conozcan que esta forma de realización puede provocar problemas colaterales que hay que tener en cuenta.

Datos bibliométricos

El artículo está firmado por tres autores: Lawrence Sass que posee un perfil registrado en WoS y Scopus con un total de 18 trabajos indexados en este último; el porcentaje mayoritario de ellos corresponde a áreas del campo de las ciencias de la computación relacionadas con la arquitectura, y otras áreas con las tecnologías de la construcción. Dennis Michaud posee perfil en WoS con un total de 22 trabajos indexados de los que el porcentaje mayoritario de ellos corresponde a áreas de la ingeniería, enfocadas a las ciencias de la computación. Daniel Cardoso posee un perfil en Scopus con un total de cuatro trabajos indexados de los que el porcentaje mayoritario corresponde a áreas relacionadas con ciencias de la Computación.

Los tres autores se encuentran dentro del grupo de investigación *Digital Design and Fabrication Group*, dentro del Massachusetts Institute of Technology (MIT) cuyo perfil tiene registrados en Scopus 287.621 trabajos, de los cuales el área de mayor publicación con 16,7% (74.894) es la de Física y Astronomía. MIT es una de las mejores y más prestigiosas universidades a nivel mundial. Ha mantenido durante diez años consecutivos el título de mejor universidad del mundo, según la clasificación mundial de universidades QS. El artículo se encuentra indexado en Scopus pero no aparece en los resultados de la búsqueda primaria explicada en la metodología. Posee 5 citas en Scopus y 17 en Google Académico. Es un artículo presentado a la conferencia llamada *Predicting the future* en *eCAADe25*; ni la conferencia ni la organización se encuentran registrados en los buscadores científicos. Esta conferencia tuvo lugar en la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la Escuela Técnica Hochschule RheinMain en el condado de Hessen, en Alemania. No se encuentran registros de estos autores indexados en estas bases de datos, con la temática específica de ensamblajes para fresadoras de tres ejes.

Este estudio está publicado en la edición 25 de *eCAADe*. Debido a que esta asociación publica muchos trabajos académicos relacionados directamente con el campo de la fabricación digital, y dado que en esta tabla se incluyen varios de ellos, se explicará brevemente su naturaleza. *eCAADe* viene de las siglas en inglés *Educational and research in Computer Aided Architectural Design in Europe*. Se trata de una asociación sin ánimo de lucro, integrada por instituciones e individuos con el interés común de promover buenas prácticas y de compartir información relativa al uso de

computadoras en investigación y educación, en arquitectura y profesiones relacionadas. Fue fundada en 1983.

La asociación participa en una conferencia y en un taller anual, organizados por diferentes universidades cada año. También la asociación inició y administra un exitoso archivo CumInCad de publicaciones de investigación en el campo del Diseño Arquitectónico Asistido por Computadora. Es éste un valioso recurso para investigadores, educadores y otros interesados en este campo. También fomenta y promueve el intercambio de ideas y de información entre las asociaciones miembros. Es este uno de los buscadores de trabajos que se menciona en la metodología de búsqueda.

Principales aportaciones

La mayor aportación de este equipo son los esquemas de trabajo que propone que ayudan a afrontar una materialización de una forma virtual a una forma física. Esos esquemas para el flujo de trabajo son de interés pedagógico y facilitan una transferencia del conocimiento de la fabricación digital al documentar dicha experiencia.

- Esquema para materializar un diseño.
- Esquema para reducción de complejidad del sistema.
- Esquema de caracterización de componentes.
- Esquema de tipos de conexión entre piezas.

Aporta conocimientos para:	#8. Sass, L., Michaud, D.J., & Cardoso, D. (2007)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	No

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #8. Sass, L., Michaud, D.J., & Cardoso, D. (2007).

- **TRANSFERENCIA:** Propicia la transferencia de conocimiento al replicar un objeto con fabricación digital mediante los esquemas de trabajo planteados.
- **DOCENCIA:** Aunque es algo escaso su aporte para la docencia, sí interesa como una manera de enfrentarse a producir un objeto con formas complicadas de materializar, mediante sus esquemas de trabajo.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se evidencia una metodología de colaboración, ni posibilidades, con empresas privadas, lo cual ni siquiera se plantea.

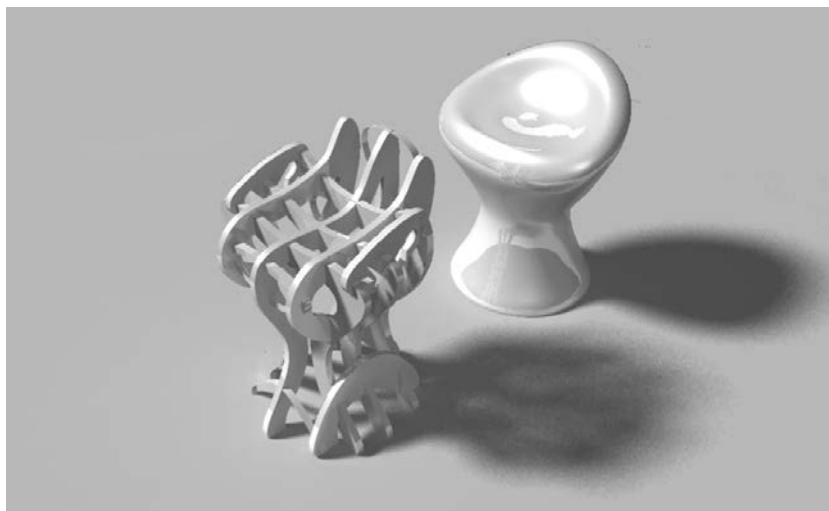
- **TALLERES DE TRABAJO:** No se plantea ningún taller de trabajo que pudiera ser replicable ni para docencia ni para interesados en entender mejor la tecnología de fabricación digital.
- **SOSTENIBILIDAD:** No se evidencian justificaciones que sustenten el uso de la tecnología CNC.

2.7.4. #9. (2009) Légumes Urbaines: Digital Modeling Transformations + Prototype Fabrication Based on the Egg Crate Construction Method

# 9 2009	Légumes Urbaines: Digital Modeling Transformations + Prototype Fabrication Based on the Egg Crate Construction Method	Vamvakidis, Simos	NTUA Greece
-------------	---	-------------------	----------------

Vamvakidis, S. (2009). Légumes Urbaines: Digital Modeling Transformations + Prototype Fabrication Based on the Egg Crate Construction Method. *Computation: The New Realm of Architectural Design - 27th eCAADe Conference Proceedings*, 313-322, 16-19 September, Istanbul, Turkey.

En relación con el trabajo de Sass et al. (2006) y a continuación del mismo, se encuentra en la Tabla 1, este artículo de Simos Vamvakidis, de 2009. Trata también de explicar la forma de enfrentarse a la reproducción de un objeto tridimensional, mediante una técnica de construcción que denomina *sistema monocoque*, que, como en el anterior caso, se basa en una matriz estructural de elementos verticales y horizontales.



From solid to egg crate. Vamvakidis, 2009.

Interés del trabajo de investigación

El interés de este estudio estriba sobre todo en su carácter pedagógico por lo que se clasificaría en la Categoría 2, con matices de la Categoría 3 por su aportación estética. Como en el otro artículo mencionado, una vez se va instaurando la Fabricación Digital, es necesario pensar en cómo se puede materializar una morfología que se plantea en un programa virtual para construirlo de manera real, teniendo en cuenta las limitaciones que plantea la máquina CNC en la que se va a realizar. Detalla cómo reproducir un objeto 3D mediante elementos planos, en dos dimensiones que se cortan separados y se unen posteriormente. Se basa en una matriz de planos sucesivos verticales y horizontales. Sin duda, este autor llega a mejores resultados que los obtenidos por Sass en el trabajo analizado.

Datos bibliométricos

El trabajo está firmado por Simos Vamvakidis. Posee un perfil registrado en WoS, con un total de tres trabajos indexados, entre ellos éste que se va a analizar a continuación, cuyas temáticas están relacionadas con áreas de Ciencias de la Computación dirigidas a Educación y Arquitectura. Este artículo se publica desde la National Technical University of Athens, que cuenta con 10.000 alumnos. Su perfil registrado en Scopus posee 45.315 trabajos de los cuales, el área de mayor publicación, con 24,4% (19.985) es la de Ingeniería. Este trabajo está publicado en *eCAADe27*, en las actas de la conferencia que tuvo lugar en 2009 en Estambul, en el centro Istanbul Technical University, Facultad de Arquitectura, en el campus de Taskisla. El título de la conferencia fue: “Computation: The New Realm of Architectural Design” o en castellano: “La Computación: el nuevo reino del diseño arquitectónico”. La conferencia de *eCAADe27* se encuentra registrada en WoS con 103 trabajos indexados. Este título apareció en las metodologías de búsqueda primaria de esta Tesis, en el motor de CumIncad; de ahí el color rojo negrita en la fuente de la fecha de la primera columna de la Tabla 1. Posee solo citas en Google Académico con 3.

Principales aportaciones

- Sistema *monocoque* como proceso para materialización de morfologías complicadas proyectadas desde entornos virtuales. Sass et al., esquematiza mejor el sistema de trabajo de un modelo virtual a un modelo físico, pero, pese a ello, obtiene peor resultado constructivo.
- Ejemplifica con varios programas susceptibles de realizar los diseños virtuales.

Aporta conocimientos para:	#9. Vamvakidis, S. (2009)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	No

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #9. Vamvakidis, S. (2009).

- **TRANSFERENCIA:** Propicia la transferencia de conocimiento en cuanto al sistema a emplear para materializar un diseño virtual.
- **DOCENCIA:** No aparece una guía en sí misma para poder replicar en docencia la metodología de fabricación digital, pero sirve para justificar el sistema con casos prácticos que ayudan a la docencia.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se evidencia una metodología de colaboración, ni posibilidades, con empresas privadas.

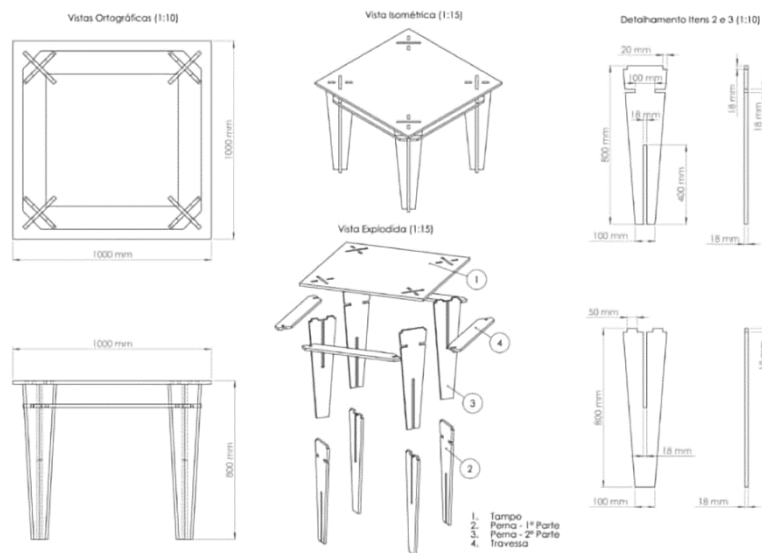
- **TALLERES DE TRABAJO:** No se plantea ningún taller de trabajo que pudiera ser replicable ni para docencia ni para interesados en la tecnología de fabricación digital.
- **SOSTENIBILIDAD:** No se evidencian justificaciones que sustenten el uso de la tecnología CNC o materiales responsables con el medio.

2.7.5. #10. (2010) A contribuição da prototipagem com emprego de fresadora CNC no processo de design de produto

# 10 2010	A contribuição da prototipagem com emprego de fresadora CNC no processo de design de produto	Cardoso, Eduardo	UFRGS Brasil
--------------	--	------------------	-----------------

Cardoso, E. (2010). A contribuição da prototipagem com emprego de fresadora CNC no processo de design de produto. *XIV Congresso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital. Disrupción, modelación y construcción: diálogos cambiantes*, 58-61, Colombia: Universidad de los Andes.

Es éste el título del trabajo de Cardoso. Su interés estriba en que documenta las metodologías y resultados de un taller práctico de alumnos sobre Prototipado Rápido (Cardoso, 2010). Desarrolla la metodología de trabajo de una asignatura en enseñanza superior, con lo que se pretende fomentar el uso de tecnologías CNC para las fases de producción de nuevos productos. Nuevamente se trata de un trabajo de **Categoría 2** puesto que no se muestra ningún tipo de ensamble o diseño específico, sino que se señala y se pretende validar la gran utilidad de estas metodologías tanto en docencia como en empresas.



Detalles del proyecto *Mesa Mais*. Fuente: alumno Ricardo de Menezes Costa. En Cardoso, 2010.

Una vez explicada su metodología, se ayuda al interesado a conocer cuándo o en qué fase de un proyecto resulta ventajoso utilizar tecnologías digitales. Los que se encuentran familiarizados con este entorno lo podrían intuir, pero en su momento este trabajo pudo aclarar y continúa aclarando dudas a empresas de diseño que quisieran invertir en máquinas CNC. Tanto para que los diseñadores conozcan las etapas de un proceso de diseño en las que sería adecuado utilizarlas, como para implementarlas en docencia para asignaturas que necesiten crear objetos.

Interés del trabajo de Investigación

Principalmente interesa la metodología aplicada a un taller experimental que ayuda a visualizar y comprender las ventajas de la Fabricación Digital, dentro del proceso de diseño. Nuevamente, éste es un trabajo que se engloba en Categoría 2, con matices de Categoría 3 por su hincapié en el diseño. Puede guiar a un docente a implementar talleres de trabajo o como material para mostrar a sus alumnos formas de proyectar mobiliario.

Datos bibliométricos

El artículo está firmado por Eduardo Cardoso. Posee un perfil registrado en WoS y Scopus con un total de tres trabajos indexados y ninguno de ellos corresponde al que aquí se está analizando. Los restantes abordan temáticas relacionadas con áreas de Ciencias Sociales y de Educación. El presente artículo se publica desde la Universidade Federal do Rio Grande do Sul, en Brasil. Cuenta con 27.600 alumnos y su perfil registrado en Scopus comprende 70.633 trabajos de los cuales el área de mayor publicación, con 14,9% (17.321) es Medicina. Arte y Humanidades tiene 1225 trabajos. Este título apareció en las metodologías de búsqueda primarias de esta Tesis en el motor de CumIncad, de ahí el color azul de su título en la Tabla. No posee citas en ningún buscador.

Se encuentra publicado en SIGraDi, en las actas del XIV Congreso de 2010, que tuvo lugar en la Universidad de los Andes en Bogotá, Colombia. El tema de ese año toma por título “Disrupción, Modelación y Construcción: Diálogos Cambiantes”. La Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital (SIGRADI) agrupa arquitectos, urbanistas, diseñadores y artistas vinculados a los nuevos medios y constituye la equivalencia de organizaciones similares en Europa (*eCAADe*), América del Norte (ACADIA), Asia y Oceanía (CAADRIA), y Asia Occidental y África del Norte (ASCAAD). Realiza un Congreso Anual, en el cual se debaten las últimas aplicaciones y posibilidades tecnológicas gráficas, con la participación de relevantes especialistas internacionales.

Principales aportaciones

La mayor aportación que comparte este equipo es su método de trabajo para la realización de un taller que, a través de la práctica, pretende:

- Incentivar y posibilitar la inserción de las tecnologías de fabricación digital como herramienta para la actividad docente y proyectual en diseño
- Capacitar al estudiante para el diseño, planificación y ejecución de modelos tridimensionales.
- Ejecutar un proyecto con el mínimo posible de errores.

Estos esquemas de realización propia del autor de esta Tesis, para el flujo de trabajo son de interés pedagógico. Documentar dicha experiencia facilita la transferencia del conocimiento sobre fabricación digital. Sin embargo, Cardoso lo describe, pero no los esquematiza. El dominio por parte de un diseñador de estas competencias es fundamental para la competitividad de las empresas proporcionando una reducción de las inversiones en pruebas, una mejora en la calidad y fiabilidad de los resultados, con datos correlacionados con la realidad y también una reducción del tiempo dedicado al desarrollo y cambios del producto.

Aporta conocimientos para:	#10. Cardoso, E. (2010)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	Sí
Sostenibilidad	No

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #10. Cardoso, E. (2010).

- **TRANSFERENCIA:** Propicia la transferencia de conocimiento gracias a documentar el desarrollo de la metodología de trabajo que justifica ventajas competitivas con el uso de Fabricación digital para empresas y docencia.
- **DOCENCIA:** Mediante el taller experimental se ayuda a secuenciar las etapas del sistema de aprendizaje que verifica los beneficios de utilizar modelos físicos realizados con CNC.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se evidencia una metodología de colaboración con empresas privadas, pero sí valida con su propuesta los beneficios de invertir en máquinas CNC, para empresas que duden en adquirirlas para sus diseñadores.
- **TALLERES DE TRABAJO:** Presenta las etapas de un taller de trabajo que validan el uso de tecnologías CNC para las fases de desarrollo de nuevos productos.
- **SOSTENIBILIDAD:** No se evidencian justificaciones que sustenten el uso de la tecnología CNC.

2.8. Década 2010. Comienzan los Grupos Técnicos

Puede constatarse que hasta el momento no se ha entrado a describir trabajo alguno clasificado en la Categoría 1, o Grupos Técnicos, y la razón estriba en que, hasta la fecha analizada, 2010, no se había publicado ningún trabajo específico con ensambles digitales con fresadora de 3 ejes. Ya habían transcurrido alrededor de 16 años desde que C-Lab at HfG comenzara a mostrar interés por el diseño y la producción de mobiliario con esta tecnología. Es interesante analizar cómo todas estas primeras incursiones en el uso de esta maquinaria vengan de la mano de los Grupos de Diseño o Docencia, dentro de las Categorías 2 y 3, respectivamente.

Podría decirse, pues, que primero son los diseñadores los que tratan de trabajar con este tipo de máquinas sin saber con certeza hacia dónde llevaría esta nueva forma de producir; curiosa analogía con lo sucedido en la Bauhaus, cuando hubo que buscar funcionalidad y estética a los objetos o artefactos que se iban a producir con una nueva maquinaria. Se diría que ahora con las CNC está ocurriendo lo mismo. Si la cuestión se enfoca desde el punto de vista de optimización de recursos quizás la disciplina que más se presta a este tipo de investigación sea la ingeniería de materiales en madera. Pero, al propio tiempo, no sería ésta la disciplina más adecuada para experimentar con una nueva maquinaria sobre cuestiones estéticas.

Según se ha constatado en la presente investigación, cuando los Grupos de Diseño, Categoría 3, comienzan a obtener resultados que pueden ser interesantes, viables, también desde un aspecto económico, es cuando los Grupos Técnicos comienzan a investigar la viabilidad de las soluciones publicadas por los Grupos de Diseño. Muchas investigaciones son financiadas por empresas privadas, y, pueden ser secundadas por algún grupo de investigación interesado, cuyos informes posteriormente repercutirían en los beneficios económicos de las empresas. En este caso, pues, ha sucedido algo similar: en tanto no hubo soluciones o publicaciones que garantizaran que con fresadora CNC verdaderamente se podría optimizar la forma de producir mobiliario, no hubo interés en profundizar en este campo, aun existiendo ya la tecnología desde mucho antes, pero no aplicada a este campo.

En las publicaciones englobadas en la Categoría 1, Grupos Técnicos, se constata que comienzan a interesarse por las CNC como nuevo sistema de producción y sus posibles beneficios. Se empieza a valorar que, pese a sus limitaciones, pueden realizarse uniones entre piezas con similares resultados a los ensambles tradicionales en carpintería, ya que, como bien se afirma, las uniones constituyen la parte decisiva para asegurar la durabilidad del producto confeccionado (Snow et al., 2006). Comienzan pues a reflexionar en estas disciplinas más técnicas, sobre la importancia de profundizar en este tipo de tecnología, en los diversos planes de estudio, de una manera transversal en varias disciplinas como pueden ser el diseño, la construcción y la ingeniería; de esta forma, trabajando en conjunto, colaborativamente, se benefician todos ya que abordan los posibles problemas desde varios puntos de vista (Tannert et al., 2008).

Todas estas afirmaciones sobre el interés que podría suscitar el uso de CNC una vez han irrumpido como herramienta de trabajo se recogen en un artículo de Tannert et al. titulado “CNC Timber Processing in Research and Teaching”, no incluido en la Tabla de esta Tesis por no responder al campo exacto de este estudio; no obstante, lo cual aporta los beneficios de su utilización en general, no ceñido al diseño. Así y todo, podría ser de interés para incidir en un mayor conocimiento del uso de CNC como herramienta para trabajar la madera. Al final, su enfoque va dirigido hacia posiciones de construcción de edificación con la madera como material, de igual forma que otros de sus estudios posteriores.

Destaca también un autor y un equipo que, pese a provenir de las disciplinas técnicas siempre se han preocupado, como así lo atestiguan sus trabajos, de tratar de mantener paralelos los dos niveles, el técnico y el práctico-didáctico en lo que concierne al diseño. El principal autor por el número de publicaciones en el campo es Milan Šimek que forma parte del grupo de investigadores del Departamento de Mobiliario, Diseño y Habitación, de la Facultad de Ciencias Forestales y Tecnología de la madera en la Mendel University, de Brno. Este equipo -se estudiará un poco más adelante- es el primero que introduce técnicas de análisis de esfuerzos para mobiliario realizado con fresadora CNC de 3 ejes. Llama la atención que pese al interés que muestran en introducir dicha metodología en disciplinas relacionadas con el diseño, no se encuentra mención alguna de este Grupo y sus adelantos, en otros trabajos en el campo del diseño. En definitiva y como ya se ha señalado, prácticamente ningún grupo de diseño o pedagógico hace referencia o estudia las investigaciones hacia las disciplinas técnicas para completar los trabajos.

Paralelamente, el sistema de producción de mobiliario con metodologías tradicionales, es decir, sin el uso de CNC de 3 ejes, pero sí de centros de mecanizados automatizados CNC, sigue su curso y se va ampliando el conocimiento de estudios más técnicos, preocupados en resolver el dimensionado y resistencia de sus elementos. Ello es debido a que, tradicionalmente, las dimensiones de los componentes de los muebles se basaban en la experiencia, pero una vez que se ha entrado ya de lleno en un mundo de optimización extrema del uso de materiales con el fin de ahorrar costes, se hace necesario racionalizar las secciones mínimas de éstos.

Es a partir de 2010 cuando se producen cambios importantes en este campo pues los grupos de investigación que ya estudiaban estos sistemas de producción tradicional de mobiliario y que han desarrollado la técnica de dimensionado y optimización de sus partes, comienzan a experimentar con la producción de mobiliario con CNC de 3 ejes. El uso de máquinas CNC propicia que la morfología de ensamblajes entre piezas sea muy variada. Analizar empíricamente cada uno de los ensamblajes tanto en tiempo como en dinero resulta costoso. Para realizar estos análisis se comienza a utilizar en mobiliario programas de cálculo con el Método de Elementos Finitos para evaluar los esfuerzos. Este método se conoce en inglés como *Finite Element Analysis* (FEA) pero también puede aparecer con las siglas (FEM) de *Finite Element Method*. Antiguamente, este método se calculaba con operaciones hechas manualmente y en disciplinas como ingenierías aeronáuticas o estructurales, en las que las operaciones matemáticas eran muy costosas y se dilataban en el tiempo para obtener un resultado.

El primer autor que utiliza este método en mobiliario de forma manual es C. A. Eckelman (Eckelman, 1967) cuya aportación al área del conocimiento sobre dimensionado de mobiliario ha sido primordial. Con los avances de la tecnología y su abaratamiento comienzan a desarrollarse programas que realizan estas operaciones en segundos. Esto supone un ahorro considerable para todos los test a realizar en mobiliario y, como ya se ha señalado, es en 2010 cuando se comienza a utilizar este método dentro de la producción con CNC.

Uno de los cambios interesantes es que, como para poder producir un mueble con una fresadora CNC de 3 ejes es necesario hacer un dibujo virtual y vectorizado de las piezas, el mismo dibujo virtual se podría introducir en un programa informático de FEA para obtener resultados. Por lo tanto, dibujando una sola vez obtenemos dos fines: por una parte, los archivos necesarios para producir las piezas, y por otra, si esas piezas van a resistir las solicitaciones establecidas. Se recomienda el estudio del artículo denominado "Finite Element Analysis of Wood Materials" (Tankut et al., 2014) para entender la metodología FEA y su evolución aplicada únicamente a mobiliario, que se analizará a continuación.

Este método se ha convertido en una técnica de gran ayuda para analizar los fenómenos físicos en el campo de la mecánica estructural de sólidos y fluidos durante las cuatro últimas décadas. Las partes de interés que tiene este artículo son las relativas a las explicaciones del método, su procesamiento a través del programa informático ANSYS, la revisión bibliográfica en cuanto al método FEA en sí mismo y la revisión bibliográfica de aplicación del método a mobiliario de madera. Los autores abogan razonablemente por el reemplazo de métodos estadísticos para la optimización de dimensionado de mobiliario con madera, que ha sido otro de los métodos aplicados para el cálculo, obteniendo valores algo imprecisos.

Como aclaración es interesante mencionar que hay otro sistema de análisis de esfuerzos en piezas de mobiliario, llamado Digital Image Correlation (DIC), que analiza los movimientos que se producen en un objeto, aplicándole unas fuerzas hasta que quiebra en su límite. Pero para este caso se necesita tener construido un prototipo y realizar los test de esfuerzos. Este sistema lo que hace es recoger digitalmente todos los movimientos que se produzcan para obtener datos con el análisis de la correlación de las imágenes digitales. La diferencia con un simple test de esfuerzos de rotura tradicional es que se obtienen y registran más datos para su análisis, y de forma digitalizada, para poder trabajarlos de manera más ágil.

Previo al estudio del siguiente grupo de Investigación, que correspondería en la Tabla 1 al de la Mendel University, que son los primeros aplicar FEA a un ensamble realizado con fresadora de 3 ejes, se va a estudiar el mencionado artículo de revisión de FEA. Pese a que el año cronológico en el que todavía se sitúa esta Tesis es 2010 se va a describir este artículo publicado en 2014. La razón es que como a partir de 2010 comienzan todas las investigaciones de Categoría 1 o Técnicas, es procedente y cobra más sentido situar aquí este trabajo para entender partes técnicas que, de otra manera, sería más complicado explicar.

2.8.1. #20. (2014) Finite Element Analysis of Wood Materials

# 20 2014	Finite Element Analysis of Wood Materials	Tankut, Nurgul Denizli	Tankut, Ali Naci Zor, Mustafa	Bartın University Turkey
--------------	---	---------------------------	----------------------------------	-----------------------------

Tankut, N. D., Tankut, A. N., & Zor, M. (2014). Finite element analysis of wood materials. *Drvna industrija*, 65(2), 159-171.

Este artículo se localiza tras el estudio de la bibliografía de alguno de los artículos seleccionados para esta Tesis. Resulta de gran utilidad para cualquier diseñador que se adentre en el campo específico del método de elementos finitos. Realiza una revisión bibliográfica del uso de FEM específicamente para mobiliario de madera. Su consulta facilita una perspectiva perfecta del estado del arte, así como su comprensión.

Interés del trabajo de investigación

Su interés esencial radica en la importancia que tiene, específicamente, para que cualquier docente o interesado en la materia conozca este método de análisis, centrado únicamente en diseño de mobiliario. Hay muchas referencias de autores relevantes sobre al ser una revisión sistemática de las publicaciones con este enfoque.

Datos bibliométricos

Está firmado por tres autores, con sus perfiles registrados en WoS y Scopus, con unos 20 artículos indexados cada uno, entre ellos el que aquí se analiza. Los demás artículos están relacionados con Ciencia de los Materiales dirigidos a maderas e ingeniería forestal. El presente artículo se publica en la Bartın University de Turquía, que cuenta con 18.600 alumnos, y cuyo perfil, registrado en

Scopus, posee 2.147 trabajos de los cuales, el área de mayor publicación con 13,5% (534) es precisamente en Ciencia de los materiales. Se publicó a través de la revista *Drvna Industrija* cuya área específica es la de Ciencias de la agricultura y biología, forestal, revista editada por Zvolen University, de cuyo centro se hablará más adelante, puesto que es otro de los generadores de investigaciones de Categoría 1. El percentil de la revista mencionada en el momento de publicación de este artículo fue de Q3.

El autor principal de este artículo se encuentra ahora en otra universidad turca, la Duzce University. Dada la temática tan específica no solo no es extraño visualizar en su bibliografía trabajos de Eckelman, sino que, si se estudia un poco su trayectoria, en 2007 publica con él, pues realizó sus estudios de doctorado en Purdue University. Más adelante se entenderá la importancia de Purdue University en el mundo académico sobre mobiliario de madera, hasta aquí mencionado en numerosas ocasiones.

Este artículo se localizó en la búsqueda secundaria de fuentes tras el estudio de las bibliografías de otros autores. Siendo una revisión sistemática aparece con un alto número de citas en todos los buscadores consultados: 41 en Google Académico, 26 en Scopus y 21 en WoS.

Principales aportaciones

- Explicación de lo que es matemáticamente el Método de Elementos Finitos.
- Hitos y evolución histórica del desarrollo de las formulaciones matemáticas del Método.
- Breve explicación del programa informático ANSYS para cálculo del método.
- Hitos y evolución histórica del desarrollo del programa ANSYS.
- Revisión bibliográfica del método FEA de aplicación específica a mobiliario de madera.
- Incentivar el uso de FEA para reemplazar los métodos de cálculos estadísticos.
- Ahorro de material por el uso únicamente del necesario.

Aporta conocimientos para:	#20. Tankut, N. D., Tankut, A. N., & Zor, M. (2014)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #20. Tankut, N. D., Tankut, A. N., & Zor, M. (2014).

- **TRANSFERENCIA:** Propicia la transferencia de conocimiento, gracias a la aportación de la revisión bibliográfica, argumentando el uso de FEA para la optimización de mobiliario.
- **DOCENCIA:** Constituye un material útil para docencia como base referencial para el uso de FEA.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se evidencia una metodología de colaboración con empresas privadas, pero es un método que pueden solicitar empresas de producción de mobiliario para optimizar sus recursos de producción.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No se registra ninguno en el sentido descrito.
- **SOSTENIBILIDAD:** Como método de optimización de material usando sólo el necesario según solicitudes conocidas del mueble.

2.9. (2010-2018) Mendel University Group. Czech Republic

2.9.1. Introducción

Resulta relevante para el propósito de esta Tesis profundizar en la aportación que ha supuesto la investigación del ya mencionado equipo de Milan Šimek, de la Universidad de Mendel, en Brno, República Checa. Las investigaciones relacionadas con la temática de esta Tesis, publicadas por este autor son ocho: tres en 2010 y las restantes en los años 2013, 2014, 2015, 2017 y 2018. Se repasarán someramente los contenidos de nuestro interés incidiendo en aquéllos en los que participa este autor. Se hará un extracto de las novedades y afirmaciones aportadas por cada uno de los autores.

Interés del Mendel University Group

La producción científica de este grupo se engloba en la Categoría 1, específica de esta temática; de ahí su interés. No obstante, no es común que este tipo de perfiles basados en ingeniería de materiales bordeé también las Categorías 2 y 3. Pese a su marcado carácter técnico abordan algún trabajo que contribuye a mejorar la pedagogía en diseño de mobiliario; otros que muestran su interés desde el punto de vista de la estética, y finalmente otros que entran de lleno en la vertiente que más dominan: el análisis de resistencia de las solicitaciones a las que se somete a los ensambles.

Datos bibliométricos

Como se ha mencionado, el siguiente grupo de investigación en aparecer pertenece a Mendel University, en color violeta de fondo en la tabla. Esta universidad tiene 10.650 alumnos y según datos de Scopus este centro tiene alrededor de 10.200 publicaciones de las cuales 6.100 (38%) pertenecen a su tema más prolífico que es Ciencias de la Agricultura y Biología, mientras que Ciencia de los Materiales 470 (2.9%) o Ingeniería posee 595 (3.7%) y Artes y Humanidades sólo 63. El autor que más se repite en los artículos sobre producción de mobiliario con fresadora CNC de 3 ejes es Milan Šimek en cuyo perfil registrado en Scopus se encuentran 24 documentos como autor, 11 de ellos en Ciencias de los Materiales.

2.9.2. #11. (2010) Finite element analysis of dovetail joint made with the use of CNC technology

# 11 2010	Finite Element Analysis of Dovetail Joint Made with the Use of CNC Technology	Sebera, Václav Šimek, Milan	Mendel University Czech Republic
--------------	---	--------------------------------	-------------------------------------

Sebera, V., & Šimek, M. (2010). Finite element analysis of dovetail joint made with the use of CNC technology. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendeliana brunensis*, 58(3), 321-328.

El año 2010 es el primero en el que este equipo publica investigaciones, concretamente tres, relacionadas con ensambles digitales producidos con CNC de 3 ejes: el primer artículo, en marzo, con el título "Finite element analysis of dovetail joint made with the use of CNC technology" en la revista *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendeliana Brunensis* que pertenece a la propia Mendel University, Brno; y los otros dos trabajos en octubre, en una misma conferencia que se mencionará posteriormente.

Interés del trabajo de investigación

Este es el primer trabajo realizado dentro de los grupos de Investigación técnicos que realizan un ensamble con fresadora CNC de 3 ejes para analizar su resistencia con FEM. El tema corresponde marcadamente a la Categoría 1 de las establecidas en esta Tesis. Es de interés conocer los principios de esta metodología de ensambles digitales.

Datos bibliométricos

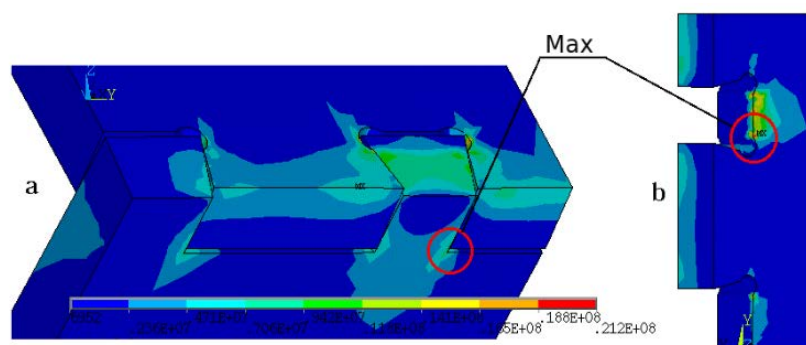
La revista se encuentra registrada en Scopus en la fracción Q3, en el año de su publicación. Este primer artículo se centra en el análisis de las propiedades mecánicas de elementos finitos a través de un ensamble diseñado para ser cortado con fresadora de tres ejes; **Categoría 1** de artículos técnicos. Es el más reconocido de los publicados por el equipo, según el número de referencias de los incluidos en la Tabla, con 13 citas en Google Académico y 9 en Scopus. Su mérito estriba, además de la calidad del trabajo, en el hecho de haber sido el primer documento científico que aplica FEM para mobiliario producido con CNC de 3 ejes. Este título apareció en las metodologías de búsqueda primaria de esta Tesis, en los motores de Google Académico y Scopus, por ello el color rojo negrita en la fuente de la fecha de la primera columna de la Tabla 1.

2.9.3. #12. (2010) Traditional Furniture Joinery from the Point of View of Advanced Technologies

# 12 2010	Traditional Furniture Joinery from the Point of View of Advanced Technologies	Šimek, Milan Sebera, Václav	Mendel University Czech Republic
--------------	---	--------------------------------	-------------------------------------

Šimek, M., & Sebera, V. (2010). Traditional furniture joinery from the point of view of advanced technologies. In *Proceedings of the international convention of society of wood science and technology and United Nations economic commission for Europe—Timber Committee, Geneva, Switzerland, 11-14 October, Geneva, Switzerland.*

El siguiente trabajo de la Tabla con título “Traditional Furniture Joinery from the Point of View of Advanced Technologies” (Sebera and Šimek, 2010) guarda una relación directa con otro estudio muy similar. También se incluiría en **Categoría 1**. Profundiza y amplía lo publicado en el trabajo anterior, pero ambos estudios se diferencian en pequeños matices, por lo cual se hará referencia a los dos artículos en paralelo.



Resultados del programa ANSYS: a) Tensión de von Mises (MPa) en el contacto del ensamble en contrachapado, b) detalle de la distribución de las tensiones (MPa). En Šimek y Sebera, 2010.

Interés del trabajo de investigación

Este artículo constituye otro caso práctico de estudio para entender la realización y análisis de ensamblajes digitales comprobando sus propiedades mecánicas. Se incluye también en la Categoría 1.

Datos bibliométricos

Este segundo artículo de los dos mencionados, de Sebera and Šimek, se encuentra publicado en las Actas de la 53rd *International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe*, que tuvo lugar en 2010, en Ginebra, Suiza. La conferencia no aparece indexada en los buscadores científicos mencionados. El artículo solo aparece indexado en Google Académico con nueve citas. La *Society of Wood Science & Technology (SWST)* o en castellano, Sociedad de la Ciencia y Tecnología de la Madera, es una organización profesional reconocida internacionalmente de científicos, ingenieros, especialistas en márquetin y otros profesionales de la madera relacionados con los materiales lignocelulósicos. Sus miembros están dedicados al uso inteligente de uno de los recursos más ecológicos como lo son los materiales que provienen de la madera. Esta organización establece un foro para el intercambio de ideas y la comunicación de conocimientos a través de Convenciones Internacionales y Reuniones Regionales. Sus integrantes vienen de varias universidades de Estados Unidos, Europa y Australia. Por lo que posee un perfil de especialistas multidisciplinares e internacional. Este artículo se encontró en las búsquedas secundarias de esta Tesis en la bibliografía de otros autores. Solo posee citas en Google Académico con 9.

Principales aportaciones

- Primeros artículos científicos que documentan el uso de FEM para ensamblajes de madera para ser producidos con CNC de 3 ejes.
- Incentivación del uso de FEA mediante el programa informático ANSYS para reemplazar los métodos de cálculo tradicionales.
- Justificación de la reutilización de ensamblajes de madera tradicionales con nuevas tecnologías por:
 - Rapidez y precisión en el corte
 - Dureza de su unión
 - Valor estético añadido
 - Mayor competitividad en el producto final respecto a realización manual.
 - Ahorro de material por el uso únicamente del necesario.
- Inconvenientes: No está al alcance de un diseñador poco familiarizado con las técnicas de ingeniería, debido a la complejidad de las pruebas para su posterior aplicación en diversos proyectos de diseño.

Aporta conocimientos para:	#12. Šimek, M., & Sebera, V. (2010)
Transferencia	Sí
Docencia	No
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #12. Šimek, M., & Sebera, V. (2010).

- **TRANSFERENCIA:** Propicia la transferencia de conocimiento gracias al aporte de su investigación justificando el uso de FEA para la optimización de mobiliario.
- **DOCENCIA:** Nada específico aplicable; solo como documento que justifica el uso de FEM.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se evidencia una metodología de colaboración con empresas privadas, pero es un método que pueden solicitar empresas de producción de mobiliario para optimizar sus recursos.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No se registra ninguno susceptible de aplicación.
- **SOSTENIBILIDAD:** Como método de optimización de material usando sólo el necesario según solicitudes conocidas del mueble.

2.9.4. #13. (2010) Chair design for CNC manufacturing – Skeleton Chair

# 13 2010	Chair design for CNC manufacturing – Skeleton Chair	Šimek, Milan Koreny, Adam	Mendel University Czech Republic
--------------	---	------------------------------	-------------------------------------

Šimek, M., & Koreny, A. (2010). Chair design for CNC manufacturing – Skeleton Chair. In *Proceedings of the international convention of society of wood science and technology and United Nations economic commission for Europe—Timber Committee, Geneva, Switzerland, 11-14 October, Geneva, Switzerland.*

Se trata del tercero de los tres trabajos publicados a lo largo de 2010, presentado también en la misma Convención que el trabajo anterior y relacionado con él: “53rd International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe. Lo titula “Chair design for CNC manufacturing – Skeleton Chair” (M. Šimek, A. Koreny 2010). Se mueve en una línea similar a la del trabajo descrito, pero con un carácter menos técnico y más práctico o experimental. Por ello se podría catalogar en Categoría 2, no muy usual en esta disciplina técnica.

Por diferenciarlos, Šimek, en la ocasión anterior, colaboró con el departamento de Ciencias de la madera de su misma Facultad de Ciencias Forestales y Tecnología de la Madera, para llevar a cabo los cálculos con el método FEM descrito, de un ensamble tipo de cola de milano. Mientras que el trabajo que analizamos lo presenta con un compañero del Departamento de Mobiliario, Diseño y Habitación; su objetivo es la creación de un caso práctico en base a las investigaciones técnicas realizadas en el anterior. Se está aplicando la técnica descrita en los artículos anteriores a un

diseño de mobiliario, con lo que, en cierta medida, se está produciendo una transferencia de conocimiento.



Skeleton chair. Izquierda: vista frontal. Derecha: vista lateral. En Šimek y Koreny, 2010.

Interés del trabajo de investigación

Éste es uno de los artículos que proviene de un equipo técnico que, en este caso, pretende mostrar metodologías para realizar mobiliario con técnicas digitales. Por tanto, su carácter se enmarca primordialmente en lo pedagógico, de clasificación en Categoría 2. Con las técnicas aprendidas y descritas en los dos anteriores artículos se diseña una silla sencilla, pasando del estudio de un ensamble al estudio de múltiples ensambles que configuran un mueble. Muy interesantes para implementar en docencia sus esquemas de desarrollo del proceso del trabajo.

Datos bibliométricos

Todos los relativos a la universidad y su entorno están descritos en los anteriores artículos, 2010. Debido a que no se encuentran indexados ni el artículo, ni la conferencia donde se presentó, solo se puede aportar en este apartado que únicamente aparece en Google Académico y que a pesar de lo eminentemente práctico y pedagógico que puede ser su estudio para diseño de mobiliario, no posee ninguna cita en el buscador mencionado, ni en el resto consultados.

Principales aportaciones

- Documentar la realización de un mueble con tecnología CNC de 3 ejes aplicando la teoría de dos artículos anteriores.
- Transferencia de conocimiento al campo experimental de investigaciones teóricas previas.
- Denuncian del uso exclusivo para formación y docencia pues se podría ampliar a la industria.
- Auguran que se convierta en una técnica popular para pequeños productores.
- Justifican beneficios para el medio ambiente de estas técnicas por: no usar otros materiales para uniones como metales, plásticos, etc.; reducir el movimiento de mercancías; propiciar el empleo de nuevos materiales compuestos de madera que proviene de materia prima; configuración responsable; uso eficiente del material; posibilidad de embalajes planos; producción más rápida; menor consumo de energía y justificación del uso específico de tableros contrachapado.

- Beneficios sobre mostrar las técnicas en diversas ferias de mobiliario.

Aporta conocimientos para:	#13. Šimek, M., & Koreny, A. (2010)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	Sí/No
Talleres de trabajo	Sí/No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #13. Šimek, M., & Koreny, A. (2010).

- **TRANSFERENCIA:** Propicia la transferencia de conocimiento gracias al registro de un proyecto experimental de una silla realizada con CNC de 3 ejes.
- **DOCENCIA:** Esquema de desarrollo de las etapas de construcción de una silla.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se evidencia una metodología de colaboración con empresas privadas, pero sí plantean una manera de conexión con ellas mediante ferias en las que exponen la nueva tecnología.
- **TALLERES DE TRABAJO:** Se podría plantear un posible taller gracias al registro de la construcción experimental de una silla con CNC de 3 ejes.
- **SOSTENIBILIDAD:** Justifica en varios campos la sostenibilidad de esta tecnología para la producción de mobiliario sostenible.

2.9.5. #19. (2013) Possibilities of CNC Manufacturing with Regard to Furniture Design

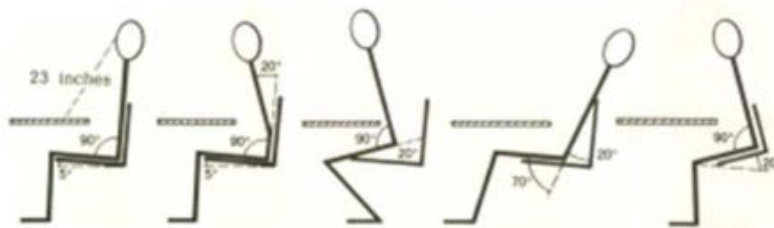
# 19 2013	Possibilities of CNC Manufacturing with Regard to Furniture Design	Šimek, Milan Kořený, Adam	Dlauhý, Zdeněk Mihailović, Stefan	Mendel University Czech Republic
--------------	--	------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------

Šimek, M., Kořený, A., Dlauhý, Z., & Mihailović, S. (2013). Possibilities of CNC manufacturing with regard to furniture design. In *Wood is good-user oriented material, technology and design. Proceedings of the 24th International Scientific Conference*, 157-165, 18 October, Faculty of Forestry, University of Zagreb, Croatia.

Tres años después de las publicaciones estudiadas se celebró la “24th International Scientific Conference” (24ª Conferencia Internacional Científica) con el título “Wood is Good – user oriented material, technology and design” (La madera es buena – material, tecnología y diseño orientados al usuario) que tuvo lugar en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Zagreb. Aprovechando que ese año Croacia entraba en la Unión Europea, la universidad, en cooperación con Innovawood dentro del sector de la madera, decide organizar esta conferencia como una importante fuente de respuestas a preguntas sobre los nuevos logros en el campo del diseño, la construcción, la economía, la ergonomía, los materiales madereros y no madereros y sus propiedades.

La Conferencia se basa en artículos en proceso de elaboración y en estudios de resultados de expertos croatas y extranjeros en tecnología, economía, ergonomía y diseño de la madera. Pretendían llamar la atención del usuario final y sus necesidades en el diseño, selección de materiales y tecnologías de productos diseñados. En la introducción hacen un llamamiento al concepto de la sostenibilidad como algo vital para el sector, como estrategia de desarrollo económico moderno en Europa. Entre todos los trabajos, Šimek y otros investigadores de la misma Facultad, publican “Possibilities of CNC Manufacturing with Regard to Furniture Design”.

El objetivo de la publicación era la evaluación de ciertos parámetros de la tecnología de producción de mobiliario con CNC, en particular una silla de trabajo como producto *flat pack*, concepto de mueble que tratarán de definir en esta investigación junto con otras aportaciones sucesivas. Tratan datos básicos sobre ergonomía relacionada con posturas sentadas para el trabajo, además de acercamientos sobre el mobiliario flat-pack enfocado a CNC y algunos ejemplos de sillas. El resultado de esta contribución es recopilar conocimiento sobre tecnología CNC/CAM y opciones de optimización de diseño de mobiliario, instando al empleo de las capacidades de la tecnología CNC, innovaciones relacionadas y una mejor resistencia mecánica para el producto final.



Posiciones sentado para actividades de trabajo. Fuente: Šimek et al., 2013.

Interés del trabajo de investigación

Ésta es otra de las investigaciones que, aunque proviene de un equipo técnico, no muestra resultados de esfuerzos de ensambles sino justificaciones teóricas para fomentar el uso de la fabricación digital. Por lo tanto, se podría clasificar en Categoría 2 puesto que su metodología ayuda en docencia, aportando además un cierto enfoque en el diseño estético, por lo que puede considerarse también en Categoría 3. Esta “mezcla” de categorías no es nada frecuente en los equipos de Investigación estudiados. Pero, de hecho, las de mobiliario que mencionan, constituyen referencias instructivas e interesantes.

Datos bibliométricos

Todos los relativos a esta universidad y su entorno están descritos en los anteriores trabajos. El artículo se encuentra indexado en Google Académico con dos citas y en Scopus con cero citas. La conferencia no se encuentra indexada en los buscadores científicos. Tampoco se puede aportar más información bibliométrica sobre él. Fue localizado en las búsquedas secundarias de esta Tesis revisando bibliografía de otros autores.

Principales aportaciones

- Documentar un concepto de diseño de mobiliario basado en la conexión con nuevas tecnologías, ergonomía según avances recientes y diseño paramétrico.

- Registran las ventajas y desventajas del uso de CNC de 3 ejes.
- Tabla de categorización de programas CAD/CAM para uso de esta tecnología.
- Justificación del uso de CNC de 3 ejes aplicado a mobiliario *flat pack* y RTA.
- Ensamblajes más usuales para este mobiliario: caja y espiga, cola de milano o *finger joints*.
- *Kerfing*: La perforación de superficies propicia propiedades flexibles y posibilidad de doblar tableros de madera para diferentes superficies.
- Aporte de referencias de mobiliario de tendencia de esa época realizado con CNC de 3 ejes.
- Estudios ergonómicos basados en avances de la época.
- El diseño paramétrico no solo ahorra recursos, sino que aumenta la competitividad y estimula la innovación.
- Necesidad sobre un cambio en las formas rígidas hacia objetos más orgánicos caracterizados por curvas elegantes e interesantes patrones.
- Lamentan que el uso de la parametrización se ciña casi exclusivamente a la innovación en docencia.

Aporta conocimientos para:	#19. Šimek, M., Kořený, A., Dlahý, Z., & Mihailović, S. (2013)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #19. Šimek, M., Kořený, A., Dlahý, Z., & Mihailović, S. (2013).

- **TRANSFERENCIA:** Propicia la transferencia de conocimiento gracias al registro de diversas justificaciones que fomentan el uso experimental de las CNC de 3 ejes.
- **DOCENCIA:** Varias aportaciones mencionadas en el resumen ayudan a justificar la introducción de estas técnicas en docencia.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se evidencia una metodología de colaboración con empresas.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No hay evidencia de una metodología para un taller.
- **SOSTENIBILIDAD:** Esta tecnología aporta: Uso eficiente de materiales, diseño compacto, ensamblaje simple y respetuoso con el medio ambiente.

2.9.6. #21, #22, #28. (2014) Development of Ready-to-Assemble (RTA) Furniture Constructions. (2015) Displacement in a Loaded Wooden Chair by Using Digital Image Correlation. (2017) furniture testing for higher competitiveness, better quality and design

# 21 2014	Development of Ready-to-Assemble Furniture Constructions	Šimek, Milan Kořený, Adam	Sebera, Václav Tippner, Jan Dlauhý, Zdeněk	Mendel University Czech Republic
Šimek, M., Kořený, A., Sebera, V., Tippner, J, & Dlauhý, Z. (2014). Development of Ready-to-Assemble Furniture Constructions. In <i>57th SWST International Convention 7th Wood Structure and Properties Conference 6th European Hardwood Conference</i> , 837-846, 23-27 June, Zvolen, Slovakia.				
# 22 2015	Determination of Displacement in a Loaded Wooden Chair by Using Digital Image Correlation	Šimek, Milan Dlauhý, Zdeněk	Sebera, Václav Novák, Vít Kořený, Adam	Mendel University Czech Republic
Šimek, M., Dlauhý, Z., Sebera, V., Novák, V., & Adam, A. (2015). Determination of Displacement in a Loaded Wooden Chair by Using Digital Image Correlation. <i>Drvna industrija</i> , 66(2), 129-136.				
# 28 2017	Furniture testing for higher competitiveness, better quality, and design	Šimek, Milan		Mendel University Czech Republic
Šimek, M. (2017). Furniture testing for higher competitiveness, better quality, and design. In <i>10th International Scientific Conference WoodEMA 2017. More Wood, Better Management, Increasing Effectiveness: Starting Points and Perspective</i> , 106-113, 24-26 May, Prague, Czech Republic.				

Las tres publicaciones parten de una misma base de estudio que amplían y explican en cada caso. Se trabaja sobre una prueba experimental de una silla realizada con CNC de 3 ejes a la que se le aplica diferentes tests de prueba de resistencia para evaluar los datos obtenidos. Los resultados sirven de base para la ampliación y conclusiones recogidas en las tres publicaciones. Los artículos en evaluación son: "Development of Ready-to-Assemble (RTA) Furniture Constructions" (M. Šimek et al. 2014), "Displacement in a Loaded Wooden Chair by Using Digital Image Correlation" (Šimek et al., 2015), y "furniture testing for higher competitiveness, better quality and design" (Šimek, 2017). Debido a su semejanza se abordará su análisis de manera conjunta para posteriormente matizar las diferencias.

Interés de los trabajos de investigación

Se trata de tres nuevas aportaciones del análisis FEM aplicado a mobiliario que van ampliando esta lista de investigaciones. Son aportaciones al estudio de mobiliario *flat pack* y RTA para fomentar y justificar el uso de estas metodologías. En este caso se analiza una silla con muchos ensambles para ver su comportamiento cuando se ejercen las solicitaciones.

Datos bibliométricos

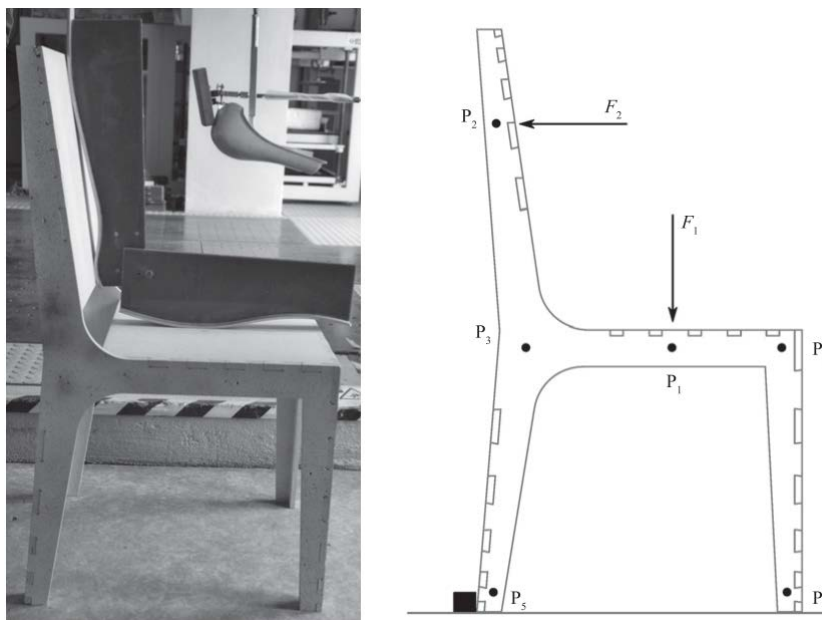
Todo lo relativo a la universidad y su entorno está descrito en los trabajos que se acaban de analizar. Los perfiles de los autores corresponden a la misma área de trabajo, en ingeniería de la madera y en ciencias forestales, que son sin duda los perfiles que más profundizan en análisis de producción de mobiliario y materiales compuestos, derivados de la madera. No poseen citas en ninguno de los buscadores utilizados. Los tres artículos aparecen en las búsquedas primarias realizadas en esta Tesis.

“Development of Ready-to-Assemble (RTA) Furniture Constructions” (Šimek et al. 2014)

Este artículo solo se encuentra indexado en Google Académico con 0 citas; tampoco lo está la conferencia en la que se presentó. Parte del Departamento of *Wood Science* y de la misma Facultad de *Forestry and Wood Technology*. Se presentó en una nueva convención, promovida por la misma organización en la que se presentaron los dos últimos artículos estudiados, noviembre de 2010. Se encuentra en las Actas de la “57th International Convention of Society of Wood Science and Technology” que se celebró en la ciudad de Zvolen, en Eslovaquia, en junio de 2014. La investigación proviene de la misma facultad y nuevamente colaboran dos departamentos, el de Ciencias de la Madera y el de Mobiliario, Diseño y Habitación en la Mendel University. Si bien el artículo es perfectamente accesible para cualquier usuario, paradójicamente no es citado. Se encontró en las metodologías de búsqueda primaria de esta Tesis, en el motor de Google Académico; por ello el color rojo negrita, en la fuente de la fecha de la primera columna de la Tabla 1.

“Displacement in a Loaded Wooden Chair by Using Digital Image Correlation” (Šimek et al., 2015)

Este segundo artículo aparece indexado en Google Académico, Scopus y WoS, aunque tampoco obtiene cita alguna hasta el momento. Parte del Departamento of *Furniture, Design and Habitation* de la misma *Faculty of Forestry and Wood Technology*. Se publica en *DRVNA INDUSTRIJA*, en castellano Industria de la Madera, una revista científica de acceso abierto internacional, en el campo de cualquier aspecto que tenga que ver con la madera. La revista obtiene en el año de publicación del artículo un índice Q3 en Scopus. Está editada por la universidad de Zagreb, Croacia, con un pretendido impacto en el área de influencia de Europa del Este. Se encontró en las metodologías de búsqueda primaria de esta Tesis, en los motores de Scopus y WoS; de ahí el color rojo negrita, en la fuente de la fecha de la primera columna de la Tabla 1.



Izquierda: modelo para test de esfuerzos. Derecha: esquema con los puntos P1 a P6 para test de prueba. En Šimek, M., Dlahý, Z., Sebera, V., Novák, V. y Kořený, A., 2015.

“Furniture testing for higher competitiveness, better quality and design” (Šimek, 2017)

El tercer artículo aparece indexado en Scopus y WoS; tampoco es citado. Parte del mismo Departamento y Facultad que el anterior. Se publica en una Conferencia no indexada en Scopus, pero sí en WoS, llamada ese año Woodema 27. Es una Asociación Internacional de Economía, Gestión, Marketing, Calidad y Recursos Humanos en silvicultura e industria basada en bosques. El objetivo de la Asociación es promover la ciencia y los resultados del trabajo científico y profesional de sus miembros, la cooperación científica mutua, así como apoyar la ciencia y el desarrollo profesional en el campo de trabajo de la propia Asociación. Prácticamente todos sus miembros son de Europa del Este: Croacia, Eslovaquia, Serbia, Polonia, Macedonia y, como excepción, una institución de Louisiana en EE. UU. Nuevamente el trabajo está dirigido a un público de Europa del Este, con el que pretende compartir, como en el caso anterior, estos adelantos del sector. La conferencia fue titulada como *10th Annual International Scientific Conference on More Wood, Better Management, Increasing Effectiveness: Setting Points and Perspectives*; aparece indexada en WoS, y se presentan en ella 35 artículos, en la categoría de Ingeniería de la Manufactura y Business, siendo la universidad mayoritaria de publicación la de TUZVO en Eslovaquia.

Prácticamente se ha presentado un artículo de base teórica común en tres entornos distintos de publicación, intentando divulgar el potencial que tienen estas tecnologías y concediendo la mayor visibilidad a sus resultados. Ven la necesidad de que los datos y la información lleguen a las escuelas de diseño y no solo a las de ingeniería, así como acercar la información al campo de la madera.

Principales aportaciones

- Explicación de la metodología específica para la realización de una silla RTA con tecnología CNC de 3 ejes a la que se le aplica test de resistencia con método DIC.
- Desarrollar una metodología de prueba de muebles estandarizados.
- Utilizar los resultados para mejorar las propiedades mecánicas de la construcción de un mueble.
- La aplicación de esta metodología aumenta la competitividad y potencial de innovación.
- Las uniones de mobiliario RTA evitan la dependencia de conectores que influyen en el diseño, precio y calidad final del producto.
- Nuevos acercamientos de trabajo para diseño de mobiliario debido a la evolución de las tecnologías de producción, los nuevos materiales y la informática.
- Uso predominante de las tecnologías en el campo de la educación e innovación sin penetrar en el tejido industrial.

Aporta conocimientos para:	#21 Šimek, M., Kořený, A., Sebera, V., Tippner, J., & Dlahý, Z. (2014); #22 Šimek, M., Dlahý, Z., Sebera, V., Novák, V., & Adam, A. (2015); y #28 Šimek, M. (2017).
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	Sí/No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	Sí/No

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #21 Šimek, M., Kořený, A., Sebera, V., Tippner, J., & Dlahý, Z. (2014); #22 Šimek, M., Dlahý, Z., Sebera, V., Novák, V., & Adam, A. (2015); y #28 Šimek, M. (2017).

- **TRANSFERENCIA:** Propicia la transferencia de conocimiento gracias al registro de un método de análisis de esfuerzos de las partes de un mueble, fácil de aplicar por empresas a productos industriales.
- **DOCENCIA:** Su método es fácilmente replicable en disciplinas de diseño de mobiliario, en centros con la tecnología necesaria para el análisis de los datos.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se evidencia una metodología de colaboración con empresas privadas, pero sí plantean una manera de conexión con ellas, mediante el llamamiento del uso del método para predecir posibles errores.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No se evidencia ninguno.
- **SOSTENIBILIDAD:** No se justifica con datos específicamente sino preconizando el empleo del método que aportaría muchos beneficios, lo cual implica su sostenibilidad.

2.9.7. #30. (2018) Experimental Development of Wood Products

# 30 2018	Experimental Development of Wood Products	Šimek, Milan	Mendel University Czech Republic
--------------	---	--------------	-------------------------------------

Šimek, M. (2018). Experimental Development of Wood Products. In *11th International Scientific Conference WoodEMA 2018. Increasing the Use of Wood in the Global Bio-Economy*, 253-258, 26-28 September, Belgrade, Republic of Serbia.

Se concluye esta relación de investigaciones con la presencia común de Šimek en todas ellas, con otro artículo publicado en la misma institución, en la conferencia del año siguiente WoodEMA 2018, celebrada en Belgrado, Serbia. El artículo "Experimental Development of Wood Products" describe y explica las tendencias del momento sobre desarrollo de producto en madera, en particular los producidos con tecnología CNC. Refieren las numerosas ventajas competitivas que aporta a todo tipo de productores.



Izquierda: Lobbyist chair y derecha Rocker de Dominik Lutz. Mobiliario considerado en Šimek, M., 2018.

Interés del trabajo de investigación

El mayor interés de este último estudio estriba en los ejemplos de diseños de mobiliario realizados con estas tecnologías, cuya consulta se considera recomendable para los interesados. El artículo, más teórico, trata de divulgar el uso de las fresadoras CNC de 3 ejes en docencia y sus beneficios, en la línea de los anteriores trabajos. Amplía el tipo de muebles conceptuales a realizar, como los NTR. Por lo tanto, se engloba en la Categoría 2, muy relacionada con la Categoría 3 debido a su interés por el del diseño estético.

Datos bibliométricos

Este artículo está indexado en Scopus y WoS y no obtiene cita alguna. Se investiga en el mismo Departamento de mobiliario de los dos anteriores. También fue publicado en la misma Asociación ya señalada anteriormente, en esta ocasión al año siguiente, WoodEMA 2018. Tampoco se encuentra indexada la conferencia en Scopus, pero sí en WoS. Su título es *11th Annual International Scientific Conference on Increasing the Use of Wood in the Global Bio-Economy, WoodEMA 2018*. Se celebró en el mes de septiembre en Belgrado. En WoS figuran indexadas 47 publicaciones de esa conferencia cuyas temáticas registradas pertenecen a Ingeniería de la producción y a Ciencias Forestales y economía; casi todas las universidades que se presentan son de Europa del Este, mayoritariamente la universidad de Zvolen, TUZVO de la que se tratará más adelante. Este artículo se localiza en las búsquedas secundarias realizadas en esta Tesis y no posee citas en ninguno de los buscadores consultados. En la bibliografía de este artículo se encuentra citado el trabajo de Haviarova (2011).

Principales aportaciones

- Muestra las innovaciones de diseño de mobiliario con madera producido con CNC de 3 ejes empleando el mínimo equipo de uniones.
- Conceptos contemporáneos de producción avanzada gracias a la tecnología CNC, muebles RTA y nuevos materiales compuestos de madera.
- Los muebles RTA con CNC 3 ejes como ventaja competitiva ya que reduce costes de producción por la simplificación de los procesos de ensamblaje
- Los muebles RTA sin CNC 3 ejes como desventaja por tener uniones plásticas o metálicas no sostenibles.
- Pese a coste de adquisición alto retorno de la inversión.
- Fomento del NTR o mobiliario nómada que no requiere herramientas para su ensamble ni dispositivos de unión.

- Relación de diseños innovadores que manifiestan estos conceptos y su tecnología.
- Contribución a la presentación de un nuevo programa de producción de mobiliario como opción basada en nuevas tecnologías, creatividad e innovación.
- Aconseja equilibrio entre factores estratégicos como innovación en producción, competitividad y flexibilidad entre las compañías de mobiliario para tener éxito.
- Uso exclusivo de las técnicas desarrolladas en cursos docentes y rara vez en empresas de mobiliario.
- Se requiere un complejo conocimiento sobre creación de mobiliario, con técnicas de diseño, modelado virtual, prototipado, producción y ensamblajes.

Aporta conocimientos para:	#30 Šimek, M. (2018)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí/No
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #30 Šimek, M. (2018).

- **TRANSFERENCIA:** Propicia la transferencia de conocimiento gracias al registro de las muestras experimentales de diseños de muebles innovadores realizados con CNC de 3 ejes.
- **DOCENCIA:** No específicamente, pero los conocimientos de nuevos conceptos de mobiliario fomentan la enseñanza de las tecnologías CNC de 3 ejes.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se evidencia una metodología de colaboración con empresas.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No se evidencia planteamientos de talleres que fomente el uso de CNC de 3 ejes.
- **SOSTENIBILIDAD:** No se justifica con datos específicamente sino con el uso de las tecnologías, que reduce costes de producción por la simplificación de los procesos de ensamblaje no contaminantes.

2.9.8. Principales aportaciones del Mendel University Group

A medida que se van publicando los ocho artículos que se han seleccionado de este Grupo sobre esta temática, se va cambiando de enfoque paulatinamente. Comienzan con dos muy técnicos, muy centrados en su disciplina específica, ya que se basan en el estudio de un ensamblaje de cola de milano realizado con CNC de 3 ejes, utilizando como análisis el Método de Elementos Finitos

(FEM). El siguiente es más pedagógico; basándose en el estudio anterior se diseña una silla. Se considera de interés debido a su enfoque tan didáctico para docencia, tras la descripción ordenada de los distintos pasos a seguir para su construcción con esta tecnología.

En el de 2013 profundiza bastante en terminología que, si bien ya nombraba en los primeros, va adquiriendo más importancia, como son los muebles *flat pack* y RTA, y que seguirá perfilando en los siguientes artículos. En los tres estudios siguientes de 2014, 2015 y 2017, vuelven a publicar con enfoques muy técnicos, pasando de los meros estudios de ensambles del principio, a analizar la estructura completa de una silla que se diseña y corta con tecnología digital. El artículo final se apoya en todos los anteriores, profundizando o enfatizando en varios de los conceptos expuestos, de una manera algo más teórica y aportando ejemplos prácticos de mobiliario realizado con esta tecnología.

Como se ha mencionado, llama la atención de este Grupo que, procediendo de la disciplina de la ingeniería de la madera, tenga muchas aportaciones teóricas en las que persiguen justificar el uso de esta tecnología para mejorar el diseño de mobiliario y una transferencia de conocimiento que pretenden expandir a otras disciplinas. Incluso se interesan por lo estético ya que también llegan a afirmar sobre el potencial de diseños más orgánicos para tratar de huir de las formas rígidas.

En todo momento exponen las ventajas y los beneficios que aporta diseñar con esta tecnología, en la que publicación a publicación van sumando argumentos tanto técnicos como pedagógicos para justificar su uso. En casi todas sus investigaciones llaman la atención para que esta técnica no solo se quede en el ámbito de la formación, sino que trascienda de manera contundente al campo de la industria, ya que la introducción de esta innovación en ambos campos aumenta la competitividad y obtiene muchos beneficios que se han probado y expuesto. Es muy clara la contribución de este grupo a la transferencia de esta tecnología beneficiosa para el diseño de mobiliario.

Aportaciones

Aporta conocimientos para:	#11, #12, #13, #19, #21, #22, #28 y #30. Mendel University Group
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	Sí
Talleres de trabajo	Sí/No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #11, #12, #13, #19, #21, #22, #28 y #30. Mendel University Group.

- **TRANSFERENCIA:** Es clara la contribución de este equipo a la transferencia de conocimiento sobre ensambles digitales y fabricación de mobiliario con CNC de 3 ejes con sus aportes.

- **DOCENCIA:** No aparecen guías como tal para poder replicar en docencia la metodología de fabricación digital pero los conocimientos que aportan de nuevos conceptos de mobiliario fomentan la enseñanza de las tecnologías CNC de 3 ejes verificando que ayuda a la Docencia.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se evidencia una metodología de colaboración con empresas privadas, pero sí plantean algunas maneras de conexión con ellas en algunos artículos.
- **TALLERES DE TRABAJO:** Se podría plantear un posible taller gracias al registro de la construcción experimental de una silla con CNC de 3 ejes en el último artículo de 2010. En los demás, no hay evidencias para poder realizar alguno con el fin de entender mejor la tecnología de fabricación digital.
- **SOSTENIBILIDAD:** Existen varias justificaciones que sustentan el uso de la tecnología CNC en todos los artículos. No de manera científica mediante contraste de datos, pero sí por medio de la aportación de textos sobre sostenibilidad.

2.10. (2011-2017) Grupo AtFAB at University of Kentucky (AtFAB at UK). USA

2.10.1. Introducción

Tras exponer los trabajos publicados por el Grupo de Mendel University en el área de este estudio, cuyo primer trabajo está fechado en 2010, retomamos el año 2011 que es la fecha de aparición de los trabajos indexados de otro nuevo equipo de investigación, con tres publicaciones remarcables desde el punto de vista didáctico de la investigación. Por ello, cualquiera de las tres publicaciones puede considerarse englobada, mayoritariamente, en **Clasificación 2**, con incursiones en **Clasificación 3**, debido a la constante presencia del diseño estético, como germen del proyecto según los parámetros de esta Tesis. A medida que van pasando los años se van sumando universidades, que adquieren y que experimentan con estas máquinas, a través de las cuales es posible conocer sus limitaciones previas, para tratar de implementarlas en un proceso de diseño. El proceso transcurre en paralelo, y se retroalimenta, con la irrupción tan significativa del uso de internet, desarrollo de programas de diseño y desarrollo de la velocidad por parte de los ordenadores en el procesamiento de datos.

Comienza hacia 2011 toda esta innovación tecnológica, irrumpiendo de manera transversal en todos los ámbitos del conocimiento y de la sociedad. Tomando los mencionados parámetros de innovación tecnológica, que van a jugar un papel crucial para el diseño, este nuevo equipo propone y desarrolla un proyecto piloto que, en sus bases, tiene mucha relación con lo que planteó Gros en el C-Lab at HfG, pero con mucho más recorrido por la evolución de la técnica, transcurridos más de 15 años después de los alemanes. De los cinco Grupos de Investigación localizados, C-Lab y AtFAB at UK son los únicos que provienen de entornos enteramente relacionados con las Humanidades, mientras que los otros tres Grupos de Investigación vienen de áreas de conocimiento más técnicas como lo son las ciencias de la madera.

Interés de AtFAB at University of Kentucky (AtFAB at UK)

Dentro de los grupos de investigación relacionados con el diseño estético es éste el que más ha adelantado en cuanto a propiciar y transferir las tecnologías de fabricación digital para diseño de mobiliario. Su proyecto piloto, tanto con sus dos primeros artículos teóricos que explican el contexto de lo que van a desarrollar, como su última aportación con el libro, constituyen documentos de gran ayuda, bien para docentes que quieran implementar estas tecnologías en sus departamentos, bien para curiosos en la materia. Registra abundante contenido técnico, y consejos para la fabricación de muebles, exclusivamente desde la mirada de un diseñador adaptada a sus capacidades. Se podrían clasificar tanto en Categoría 2 como en la 3.

Datos bibliométricos

Este grupo de investigación pertenece a University of Kentucky, en color marrón de fondo en la Tabla. La universidad tiene 30.470 alumnos, y tanto en Scopus como en WoS, este centro no tiene una página de la universidad que se encuentre indexada con resultados de investigaciones a poder consultar. Los autores que se repiten en los tres trabajos seleccionados son dos arquitectos. Una es Anne Filson que posee tres trabajos indexados: dos son los recogidos en esta investigación y otro que no tiene que ver con esta área. Y Gary Rohrbacher que posee dos trabajos indexados, también recogidos en esta investigación. No se han encontrado más investigaciones firmadas por los autores mencionados en los buscadores científicos consultados.

2.10.2. #14. (2011) Design Offered Up: Control and Open Outcomes in a Digitally Enabled Design Process

# 14 2011	Design Offered Up: Control and Open Outcomes in a Digitally Enabled Design Process	Filson, Anne Rohrbacher, Gary	AtFAB at UK USA
--------------	--	----------------------------------	--------------------

Filson, A., & Rohrbacher, G. (2011b). Design offered up: control and open outcomes in a digitally enabled design process. In Luo, Y (Ed.) *Cooperative Design, Visualization, and Engineering. 8th International Conference, CDVE 2011, 7-13, 11-14 September, Hong Kong, China.*

En 2011, se edita la ponencia “Design Offered Up: Control and Open Outcomes in a Digitally Enabled Design Process”. Presenta el diseño de una línea de muebles y objetos fabricados digitalmente, y personalizables aprovechando tecnologías paramétricas y las redes sociales, como vehículo para producir un flujo de trabajo de fabricación digital altamente colaborativo. Este concepto de redes sociales, tras leer e interpretar el texto, tiene una acepción de intercambio de archivos digitales por internet; no se habla de una plataforma o red específica tipo Instagram o Facebook, como sería entendido hoy en día. Se trata de una web que pone en relación a productores de CNC con diseñadores. A esto se refieren los autores al definir esta web como red social.

El proyecto es una forma de trabajo en red que denominan multiagente. Consiste en diseñar muebles de forma que, con solo las indicaciones de los archivos y comentarios, cualquier productor en otra parte del mundo interpretará exactamente lo mismo para poder producirlo sin dudas ni errores. De esta manera comprobaban la viabilidad de construirlos. El sistema tiene gran similitud con lo que realizó C-Lab, pero en este caso dan un paso más, aportando información adicional que no desarrollaron, o no explicaron, los alemanes en sus escritos.

Esta vinculación a una fabricación a través de una red distribuida de pequeños fabricantes conlleva una forma de producir más óptima suplantando a un único gran fabricante. Este sistema lo presentan como un desafío a al arquitecto profesional puesto que tratan de mezclar las capacidades de transacción de flujos de trabajo con los que suelen tratar, junto a la creación de objetos mediante innovaciones digitales recientes. Afirman que responderán mejor a demandas cada vez más complejas de la sociedad, mediante el uso de estas herramientas para diseñar y de este entorno de relaciones en red.



Algunos muebles resultantes con sus criterios programáticos. AtFAB. En Filson, A. y Rohrbacher, G. (2011b).

Interés del trabajo de investigación

Interesa toda la explicación teórica y logística que plantea el equipo para poder desarrollar este tipo de diseño de mobiliario. En esta etapa no definen ni formas generales de muebles ni tipos de ensambles, únicamente están estableciendo las relaciones necesarias y el flujo de trabajo que posibilite esta línea de muebles en red. Quedaría clasificado en Categoría 2 puesto que interesa

toda la base teórica que hay que tener en cuenta, previa al diseño de una línea de muebles, susceptible de mostrar como pedagogía en docencia.

Datos bibliométricos

Este artículo se publicó tras la “8th International Conference on Cooperative Design, Visualization, and Engineering” (CDVE), realizada en Hong Kong. Esta conferencia no se encuentra indexada en los buscadores. Realmente se publicó la investigación en la revista *Lecture Notes in Computer Science* con un índice de impacto ese año de Q3 en la categoría de Ciencias de la Computación. Se localizó en búsquedas secundarias de esta Tesis profundizando en los perfiles académicos de los autores. Se encuentra indexado en Google Académico con 4 citas, Scopus con 2 citas y WoS con 2 citas. Llama la atención cómo este artículo que proviene del ámbito del diseño estético se encuentre en esta área de trabajo tan específica y que no haya tenido repercusión aparente debido a que se estaban conectando dos áreas de conocimiento, poco común encontrar en aquel año.

Principales aportaciones

- Proyecto piloto que presenta el diseño de una línea de muebles y objetos fabricados digitalmente y personalizables, aprovechando tecnologías paramétricas y las redes sociales, como vehículo para producir un flujo de trabajo de fabricación digital altamente colaborativo e iterativo.
- Forma de producción óptima, vinculando una fabricación en red distribuida de pequeños fabricantes “suplantando” a un único gran fabricante.
- El diseño con herramientas digitales en un entorno de relaciones en red conlleva resultados que responden mejor a demandas cada vez más complejas de la sociedad.
- Modelo de trabajo que resitúa las funciones del arquitecto, habituado a gestionar sus capacidades de transacción de flujos de trabajo entre distintos gremios, que puede aprovechar el conocimiento de otros para producir mejores diseños.
- Las innovaciones digitales que abarcan la construcción de la información de un modelo virtual, la fabricación digital y las redes sociales como vehículos de interacción con los usuarios, cambiarán el método de diseño. El diseñador proyecta tanto el objeto como su proceso de producción.
- La línea de muebles de AtFAB buscó abarcar la más amplia gama de objetos, con el sistema más simple posible y que fueran susceptibles de transformaciones dimensionales, controladas paramétricamente, que permitan soluciones muy versátiles.
- Recogen una serie de pautas comprobadas durante el proyecto, para la simplificación máxima de los archivos de los diseños que habrán de ser interpretados por los productores de los muebles, evitando errores de interpretación.
- Pautas: reducir cortes a orificios, cortes internos y cortes externos; adjuntar archivos de pequeñas instrucciones, pequeñas piezas de prueba, uso de un solo tipo de ensamble completamente intuitivo, grabado de pictogramas explicativos en las superficies para el montaje por parte de los usuarios.

- Procesos de iteración con los usuarios mediante simulación virtual de modelos de muebles en 3D con transformaciones virtuales animadas. La interfaz que se desarrolle permitiría comentario del usuario según sus necesidades para un diseño mejorado. Éste podrá descargarse los archivos de su configuración.
- Intenso esfuerzo de diseño estratégico, renunciando a parte del alcance de la forma final, ya que no diseñan preconcebidamente una morfología exacta, sino que por medio de la suma de parámetros y condicionantes, cada usuario, con sus necesidades, obtendría un tipo de mueble del que a priori no conocemos su forma final.
- Planteamientos de parámetros futuros a introducir en la interfaz como la visualización del material y coste a tiempo real.
- Sistema que fomenta mínimo movimiento entre materiales a favor de un movimiento de datos vía internet, enfocado a una red de pequeños fabricantes locales individuales que fomentan un trato más personal.

Aporta conocimientos para:	#14 Filson, A., & Rohrbacher, G. (2011)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	Sí
Talleres de trabajo	Sí/No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #14 Filson, A., & Rohrbacher, G. (2011).

- **TRANSFERENCIA:** Contribución de este equipo a la transferencia de conocimiento mediante la presentación de los resultados del proyecto del diseño de la línea de muebles para fabricar con CNC de 3 ejes.
- **DOCENCIA:** Además del desarrollo teórico del proyecto, sus aportaciones para la simplificación de archivos para producción CNC de 3 ejes, fomenta el uso de esta tecnología. Materiales que sirven en contextos y objetivos educativos.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** Se evidencia una metodología de colaboración con empresas privadas y relatan algunos pasos para trabajar con ellas durante el desarrollo del proyecto.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No hay referencia a un taller de trabajo específico para fomentar el uso de la tecnología.
- **SOSTENIBILIDAD:** El proyecto en sí es sostenible por cómo se aborda de manera integral la concepción del mismo. Lo más novedoso es que los datos son los que viajan por internet, y no los materiales en centros de producción local individualizados, frente a grandes empresas centralizadas.

2.10.3. #15. (2011) Design intercalated: The AtFAB project

15
2011

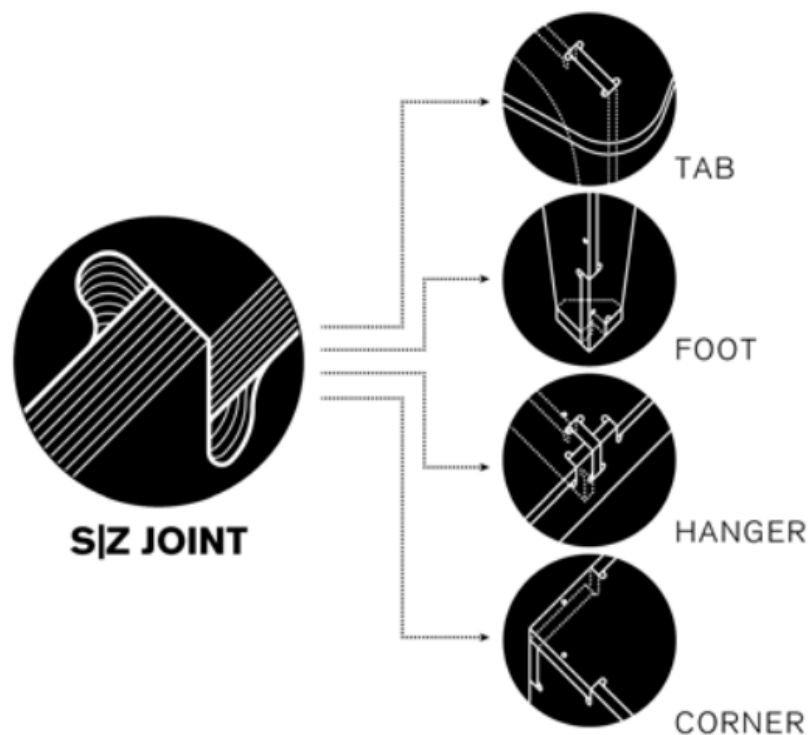
Design intercalated: The AtFAB project

Filson, Anne
Rohrbacher, Gary

AtFAB at UK
USA

Filson, A. y Rohrbacher, G. (2011a). Design intercalated: The AtFAB project. *International Journal of Design Sciences and Technology*, 18(2), 81-93.

Unos meses después de la publicación del anterior artículo de Filson, A., y Rohrbacher, G. que se acaba de analizar, los mismos autores presentan “Design intercalated: The AtFAB project” (2011). Se trata en esencia el mismo proyecto, con mayor perspectiva y con más reflexiones teóricas que permiten una visualización mejorada, más completa. En el anterior artículo se centraban en una descripción exhaustiva de la realización de cada una de las fases del proyecto, así como de cualquier problemática que impidiera su objetivo final. En éste se centran en contextualizar y reflexionar sobre la experiencia del trabajo anterior. Sus propuestas resultan más claras, sumando los resultados obtenidos en ambos.



Ensamble S/J. AtFAB. En Filson, A. y Rohrbacher, G. (2011a).

Sus conclusiones fueron presentadas en este tipo de encuentros entre investigadores y pensadores, para recibir nuevas ideas y ponerlas en común con la comunidad científica, divulgando además sus propios descubrimientos. Este segundo artículo enlaza con el ámbito del diseño de producto o mobiliario, replicable a gran escala en el campo del diseño, como puede ser en la arquitectura.

Interés del trabajo de investigación

Interesa, de la misma manera que el anterior, la explicación teórica y logística que plantea el equipo para poder desarrollar este tipo de diseño de mobiliario. En esta etapa no definen ni formas generales de muebles ni tipos de ensambles, únicamente están estableciendo las relaciones necesarias y el flujo de trabajo que posibilite esta línea de muebles en red. Es similar al

anterior, en cuyas ideas profundizan. Quedaría clasificado en Categoría 2, por su base teórica previa al diseño de una línea de muebles, susceptible de mostrar como pedagogía en docencia.

Datos bibliométricos

Este artículo se publicó en la revista *International Journal of Design Science and Technology* que se encuentra indexada en Scopus en el área de Ingeniería General, pero sin poseer índice de impacto en 2011, año de su publicación y por tener una referencia en 2020 obtuvo un índice de impacto Q1. También se localizó este artículo en búsquedas secundarias. El artículo aparece indexado en Google Académico con 3 citas y en Scopus con 2 citas. Al igual que el anterior, llama la atención cómo este artículo que proviene de investigadores con perfiles del ámbito del diseño estético se encuentre en esta área de trabajo tan específica y que no haya tenido repercusión aparente debido a que se estaban conectando dos áreas de conocimiento, poco común encontrar en aquel año.

Principales aportaciones

Entre las ideas principales del artículo se destaca:

- La irrupción de las técnicas digitales en todas sus vertientes produce una revolución en las capacidades de diseñadores y arquitectos, comenzando a gestionar la mayoría de los procesos de diseño: realizar morfologías sin precedentes, introducir flujos de trabajo novedosos en la construcción y entrega, redefinir las colaboraciones con todos los agentes que intervienen.
- Con este proyecto pretenden facilitar el diseño por relaciones sistémicas en red, con conexiones complejas controladas con herramientas digitales que lo simplifican. Proponen el diseño de un sistema de mobiliario y demuestran un cambio en el pensamiento del diseño que es considerado como una parte del todo, impulsando mediante conceptos como emerger, la organización en red y el diseño de código abierto como método participativo.
- Línea de muebles ecológicamente racionales, personalizables y fabricados digitalmente.
- El sistema depende de la transición de información y no del transporte del material. Se pasa de un solo fabricante multinacional completo a una red sólida de pequeños fabricantes locales individuales.
- AtFAB aún: productos realizados con materiales laminados disponibles en todas partes, proliferación de fresadoras CNC de 3 ejes, redes sociales y plataformas compartidas que conectan a fabricantes digitales profesionales y del bricolaje, con consumidores locales mediante proyectos en línea, realizados bajo demanda en cualquier momento.
- Proceso de entrega en red que comunica al diseñador con el usuario receptor, facilitando un diseño empático y participativo, centrado en el usuario del cual se obtiene información para priorizar las necesidades y los usos del propio proceso de diseño.
- Diseñan una junta (S/Z) como componente elemental, intercalado en la construcción, permitiendo un ensamble simple y duradero que se agrega para formar construcciones múltiples, definidos por conjuntos de criterios básicos

combinables con dicha junta. Desarrollan doce muebles con posibilidad de crecimiento modular y dimensional.

- Diseño evolutivo: una estrategia de diseño abierto resistente y adaptable puede abordar áreas reconocidas de indeterminación, ya que el diseñador no puede conocer todas las interpretaciones ni anticipar cómo evolucionarán inevitablemente las condiciones prevalecientes.
- Las herramientas paramétricas pueden generar conocimiento útil sobre necesidades y deseos que permiten medir múltiples aspectos y recopilar patrones de las tendencias durante el proceso de personalización: qué piezas, espesores, dimensiones, formas, son preferibles; dónde, cuándo y cuántas piezas se descargan.
- AtFAB no se centra en una propuesta para el mejor diseño de muebles sino en un esfuerzo por proporcionar un diseño de muebles que sea el mejor para la mayoría.
- Se está produciendo un cambio lento en la educación arquitectónica centrada en el objeto y los planes de estudios de diseño, como lo demuestra el creciente número de programas interdisciplinarios y transdisciplinarios.

Aporta conocimientos para:	#15 Filson, A. y Rohrbacher, G. (2011)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	Sí
Talleres de trabajo	Sí/No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #15 Filson, A. y Rohrbacher, G. (2011).

- **TRANSFERENCIA:** La mayor contribución de este equipo a la transferencia de conocimiento es la materialización de un sistema de trabajo colaborativo mediante las redes sociales.
- **DOCENCIA:** Además del desarrollo teórico del proyecto, su aporte sobre una nueva estructura de relaciones que se establecen entre diseñador, productor y cliente supone una nueva manera de entender el diseño, de gran valor para utilizarlo en docencia. Material que sirve en contextos y objetivos educacionales.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** Se establece con este proyecto un sistema de colaboración directo entre empresas mediante las redes.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No hay propuesta de un taller de trabajo específico para fomentar el uso de la tecnología, pero sí se menciona el beneficio de participar en

exhibición de prototipos para obtener una experiencia de usuario más abierta al público en general, que no accede por medio de redes.

- **SOSTENIBILIDAD:** El proyecto en sí es sostenible por cómo se aborda de manera integral la concepción del mismo. Lo más relevante es que los datos son los que “viajan” por internet y no los materiales en centros de producción local individualizados, frente a grandes empresas centralizadas.

2.10.4. #27. (2017) Design for CNC: Furniture Projects and Fabrication Technique

# 27 2017	Design for CNC: Furniture Projects and Fabrication Technique	Rohrbacher, Gary Filson, Anne	France, Anna Kazianas Young, Bill	AtFAB at UK USA
--------------	--	----------------------------------	--------------------------------------	--------------------

Rohrbacher, G., Filson, A., France, A. K., & Young, B. (2017). *Design for CNC: Furniture Projects and Fabrication Technique*. Maker Media.

El gran trabajo de este equipo de profesores de la Universidad de Kentucky culmina, en lo que a este proyecto se refiere, con un libro publicado en 2017 en el que se relata todo lo que un usuario debe saber para diseñar y producir con tecnología CNC de 3 ejes. “Design for CNC: Furniture Projects and Fabrication Technique” introduce la mayoría de los muebles diseñados en AtFAB explicando todos los procesos a seguir hasta su montaje de manera práctica.

Al tratarse de un libro no se dispone de los datos bibliométricos correspondientes.



Imagen de cubierta de *Design for CNC: Furniture Projects and Fabrication Technique*. Rohrbacher, G., Filson, A., France, A. K., & Young, B., 2017.

Interés del libro

Prácticamente el interés de su contenido se considera dentro de los imprescindibles. Aportan documentación de inestimable ayuda, tanto para docentes que quieran implementar estas tecnologías en su departamento como para curiosos en la materia. Registra abundante contenido técnico, teórico y consejos para la fabricación de muebles, exclusivamente desde la mirada de un diseñador y sus capacidades, con frecuencia de escaso contenido técnico. Así pues, se podría clasificar tanto en Categoría 2 como en Categoría 3. El título del libro es fácilmente localizable en internet en portales no académicos.

Resumen de las contribuciones más relevantes de Design for CNC a este conocimiento

A lo largo de sus capítulos se hace un recorrido completo de lo que abarca la totalidad del proyecto, de un gran valor tanto metodológico para docencia como de contribución a una transferencia completa del conocimiento sobre diseño y producción de mobiliario CNC de 3 ejes. De gran relevancia en este documento son, por una parte, los ejercicios prácticos que se plantean desde cero, con programas de diseño CAD, hasta las últimas configuraciones de los programas de mecanizado CAM, y por otra parte, los comentarios y consejos prácticos sobre gran variedad de temas como materiales, herramientas, trucos de fresado, etc, lo cual no es frecuente encontrar en este tipo de textos, y que aportan incuestionable valor para el conocimiento de los pormenores de este tipo de fabricación.

A través de 16 capítulos y 3 apéndices comparten su conocimiento sobre diseño y producción de mobiliario con fresadoras CNC de 3 ejes:

Parte I:

-Capítulo 1: Es una introducción sobre el proyecto, que describe la mayoría de las cuestiones ya estudiadas en sus dos anteriores artículos. Presentan numerosos conceptos con base teórica, como las posibilidades potenciales de un nuevo sistema de producción local, beneficios de la tecnología, sostenibilidad, etc.

-Capítulo 2: Profundiza en los tipos de máquinas CNC, ejercicios prácticos para comenzar a dibujar en digital, explican sus ocho condiciones de uniones, sus cuatro tipos de ensamble, sus configuraciones estructurales, la iteración como método de constante mejora de los diseños y la presentación de los ocho muebles que se van a estudiar en sucesivos capítulos.

-Capítulo 3: Explicación de la metodología para un perfecto orden y estructura de un archivo informático para la producción con fabricación digital y sus pormenores.

-Capítulo 4: A través del ejemplo de un banco, familiarizarse con el sistema de trabajo.

Parte II:

-Capítulo 5: Ajustes previos para un buen mecanizado. Consejos sobre el material, ajustes previos para el control de los encajes y tolerancias.

-Capítulo 6: Todo tipo de información para el mecanizado: velocidades de alimentación, de rotación, y demás; partes de una fresadora, sujeción del material, tipos de fresas, control de la viruta para entender posibles anomalías durante el fresado, etc.

-Capítulo 7: Explicación del programa y parámetros para preparar el archivo para fresar.

-Capítulos 8 y 9: contienen los diferentes ejercicios con cada uno de los muebles.

Parte III:

-**Capítulos 10 y 11:** se centran en técnicas de fabricación para niveles intermedios.

Parte IV:

-**Capítulos 12 a 14:** Se trabaja con transformaciones paramétricas siendo posible personalizar tamaños y formas del diseño.

Parte V:

-**Capítulo 15 y 16:** Abordan las partes que se mueven y las estructuras grandes, y se culmina con un ejercicio que incluye múltiples tableros.

-**Apéndice A:** Incluye referencias de autores que trabajen con esta tecnología y otras informaciones de interés.

-**Apéndice B:** Informaciones relativas a los recursos de los materiales a utilizar.

-**Apéndice C:** Recursos para localización de proveedores de CNC, fresas, calculador de viruta, etc.

Principales aportaciones

Aporta conocimientos para:	#27 Rohrbacher, G., Filson, A., France, A. K., & Young, B. (2017) Design for CNC
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	Sí/No
Talleres de trabajo	Sí
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #27 Rohrbacher, G., Filson, A., France, A. K., & Young, B. (2017), *Design for CNC*.

- **TRANSFERENCIA:** Es uno de los documentos localizados, si no el más, que mayor transferencia de conocimiento proporciona por su contenido claro, con un lenguaje preciso, dirigido específicamente a diseñadores, con muchos casos prácticos replicables.
- **DOCENCIA:** Igualmente es el documento, entre los localizados, más idóneo para una docencia práctica, por la documentación aportada y por la forma de plantear los ejercicios perfectamente comprensibles y replicables.

- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se profundiza específicamente en tal colaboración, pero deja una metodología bien clara y preparada para poder adaptarla por empresas y nuevos emprendedores.
- **TALLERES DE TRABAJO:** El sistema empleado en cada uno de los ejercicios posibilita establecer talleres de trabajo, replicables para docencia y para interesados, con el fin de entender mejor la tecnología de fabricación digital.

SOSTENIBILIDAD: Existen continuas justificaciones que sustentan el uso de la tecnología CNC y de los materiales aptos para su corte, sistemas de optimización del material, forma de corte, y diversos recursos que se plantean para una sostenibilidad integral del proyecto.

2.10.5. Principales aportaciones del Grupo AtFAB at University of Kentucky (AtFAB at UK)

Las dos primeras publicaciones de este grupo son artículos basados en el proyecto piloto que estaba desarrollando el equipo sobre la línea de muebles fabricados digitalmente y que utilizan las redes sociales como vehículo para producir un flujo de trabajo colaborativo e iterativo. Los dos son de similar contenido, según ya se ha dicho, puesto que tratan de explicar los condicionantes y dificultades con los que han tenido que lidiar para poder sacarlos adelante. El primero, aunque argumenta objetivos comunes a conseguir, centra su enfoque en lo más objetivo y realista del proyecto, mientras que el segundo se focaliza más en la filosofía del mismo. Así y todo, establecer una diferencia precisa entre ambos no resulta fácil. Los dos artículos pretenden remarcar la figura de los arquitectos y diseñadores como agentes coreógrafos de un proceso de diseño en el que intervienen otros que han de estar alineados. Siempre defendiendo una producción, sostenible en red, de pequeños fabricantes, ayudados por los beneficios de la tecnología digital en sus más amplias posibilidades.

Sin lugar a dudas puede reiterarse que, *Design for CNC* constituye un documento, quizás el más completo, para aprender a diseñar y fabricar con CNC de 3 ejes. Siempre desde la vertiente del diseño estético ya que no se introduce método alguno contrastado que verifique tanto la resistencia de los ensamblajes como el objeto entero, más allá del sentido común y resultados de los primeros muebles montados. Registran todo tipo de explicaciones técnicas y consejos, circunscritos únicamente a fabricar mobiliario con estas tecnologías de manera práctica y didáctica.

Aportaciones

Aporta conocimientos para:	#14, #15, #27. AtFAB at University of Kentucky Group
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	Sí/No
Talleres de trabajo	Sí
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #14, #15, #27. AtFAB at University of Kentucky Group.

- **TRANSFERENCIA:** Los dos primeros artículos fomentan una transferencia de conocimiento de las grandes posibilidades que tienen las tecnologías digitales. El último trabajo es el de mayor transferencia puesto que materializa de forma práctica la aplicación de los conceptos.
- **DOCENCIA:** Los tres trabajos son indicados para docencia, y más el último, aplicable de una forma práctica y directa, sin precedentes.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** Se establece en los dos primeros trabajos un sistema de colaboración directo entre empresas mediante las redes y en el tercero, el libro, se presentan numerosos ejercicios prácticos susceptibles de replicar para poder adoptarla por las empresas.
- **TALLERES DE TRABAJO:** En los dos primeros no, pero el último propicia la posibilidad de establecer talleres de trabajo perfectamente replicables tanto para docencia como para interesados.
- **SOSTENIBILIDAD:** en los tres trabajos existen continuas justificaciones que sustentan el uso de la tecnología CNC como de los materiales aptos para su corte, sistemas de optimización del material, forma de corte y diversos recursos que se plantean para una sostenibilidad integral del proyecto.

2.11. Creadores y autores citados en *Design for CNC*

Una vez finalizada esta revisión sobre el libro *Design for CNC*, se va a proceder a revisar los autores y/o diseñadores más relevantes que se citan aquí.

Entre los más relevantes destacan figuras como Ronen Kadushen que fue pionero presentando una colección de mobiliario compartido en 2005 a través de *Open Design Manifesto*. Greg Saul y Tiago Rorke de la empresa Diatom Studio sacaron en 2011 el artículo, *SketchChair*, una silla junto con un software que permite a cualquiera personalizarla, descargarla y fabricarla con sus propias modificaciones. Dicho artículo que se analizará más adelante. En esta época el renovado estudio danés de diseñadores colectivos, Droog, apoya un equipo de diseñadores en el desarrollo de *Design for Download* consistente en una línea comercial de mobiliario acompañada de una plataforma interactiva que introducía a los usuarios en el proceso de diseño. Jens Dyvik que desarrolla por medio de Rhinoceros y el *plug in grasshopper* la personalizable *Layer Chair*. Otro hito muy relevante para este campo que recogen es en 2013 cuando Joni y David Steiner colaboraron con Nick Ierodiaconou para diseñar varias piezas para el lanzamiento de Opendesk (2.11.4.).

2.11.1. Ronen Kadushin

Uno de los primeros diseñadores que se mencionan en el apartado final del primer capítulo de *Design for CNC*, al realizar un breve repaso sobre mobiliario CNC, es Ronen Kadushin. Consideran que fue pionero al presentar una colección de diseños digitales de mobiliario compartido en 2005. Se ha comprobado que, de este autor, no existen registros en las plataformas de búsqueda científica, por lo que se ha obtenido información sobre sus trabajos, en redes y en una web propia, con toda su aportación al mobiliario además del texto escrito de su *Open Design Manifesto* (<https://www.ronen-kadushin.com/open-design-manifesto>).

Aunque carece de aportaciones académicas, bajo los requisitos de publicación científica, se introduce en el mundo del diseño, con aportaciones propias de gran interés, y en particular en mobiliario, coincidente con las premisas de esta Tesis sobre producción digital. Posee una web a su nombre en la que figura la mayor parte de la información para estudiar su perfil. Es un diseñador y docente israelí afincado en Berlín. En su biografía se muestra su dilatada participación profesional en exhibiciones, docencia, conferencias, publicaciones escritas y premios.

En 2004 desarrolla *Open Design concept* (Diseño abierto), como parte de su Tesis de máster, que se ha convertido en centro de su trabajo creativo. Lo primero que publicó, como se indica en *Design for CNC*, fue en 2005, Diseños Abiertos listos para ser descargados, y desde entonces ha tratado de expandir su creatividad de la misma manera, compartida. Su posición ante el diseño se encuentra recogida en su manifiesto, el cual puede leerse en la misma web. En él plasma sus puntos de vista, entre otros, cree que los productores tienen el poder de controlar todos los aspectos de un producto, (también lo escribía así Tannert y Šimek, como ya se ha mencionado) de tal manera que irrumpen en la creatividad del diseño no siendo ésta libre; este poder, dice, se instauro incluso en los sistemas de educación de diseño industrial. Compara con otros campos creativos como la música o la fotografía, cuyos productos se modifican en sintonía con las realidades de internet.

Es por esto que Kadushin se muestra devoto del *Open Source* ya que ha revolucionado la industria del software y ha creado una economía viable y un movimiento social floreciente con una mentalidad comunitaria, altamente creativa e inclusiva. Introduce otra idea, en completa sintonía con lo publicado por Gros, sobre la revolución que propiciaría la irrupción de las máquinas CNC.

Estos dos autores afirman casi lo mismo con respecto a dicha revolución del diseño de mobiliario, con una diferencia de ocho años, pero que no ha llegado a producirse, a la velocidad que preveían ambos. Kadushin da cuenta de una revolución inminente en el desarrollo, la producción y la distribución de productos debido a la naturaleza disruptiva de internet y al fácil acceso a las máquinas CNC. Lo que él pretende es que su propuesta de *Open Design* sea una herramienta para que esto suceda más rápidamente, ya que su objetivo es cambiar el diseño industrial para hacerlo relevante en la sociedad de la información en red global.

Open Design

Su método contiene dos condiciones previas.

1. Es información CAD publicada en línea bajo una licencia *Creative Commons* para ser descargada, producida, copiada y modificada.
2. Un producto de diseño abierto se produce directamente desde el archivo mediante máquinas CNC y sin herramientas especiales.

Estos condicionantes fomentan que los diseños estén continuamente disponibles para la producción, en cualquier cantidad, en cualquier lugar y por cualquier persona. Esto propiciaría según Kadushin un nuevo mercado de productos y servicios, resultado de una red de diseñadores, fabricantes, consumidores y minoristas que utilizan un conjunto común de diseños abiertos, en los que los diseñadores deben ser reconocidos como creadores originales y propietarios del diseño, incluso si son diseños derivados. Si es abierto para uso comercial, el diseñador debe aceptarlo y recibir sus honorarios. También afirma que el valor añadido que posee un *Open Design* es el aumento de posibilidades de modificaciones y potenciales transformaciones en otros productos. Los diseños que perduran con el tiempo en el mercado son muy pocos, pero de esta manera pueden desarrollarse en nuevas formas y usos.

Como ya se ha reiterado, las ideas principales de su manifiesto están en total sintonía con las mostradas por AtFAB a lo largo de todo su proyecto. También se encuentran alineadas con lo que defendía Gros, a través de C-Lab at HfG, puesto que fue de los primeros que compartieron sus ensambles legando los diseños en abierto y disponibles en su CDRom. Ésa era la manera, en aquel momento, para el intercambio de archivos debido al poco desarrollo de internet, herramienta usada casi en exclusividad en el área militar y por pocas universidades. Una vez irrumpe internet, los archivos de sus ensambles se encuentran liberados para su uso.

New Edge Furniture

Otra de las informaciones que aparece en la web de Kadushin es un enlace a su tienda en la que presenta varios de los muebles de su colección. Fundó en 2019 su línea *FIT Furniture*, una de las pestañas a las que se puede acceder y que la define como una marca asequible, minimalista, escultural y de fácil ensamblaje. En la misma página se indica que ahora es parte de *New Edge Furniture*, una nueva empresa que ha relanzado bajo los mismos criterios, pero con un perfil que pretende ser más profesionalizado, debido al capital humano, ampliado con diversos perfiles de empresa mediante la formación de ZULFAB, fundada en 2021.

Según se afirma en la web, con su perfil experimentado en diseño de mobiliario y producción, aspiran a establecer una línea de negocio que reinventará la producción de mobiliario y venta minorista. Pretenden combinar una automatización inteligente, propia del siglo XXI, con tecnologías de fabricación y procesos que serán pioneros en la industria del mueble. Un cambio

que irá de una fabricación en masa y venta al por menor, con su ineficiente estilo único para todos, a la personalización de un diseño fabricado localmente.

New Edge Furniture se define como un nuevo límite en el avance en la fabricación de muebles. Diseños distintivos y funcionales, calidad de alto grado, personalización y respuesta rápida con cumplimiento de fabricación gracias a su carácter local. Enfatizan que su *know how* de fabricación digital escalable se encuentra codificado en una plataforma en la nube que lleva al límite una cuidadosa remodelación de la fabricación y venta de muebles.

New Edge pretende una optimización total de recursos en la industria debido a un obligado reseteo en la Industria Global. Debido a la posibilidad de una fabricación local eliminan por completo la necesidad de un inventario físico, eliminando también de esta manera dos tercios de los costes distribuyéndolos a los clientes y al ecosistema. Este tipo de comercio revitaliza las economías locales siendo todo el sistema más sostenible y saludable para el planeta. Sintetizan afirmando que para ellos esto tiene sentido, y creen que le da una nueva ventaja a su ecosistema de la industria 4.0.



Estantería. *Newedge Furniture*. Fuente: newedgefurniture.com

Remarcan que sus muebles cumplen estos requisitos ya que sus materiales son materiales sostenibles como el contrachapado y apuntan todos sus beneficios tal y como se ha mencionado anteriormente. Afirman que cada producto es un gemelo digital optimizado para una fabricación local sin errores, de alta calidad, con huella de carbono mínima y de empaquetado plano para una entrega eficiente. Su diseño inteligente, como así lo llaman, incluye colecciones con fácil montaje y desmontaje para una larga vida útil. Cada producto que se añade a la colección está cuidadosamente diseñado de manera que es fácil de ensamblar y de personalizar para las medidas exactas que precise el cliente.

Hablan de un ecosistema interconectado por medio de la nube de manera que cada instalación asociada, dispersa globalmente, se encuentra en conexión. Estas instalaciones son administradas por un empresario local, propietario-operador cuidadosamente seleccionado. Guarda cierta semejanza con la estructura que planteó Gros con sus tecnofactorías. Cada socio alberga un conjunto de equipos de fabricación complementarios. Para permitir una calidad de fabricación cada uno de ellos tiene acceso a un centro de capacidad global que los asiste en varios aspectos, como los comerciales, diseño de producto, la ingeniería, el desarrollo, el márketing, las ventas, las finanzas, el soporte técnico y servicio al cliente. Por lo tanto, esta descripción publicitaria va dirigida, y así lo dicen, a los que ya trabajan en un entorno de fabricación digital y que, si se han

sentido identificados con las ideas expuestas, podrán ponerse en contacto para tratar de afiliarse a este ecosistema, para contribuir a acelerar el crecimiento del negocio de forma inmediata.

Una vez estudiadas las características de este proyecto y teniendo en cuenta que los autores de AtFAB lo citan como referente en cuanto al diseño y producción de mobiliario, se ha profundizado en este autor, comprobando sus innegables contribuciones en este campo. Desde la perspectiva de esta Tesis es significativo recoger este proyecto porque parte de una iniciativa privada, es decir, que es una empresa o ente privado el que lo promueve. Por el contrario, tanto el proyecto de C-Lab con Gros al frente, como el de AtFAB con Filson y Rohrbacher como dirigentes, parten de departamentos de investigación adscritos a universidades, no a entes privados.

En este caso Kadushin comienza su proyecto, tras su Tesis de máster en 2004, no encontrada en los registros de búsqueda de trabajos académicos en la fase de estudio del estado del arte, hecho que dificulta, según hemos repetido, la comprobación de fuentes en este campo. Tras sus pasos iniciales en diseño de mobiliario, y tal como se refleja en su trayectoria laboral, se reafirma en su proyecto de un cambio inminente en la forma de diseñar y producir mobiliario, debido a las redes y la facilidad de acceso a las CNC, y comienza esta nueva empresa con una base de conocimiento que lo faculta para ello. Por todo esto, su perfil se diferencia del de los anteriores.

Otro punto de vista que llama la atención de este proyecto es la sostenibilidad que persiguen en todos los ámbitos posibles del diseño y producción de mobiliario. Es una empresa que parte, desde sus orígenes, de estas premisas como cimentación de su manera de entender el futuro de la producción. Con este tipo de iniciativas por parte de la empresa privada se comienza a visualizar el rumbo que poco a poco va tomando la fabricación digital. Va mucho más lento que lo que auguraba Gros en sus artículos o Kadushin en su manifiesto, pero se va instaurando. Esto significa que dentro de algunos años el perfil de diseñador digital cualificado es el que se va a demandar en el mundo laboral.

Por lo tanto, tal y como se ha manifestado en esta Tesis, debe implementarse necesariamente esta metodología en los centros docentes para comenzar a formar diseñadores digitales cualificados que ya se están demandando. Actualmente son pocas universidades las que ofrecen esta formación. Este crecimiento de la demanda, al que se viene haciendo referencia, requiere un número mayor de docentes que también conozcan estas metodologías, debiendo por ello promoverse el uso de esta tecnología entre los centros docentes.

También es relevante incidir en la importancia de que, por parte del mundo académico, se referencie a los autores que aportan conocimiento en este campo, aunque no formen parte del mismo entorno. Por pertenecer a esferas más prácticas, o de la empresa privada, puede resultar complicado que sus aportaciones lleguen al mundo académico. Aparte del innegable aporte que se atribuye a *Design for CNC*, el hecho de registrar a sus mayores referentes en un documento constituye una auténtica promoción del conocimiento, así como una propagación del mismo, desde el mundo académico.

La cantidad de información que se obtiene en las redes es tan amplia que en ocasiones desborda y no se le presta la adecuada atención, o se diluye lo importante. El hecho de registrarla, como mínimo en un entorno científico bajo sus reglas y metodologías, supone un filtro de calidad para esa información de mucha utilidad para quienes la buscan, y que incluso carecen de la capacidad de diferenciar entre lo que está contrastado y lo que no. Es éste uno de los objetivos de esta Tesis, concretamente contrastar la información que es relevante sobre los ensambles digitales realizados con fresadoras de tres ejes.

2.11.2. Colectivo Droog

Continuando con las referencias y autores que se citan en el libro de Filson y Rohrbacher, el colectivo de diseñadores holandeses Droog aparece mencionado como desarrolladores de *Design for Download*. Droog es una empresa de diseño que realiza productos, proyectos, exhibiciones y eventos. Su trabajo no aparece indexado en los buscadores seleccionados, no obstante, en su web se encuentra la intención del proyecto, que era originalmente un diseño descargable de internet, basado en la estética y principios del famoso diseñador del Movimiento de Stijl, Gerrit Rietveld, que revertía lo interior al exterior. Esto es que, lo que normalmente aparece en interior de los muebles como las estructuras o acabados más descuidados, se les da la vuelta, dejando las estructuras en el exterior y visibles, y los acabados minuciosos para sus interiores. Planteaban diez proyectos de diseño del tipo *Do-It-Yourself*, de forma que se democratizara el diseño. Eligiendo y configurando los diseños, se bajaban los planos y esquemas bien para enviarlos a un fabricante y que lo realizara, o bien para hacerlo directamente el usuario. Al igual que Kadushin ofrecían *Open Design* sobre diversos diseños. No obstante, aunque la filosofía era la misma, la configuración de sus muebles y sus piezas no resulta del todo rentable realizarlo con fresadoras CNC, puesto que otra maquinaria tradicionalmente utilizada en carpintería bastaría para un corte más ágil. Para este tipo de configuración de material existe una máquina, que se verá más adelante, presentada en una investigación llamada *MatchSticks*. Por lo tanto, el planteamiento de diseño descargable lo abordan estos autores, pero el sistema de fabricación se encuentra fuera del propósito de esta Tesis.



Design for Download. Colectivo Droog, 2011.

2.11.3. Jens Dyvik

Otro de los autores que se nombra como referente en *Design for CNC* es Jens Dyvik quien desarrolló la silla personalizable *Layer Chair*. Aparece en los buscadores científicos con tres trabajos, todos relacionados con ciencias de la computación e ingeniería de maquinaria. En su web afirma que su objetivo es investigar sobre fabricación personalizada y diseños *Open Source*. Con sus conocimientos como diseñador quiere ayudar a usuarios a crear sus propios productos. Entre sus diseños figura uno abierto, de silla y mesa, del que es posible descargar los archivos para personalizarla y construirla. Es un proyecto interesante, que da un paso más que Droog, puesto que en este caso es rentable la mecanización de las piezas para configurar los muebles, ya que sus

curvaturas ergonómicas son complicadas de realizar con maquinaria tradicional. La pequeña contrapartida con respecto a lo que esta Tesis busca es que no posee ningún tipo de solución mediante ensamblajes digitales. Su diseño de silla consiste en una sucesión de piezas contiguas que pueden ser encoladas entre sí, o con estructura interna de unión mediante barra. Es interesante como solución a estudiar, pero la morfología de las piezas y la sucesión de ellas dificultan que sea un sistema del todo sostenible, puesto que no se aprovecha al máximo el material. Muchas de las piezas por sus curvaturas son complicadas de anidar en el material a cortar, desperdiciando material.



Layer Chair. Jens Dyvik, 2011.

2.11.4. Joni y David Steiner

Joni y David Steiner son mencionados por *Design for CNC* como colaboradores de Nick Ierodionou para algunas piezas que formaron parte del lanzamiento de Opendesk. Ninguno de los tres autores se encuentra indexado en las bases de WoS o Scopus, pero su relevancia en este campo es notable.

Opendesk, que se ha nombrado en varias ocasiones se inició como un lugar de venta online que acoge mobiliario diseñado independientemente y que conecta a sus clientes con los fabricantes locales alrededor del mundo. Fue una iniciativa para producir bajo los principios de *Open Making*. Dejaron de compartir sus diseños con el público general al menos desde 2020 para ser sacados bajo las licencias *Creative Commons*. Esta línea de muebles trata de construirse por piezas de madera contrachapada que se autoensambla sin otro tipo de conectores en otros materiales (pero no siempre lo logra). Finalmente, hoy en día ya no trabaja bajo los principios de *Open Making* con los que empezaron y ya no comparten sus diseños con el público. Sus diseños sí son ahora para sacar beneficios privados (<https://en.wikipedia.org/wiki/Opendesk>).

En esencia esta iniciativa es algo muy parecido a lo que planteó C-Lab durante el desarrollo de sus proyectos, y sobre todo en sintonía con el sistema de trabajo que proponía AtFAB en sus dos primeros artículos (Filson y Rohrbacher, 2011^a y 2011^b). Se podría ver como la materialización directa o puesta en práctica de ambos proyectos.

2.11.5. Otros autores

Otros de los autores mencionados en *Design for CNC* son **Greg Saul y Tiago Rorke**, de **Diatom Studio**, quienes sacaron el proyecto *Sketchchair*. Una de las referencias a dicho proyecto se encuentra en un artículo que se estudiará a continuación, y que apareció en los métodos de búsqueda secundarios de esta Tesis, en la Tabla 1.

Greg Saul aparece indexado en buscadores científicos de impacto y en su perfil aparece como investigador de Microsoft. Tiene entre once y doce publicaciones indexadas según los buscadores (WoS y Scopus), y su publicación más citada es *Sketchchair*. Haciendo un seguimiento, se constata que su campo de estudio se encuentra en Ciencias de la Computación, por lo que no es el perfil específico que busca esta Tesis.

Tiago Rorke, es otro de los autores mencionados para el mismo proyecto pese a que no aparece su nombre en la publicación científica, aunque sí como miembro de Diatom Studio. Sus publicaciones académicas son bastante más escasas que las de Greg Saul. Su perfil, según la información de internet, se dirige hacia campos como la ingeniería y, en menor medida, a las artes escénicas y bellas artes, relacionadas con la tecnología, por lo que su perfil se acerca algo más al diseño.

Dadas las menciones directas al trabajo que viene a continuación, y siguiendo el orden de aparición en la tabla, se va a proceder a su análisis.

2.11.6. #17. (2011) SketchChair: An All-in-one Chair Design System for End Users

# 17 2011	SketchChair: An All-in-one Chair Design System for End Users	Saul, Greg Lau, Manfred	Mitani, Jun Igarashi, Takeo	UTokio Japan
--------------	--	----------------------------	--------------------------------	-----------------

Saul, G., Lau, M., Mitani, J., & Igarashi, T. (2011). SketchChair: an all-in-one chair design system for end users. In *Proceedings of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction*, 73-80, 23-26 January, Funchal, Madeira, Portugal.

Este trabajo apareció en la búsqueda metodológica secundaria de esta Tesis, además de ser citado en el libro de AtFAB. El proyecto *SketchChair* tiene una web a la que nos referiremos más adelante. Este artículo define *SketchChair* como una aplicación que permite a usuarios principiantes controlar el proceso entero de diseño y construcción de sus propias sillas, usando una interfaz en 2D fácil de utilizar y en la que se validan las herramientas y los materiales planos que serán cortados por una máquina CNC láser o fresadora. Es posible realizar tanto objetos escalados como a tamaño real.

Interés del trabajo de investigación

Lo interesante de este trabajo no está tanto en los ensamblajes sino en cómo este equipo ha ideado un programa informático que mediante dibujos en 2D es capaz de generar un mueble 3D y a su vez los archivos necesarios de corte de cada pieza. Interesa analizar cómo desde el campo de la Computación son capaces de proponer una estrategia de generación de mobiliario, sin entrar en el significado del diseño estético en sí mismo. Se englobaría, pues, en Categoría 4. Dadas las facilidades que aporta la fabricación digital pretenden un mayor acercamiento a cualquier interesado, resolviéndole el problema que conlleva el tener que profundizar en programas de diseño.

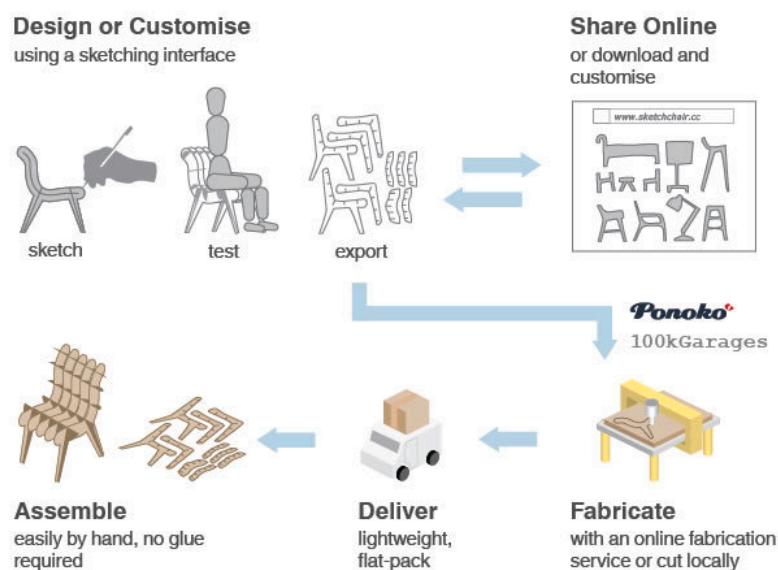
Datos bibliométricos

Fue presentado, y consta en las actas del Congreso *Proceedings of the Fifth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, en 2011, que tuvo lugar en la ciudad de Funchal, en la isla de Madeira, Portugal. Esta conferencia cuya traducción por sus palabras más relevantes podría ser “conferencia sobre interacción tangible, incrustada y corporizada”, que no tiene mucho significado en español, podría resumirse como una comunidad que investiga la interacción en la que se unen lo físico y la computación. Guarda gran relación con el libro de AtFAB, cuando se aludía a la fabricación digital como el punto en el que lo virtual se transforma en algo físico.

Este tema acumula abundante contenido en las disciplinas de las ciencias de la computación y en el año mencionado todavía esta conferencia podría considerarse como novedosa. Aparece sólo indexada en WoS pese a las numerosas citas que posee. No constan datos de impacto de las actas de esta conferencia. En cuanto al artículo en sí, es el que más citas tiene de todos los trabajos presentados en esta Tesis, con 197 en Google Académico, 125 en Scopus y 74 en WoS. Los cuatro autores que firman el artículo tienen perfiles indexados en todos los motores de búsqueda científica, en la especialidad de todos ellos, Ciencias de la Computación, en diversas áreas matemáticas.

web <http://sketchchair.cc/>

Este proyecto posee una web propia en la que se puede completar la información aportada en el artículo. Es muy interesante moverse por ella para aclarar aspectos que quizás con la lectura del artículo no baste. Posee una biblioteca de diseños creados por otros usuarios cuyos archivos es posible descargarse para poder producirlos. También es posible descargarse una versión del programa para poder realizar un mueble al alcance del usuario. También se dota de manuales descargables con explicaciones del funcionamiento del programa, el fabricado de piezas, tutoriales, etc. Constituye, pues, una aportación de máximo interés para trabajar la fabricación digital, además de una guía muy didáctica, para tratar de desarrollar un proyecto parecido.



“SketchChair is a free, open-source software tool that allows anyone to easily design and build their own digitally fabricated furniture”. sketchchair.cc. Diatom Studio, 2011.

Principales aportaciones

- Calculador de coste de material en tiempo real.
- Abaratamiento de la fabricación digital, más accesible. Surgen creadores en vez de consumidores, así como empresas y redes que facilitan intercambio de diseños, fomentando el uso de la tecnología.
- Soluciona dos problemas: genera un mueble 3D tras dibujar un croquis en 2D y comprueba la ergonomía y estabilidad con la simulación de una figura humana virtual.
- Diseña para la fabricación en materiales planos que benefician un transporte eficiente por piezas.
- Realización de talleres para verificar el programa diseñado con conclusiones que ayudan a mejorar y plantear futuros enfoques.
- Web propia sketchair.com.

Aporta conocimientos para:	#17 Saul, G., Lau, M., Mitani, J., & Igarashi, T. (2011) SketchChair
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	Sí
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #17 Saul, G., Lau, M., Mitani, J., & Igarashi, T. (2011). SketchChair.

- **TRANSFERENCIA:** La aplicación y la web constituyen un método de transferencia de conocimiento para entender la fabricación digital de manera práctica.
- **DOCENCIA:** Tanto la lectura del artículo como de la web, así como la posibilidad de practicar con la aplicación descargable de la web, constituyen documentos pedagógicos para explicar a principiantes cómo diseñar con fabricación digital.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se profundiza en la manera de colaboración específica con empresas.
- **TALLERES DE TRABAJO:** El estudio del taller de trabajo presentado en el artículo establece pautas a seguir para poder implementarlo, o bien, tomar como base sus planteamientos para realizar otro taller paralelo específico, pues es perfectamente replicable.
- **SOSTENIBILIDAD:** Argumentos principales sobre sostenibilidad son: utilización de materiales planos que posibilitan un transporte eficiente; calculador de coste a tiempo real que motiva un uso eficiente del material; un mueble diseñado por el usuario augura una mayor vida útil por el apego que genera.

2.12. (2013-2017) Technical University in Zvolen (TUZVO) Group. Slovakia

Volviendo a retomar esa fecha de 2013, en la que aparece un nuevo grupo de investigación, dentro de los parámetros que se han establecido en este estudio, hay que mencionar a la Facultad de Ciencias de la Madera y Tecnología, de la Universidad Técnica de Zvolen, Eslovaquia, ya que hace tres aportaciones en este sentido, al menos hasta la actualidad.

El primer artículo (Langova, Joscak, and Grič ; 2013), es un estudio empírico de resistencia de un ensamble de caja y espiga de autoencaje (sin colas ni elementos de conexión) para ejecutar con CNC. Lo que hacen es, realizar 3 variantes de las dimensiones de la longitud de la espiga diseñada, modificando los tamaños de un ensamble, para así comprobar cuál responde mejor a esfuerzos de tracción y compresión. Adelantan ya, en este trabajo, su pretensión de realizar el mismo experimento, pero mediante FEA y, luego, comparar los resultados. En 2017, con la segunda aportación, presentan esa ampliación con esta nueva metodología, comparando los mencionados resultados. Su tercera aportación (Grič el al., 2017) es un trabajo muy completo, por su profundidad de estudio técnico, así como por sus resultados y conclusiones, en cuanto a resistencia de 3 ensambles tipo, con distintas variantes y en distintos materiales.

Estos avances han podido constituir una guía de procedimiento para cualquier productor de mobiliario que trabajara con estas técnicas en las fechas posteriores a la publicación del estudio, pues dimensionando las piezas con medidas parecidas a las que aparecen en el mismo, se podía tener una estimación bastante precisa de sus límites a la hora de diseñar.

Todos los estudios se clasificarían en la categoría 1, sin confusión alguna, pues no presentan ningún otro tipo de incursión en pedagogía o diseño. Podría decirse que es el grupo de investigación más desvinculado de la parte estética, puesto que resulta evidente que, su departamento, no tiene ninguna disciplina que les derive hacia esas áreas, ya que, en los 3 artículos, se observa que se centran exclusivamente en el estudio técnico, sin incidir mucho en referencias, anteriores o breves, al estado del arte, o, por lo menos, con menor rigurosidad que los otros 3 grupos de investigación técnicos.

2.12.1. Introducción

Interés del Technical University in Zvolen (TUZVO) Group

A través de los tres documentos mencionados, este grupo, TUZVO, donde más conocimiento aporta es en el hecho de producir mobiliario con fresadora CNC de 3 ejes. Dos de ellos, están muy relacionados, pues, en uno, se analiza un ensamble cortado con esta maquinaria y sometido a test empírico de esfuerzos, recogiendo los resultados, y, el otro, es el mismo ensamble, pero se contrastan los resultados con análisis FEM. Y, el tercer trabajo, investiga los efectos de tres tipos de ensamble según sus dimensiones. Por lo tanto, los 3 artículos se encuentran en Categoría 1, siendo este Grupo de Investigación el más purista de los 3, en lo que respecta la parte más técnica, ya que solo se centran en los resultados empíricos de sus análisis, sin introducir, en ningún trabajo, nada relacionado con pedagogías que sirvieran para docencia o diseño estético.

Datos bibliométricos

Este Grupo de Investigación pertenece a University of Zvolen, con fondo de color verde en la Tabla. Esta universidad tiene 6.000 alumnos y tiene indexada, en Scopus, una página de la universidad con un total de 3082 artículos, de los cuales, la mayor área de publicación, con 34,2% (1790), es en Ciencias de la Agricultura y Biología; y, en el área de publicación de estas investigaciones, sería Ciencias de los Materiales, la que tiene indexados el 8,5% (447) de los artículos. Pero se ha verificado que esta área de materiales no es el único, en el que se ha publicado.

Hay dos autores comunes que se repiten en los tres artículos, una es Langová, que tiene un perfil indexado en Scopus con 13 trabajos a su nombre, y, pese a que se encuentra registrada como investigadora del departamento de mobiliario, realiza colaboraciones en otras áreas como Ciencias de la Agricultura y Biología. Y, el siguiente es Grič, con 2 trabajos indexados a su nombre, y que se corresponden con los que se van a estudiar.

2.12.2. #18. (2013) Strength properties of self-locking furniture joints with shape adapted for the production by CNC technology

# 18 2013	Strength properties of self-locking furniture joints with shape adapted for the production by CNC technology	Langová, Nadežda	Joščák, Pavol Grič, Michal	TUZVO Slovakia
--------------	--	------------------	-------------------------------	-------------------

Langová, N., Joščák, P., & Grič, M. (2013). Strength properties of self-locking furniture joints with shape adapted for the production by CNC technology. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Forestry and Wood Technology*, 83, 179-184.

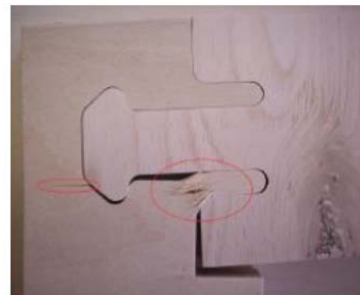
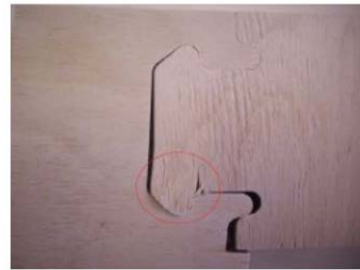
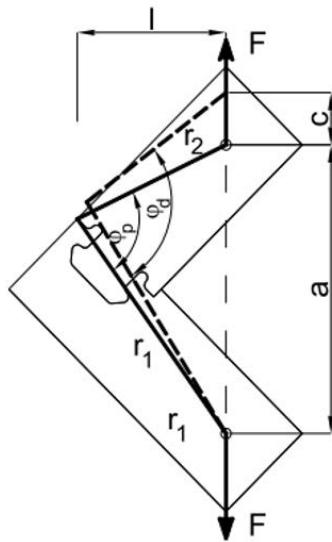
En este apartado, comenzaremos con el artículo de 2013, titulado “Strength properties of self-locking furniture joints with shape adapted for the production by CNC technology”. Este trabajo pretende lidiar con los esfuerzos característicos de los ensambles de mobiliario de auto encaje usando como base una unión de caja y espiga, sin la utilización de colas o cualquier otro elemento extra para el encaje. Para la construcción de la unión, utilizaron el contrachapado, debido a que afirman que es un material con propiedades mecánicas y estéticas adecuadas, sobre todo en la dirección transversal. Todos los resultados de experimentos y cálculos los compararon con las uniones tradicionales hechas en materiales con base en madera.

Interés del trabajo de investigación

El interés es simplemente por el aporte de conocimiento a esta temática específica. Pero en sí el artículo no tiene mucho interés puesto que profundiza muy poco con respecto a otros Grupos o investigaciones. Solo analiza los resultados de un test de esfuerzo de un ensamble. La clasificación de este trabajo es de Categoría 1.

Datos bibliométricos

Este artículo está publicado en Annals of Warsaw University of Life Sciences, que es una revista de esta universidad polaca, totalmente relacionada con áreas de Agricultura y temas forestales; y el área específica de publicación, en su traducción, es algo similar a “Ciencias Forestales y Tecnología de la Madera”. El artículo no se encuentra indexado ni en Scopus ni en WoS, solo figura en Google Académico con 4 citas. Este título apareció en las metodologías de búsqueda primaria para esta Tesis, en el motor de Google Académico, por ello el color rojo negrita en la fuente de la fecha de la primera columna de la Tabla 1.



Izquierda: esquema tipo para test de tracción. Derecha: resultado de rotura de ensamble bajo cargas en el plano angular. En Langová et al., 2013.

Principales aportaciones

Esta investigación parece un principio de incursión del equipo de investigación en realizar comprobaciones empíricas sobre las uniones de piezas cortadas con CNC de 3 ejes, conociendo la metodología que aplicaban al tipo de mobiliario de construcción con maquinaria tradicional. Comparado con los aportes de otras investigaciones parece este un primer acercamiento.

Aporta conocimientos para:	#18 Nadežda, L., Joščák, P., & Grič, M. (2013)
Transferencia	Sí
Docencia	No
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	No

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #18 Nadežda, L., Joščák, P., & Grič, M. (2013).

- **TRANSFERENCIA:** Los resultados obtenidos, para aplicarlos, al diseñar ensambles. Pero no aporta mucho a la difusión de la tecnología.
- **DOCENCIA:** No presenta ninguna metodología específica para docencia en diseño de mobiliario más allá de la prueba empírica hecha. Es decir, es un simple ensayo

concreto de resistencia, pero no presenta una pedagogía adecuada para alumnos de diseño de mobiliario con CNC, porque no tiene mayor desarrollo.

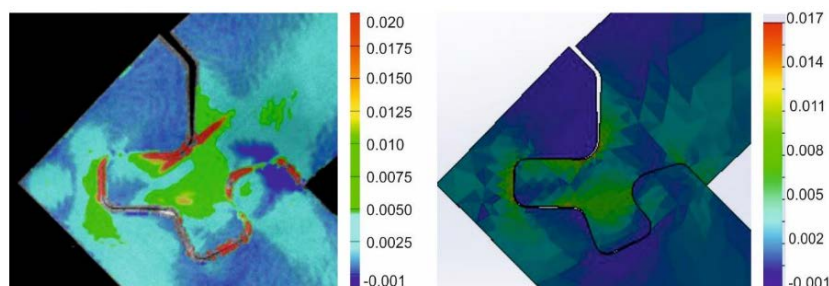
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se profundiza en la manera de colaboración específica con empresas, por ser solo eso, un ensayo específico.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No se profundiza, por falta de recorrido, en la forma de realizar algún taller con el fin de entender mejor la tecnología de fabricación digital.
- **SOSTENIBILIDAD:** No se evidencia ninguna relación específica por parte de los autores con la sostenibilidad más allá del propio uso de esta tecnología o cuando mencionan que es un mobiliario más ecológico, pero sin basarse en nada contrastado.

2.12.3. #25. (2017) Mechanical Properties of Furniture Self-locking Frame Joints

# 25 2017	Mechanical Properties of Furniture Self-locking Frame Joints	Grič, Michal Joščák, Pavol Tarvainen, Ilkka	Ryönänkoski, Henri Lagaña, Rastislav Langová, Nadežna Andor, Tomáš	TUZVO Slovakia
--------------	--	---	---	-------------------

Grič, M., Joščák, P., Tarvainen, I., Ryönänkoski, H., Lagaña, R., Langová, N., & Andor, T. (2017). Mechanical properties of furniture self-locking frame joints. *BioResources*, 12(3), 5525-5538.

Este es el segundo de los artículos presentados sobre este campo. En este caso, quieren determinar la capacidad de carga, rigidez, y las zonas de tensión, de los ensambles de auto-ensamblaje, y concretamente, en uniones de marcos dispuestos en forma de "L", hechos en contrachapado de 18 mm de espesor, de abedul finlandés y alistonado de abedul. El experimento se basa en la información procedente de los modelos de FEA. Resumidamente, aunque se explica un poco más detalladamente más adelante, los datos obtenidos les reflejaron que las uniones, hechas de contrachapado de abedul, alcanzaron capacidades y rigideces más altas, que las hechas con el alistonado de abedul del mismo espesor. El ensamble diseñado (HLJ) rebajado a mitad, hecho en contrachapado, alcanzó la mayor capacidad de carga y rigidez en ambas flexiones, la de compresión y la de tracción.



Resultado del test de compresión aplicando una fuerza de 5.10 kN al ensamble TJ de espesor 18 mm. Comparativa de resultados en Aramis 3D (izquierda) y precálculo teórico en Solidworks (derecha). En Grič et al., 017.

Interés del trabajo de investigación

Este es el artículo que mayor interés aporta de los tres, puesto que es el que más base teórica y referencias documenta para sustentar la técnica, y trata de estudiar las repercusiones de

resistencia que tiene el variar las dimensiones de un mismo ensamble. Las conclusiones que plantea, tras sus resultados, son interesantes de estudiar para tenerlos de referencia a la hora de diseñar un ensamble digital. La clasificación de este trabajo es de Categoría 1.

Datos bibliométricos

Este artículo se publicó en la revista *Bioresources*, que documenta investigaciones de las áreas de las Ciencias del Medio Ambiente, y más precisamente, en ingeniería Medioambiental y gestión de residuos, y Bioingeniería de la North Carolina University. Se encuentra indexado en WoS y Scopus, con un impacto Q2 en el área de Ciencias en materiales papel y madera. El número de citas que posee son, cinco en Google Académico, cuatro en Scopus, y tres en WoS. Este título apareció en las metodologías de búsqueda primaria de esta Tesis, en los motores de Google Académico y Scopus, por ello el color rojo negrita en la fuente de la fecha de la primera columna de la Tabla 1.

Principales aportaciones

- Referencias de autores sobre resultados de investigaciones empíricas como base para diseño de ensambles.
- Descripción de las metodologías de testado de los ensambles propuestos.
- Resultados y tablas para conocer los comportamientos de las juntas ensayadas.

Aporta conocimientos para:	#25 Grič, M., Joščák, P., Tarvainen, I., Ryönänkoski, H., Lagaña, R., Langová, N., & Andor, T. (2017)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	No

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #25 Grič, M., Joščák, P., Tarvainen, I., Ryönänkoski, H., Lagaña, R., Langová, N., & Andor, T. (2017).

- **TRANSFERENCIA:** La transferencia de conocimiento de este artículo son los resultados obtenidos en las pruebas de los dos tipos de ensambles propuestos y con dos tableros distintos.
- **DOCENCIA:** Este trabajo presenta dos ensambles de caja y espiga que ayuda a tomar decisiones en el diseño de ensambles para que resistan mejor las solicitaciones, siendo una base de trabajo con caso práctico para posibles ejercicios para mobiliario con CNC.

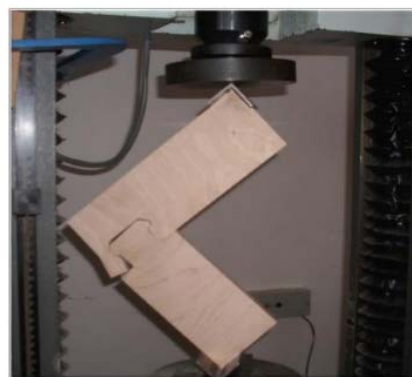
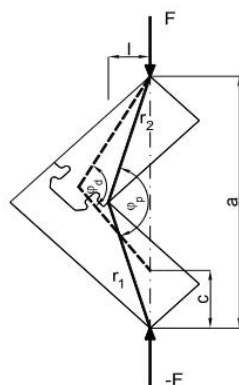
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se profundiza en la manera de colaboración específica con empresas ni es el propósito de este trabajo, para esta concreta actividad.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No se profundiza en la realización de talleres con el fin de entender mejor la tecnología de fabricación digital.
- **SOSTENIBILIDAD:** No se hace alusión específica a esta temática, aunque el uso de esta tecnología ya supone una ventaja, pero sin justificar por los autores.

2.12.4. #26. (2017) Experimental and theoretical analysis of impact of shape selected type of self-locking joints on their mechanical properties

# 26 2017	Experimental And Theoretical Analysis Of Impact Of Shape Selected Type Of Self-Locking Joints On Their Mechanical Properties	Langová, Nadežna Grič, Michal	Milch, Jaromír Šmidriaková, Mária	TUZVO Slovakia
--------------	--	----------------------------------	--------------------------------------	-------------------

Langová, N., Grič, M., Milch, J., & Smidriaková, M. (2017). Experimental and theoretical analysis of impact of shape selected type of self-locking joints on their mechanical properties. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen res Publica Slovaca*, 59(1), 113-120.

En el tercer artículo presentado por este equipo, que, como dice su título, llevaron a cabo el experimento, la investigación, sobre lo que trataban de resolver al modificar la forma de la caja y espiga con respecto a lo testado para su primer artículo - que se recuerda, que comprobaron solo de forma empírica y sin ningún análisis numérico-. Y, esta vez, nuevamente, estudiaron las tres variantes: la variante base, que tiene la espiga con la cabeza modificada y brazos rectos; y, las otras dos variantes, se crearon modificando la forma y dimensiones de la cabeza y brazos de la unión. Todas las pruebas las realizaron en contrachapado de 18 mm, afirmando, de nuevo, que es un material adecuado para este tipo de uniones; y las sometieron a test de estrés causado por flexión del plano angular, evaluando la capacidad de soportar esfuerzos y rigidez de la unión. Demostraron que, la rigidez y la deformación de la unión, están influenciados por la forma y dimensiones; y los resultados les mostraron que, creando un saliente en la base de la espiga y cambiando las dimensiones de la espiga, se mejoran las propiedades mecánicas de la unión de auto encaje.



Izquierda: esquema de diagrama de cargas para test de compresión. Derecha: test de compresión. En Langová et al., 2017.

Interés del trabajo de investigación

Este último, completa al primer trabajo de los tres estudiados, puesto que es el mismo, pero comparando ahora, los datos anteriores, con los datos al aplicar FEM en las formas propuestas.

También documenta algo más la base metodológica. No supone demasiado, pero aporta más conocimiento a la temática. La clasificación de este trabajo es de Categoría 1.

Datos bibliométricos

Este artículo, se publicó en la revista Acta Facultatis Xylologiae Zvole, que edita la propia University of Zvolen, en el área de Ciencias de los Materiales Papel y madera. Se encuentra indexado en WoS, que aparece, pero sin registros, y en Scopus con un impacto Q2, en el área de Ciencias en materiales papel y madera. El número de citas que posee son tres, en Google Académico; una, en Scopus; y una, en WoS. Este título apareció en las metodologías de búsqueda primaria de esta Tesis en los motores de Google Académico, Scopus y WoS, por ello el color rojo negrita en la fuente de la fecha de la primera columna de la Tabla 1.

Principales aportaciones

- Antecedentes: la industrialización y producción eficiente de las conexiones entre piezas quedan en un segundo plano. La forma tradicional ensamblados perfectos con la propia madera, quedan reemplazados por los nuevos tipos de conectores mecánicos o adhesivos.
- Las CNC propician uniones precisas y estéticas debido a su fiabilidad, velocidad y precisión al contrario de lo que pudieran hacer los métodos tradicionales.
- El Principio de auto ensamble aporta: estética y estructuras fáciles de encajar, y ecología en las uniones.
- Objetivo, determinar la rigidez de las uniones. Con FEM, localizan los puntos de mayor estrés, comparan resultados experimentales y determinan las formas más adecuadas.
- Metodología en tres fases: diseño de la forma del ensamble, determinar las propiedades mecánicas experimentalmente y analizarlas numéricamente para validar el experimento.
- Cooperan con Mendel University para realizar FEM con ANSYS.
- Recogen varios resultados y análisis que justifican los ensamblados que responden mejor.

Aporta conocimientos para:	#25 Grič, M., Joščák, P., Tarvainen, I., Ryönänkoski, H., Lagaña, R., Langová, N., & Andor, T. (2017)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #25 Grič, M., Joščák, P., Tarvainen, I., Ryönänkoski, H., Lagaña, R., Langová, N., & Andor, T. (2017).

- **TRANSFERENCIA:** La transferencia de conocimiento de este artículo son los resultados obtenidos en las pruebas de los tres ensambles propuestos.
- **DOCENCIA:** Este trabajo presenta tres ensambles de caja y espiga que ayuda a tomar decisiones en el diseño de ensambles para que resistan mejor las sollicitaciones, siendo una base de trabajo con caso práctico para posibles ejercicios para mobiliario con CNC.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se profundiza en la manera de colaboración específica con empresas ni es el propósito de este trabajo en este punto.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No se plantea ningún taller de trabajo que pudiera ser replicable tanto para docencia como para interesados con el fin de entender mejor la tecnología de fabricación digital.
- **SOSTENIBILIDAD:** Solo nombran la ecología de este tipo de ensambles puesto que no introduce materiales extras contaminantes.

2.12.5. Principales aportaciones del Technical University in Zvolen (TUZVO) Group

En el primer artículo, realiza poco aporte comparado con los otros dos. La información proporcionada es algo limitada y se perciben conocimientos reducidos, o poca familiarización en las metodologías aplicadas. Realiza test de esfuerzos empíricos de 3 ensambles y analiza sus resultados.

El segundo artículo, es el que más información introduce de los tres con contribuciones más completas y contrastadas, aportando referencias de autores, descripciones metodológicas de testado de ensambles, y resultados que ayudan a conocer los comportamientos de las juntas. Realiza test predictivos FEM, y empíricos, para contrastar los resultados de un ensamble, en dos materiales distintos: contrachapado y alistonado.

El tercer artículo, también posee buenas bases teóricas y metodológicas. Constituye la comprobación por FEM, de los test de los ensambles realizados en el primer artículo. Modifica las dimensiones de un ensamble de caja y espiga para evaluar en qué influye la forma del ensamble en cuanto a sus resistencias.

Aportaciones

Aporta conocimientos para:	#18, #25 y #26. Technical University in Zvolen (TUZVO) Group
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #18, #25 y #26. Technical University in Zvolen (TUZVO) Group.

- **TRANSFERENCIA:** Los tres artículos aportan los resultados obtenidos de sus pruebas empíricas siendo los dos últimos los más completos e interesantes con metodología y bibliografía más trabajada en comparación.
- **DOCENCIA:** Todos los ensambles presentados de caja y espiga, ayudan a tomar decisiones en cada diseño de ensambles para que resistan mejor las solicitaciones, constituyendo buenas bases de trabajo con casos prácticos para posibles ejercicios para mobiliario con CNC.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se registra la manera de realizar algún taller con el fin de entender mejor la tecnología de fabricación digital en ningún trabajo.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No hay evidencias para poder realizar alguno con el fin de entender mejor la tecnología de fabricación digital.
- **SOSTENIBILIDAD:** Solo hacen alusión en el tercer trabajo por medio de que no introducen ensambles de otros materiales contaminantes.

2.13. (2011-2019) Purdue University Group. USA

La primera incursión de este grupo en el campo de fabricación digital con fresadora de 3 ejes es la realizada por Eva Haviarova en una revista polaca en la que se ha publicado varios de los artículos del equipo tanto de Mendel University como de TUZVO de Zvolen University.

Se trata de un artículo conceptual, con carácter pedagógico más marcado que lo usual en este Grupo y Categoría, según podrá advertirse en los dos siguientes artículos del mismo equipo. Es positivamente valorable dados los escasos estudios académicos que existen en metodología específica en esta temática. Recogen una interesante llamada de atención, coincidente con el enfoque de esta Tesis doctoral. Pretenden acercarse a fabricar con estas técnicas novedosas, pues también este mismo Grupo es el más productivo en cuanto a publicaciones relacionadas con resistencia de ensambles para mobiliario de madera, pero fabricados y configurados con las técnicas automatizadas tradicionales. Haviarova consideró importante que la Universidad de Purdue incluyera nuevas tecnologías con tendencia educativa en el diseño de muebles, como lo demuestra su artículo de 2011. Su experiencia en el campo del cálculo de resistencia de materiales en mobiliario es innegable gracias a la presencia del investigador Carl Eckelman, autor muy citado en el artículo de Tankut et al. (2014), al que se hará referencia dado su dilatado aporte en dimensionado de piezas de mobiliario tradicional.

Este grupo de investigación del Departamento Forestal y de Recursos Naturales de la Universidad de Purdue, West Lafayette, como se ha dicho, sin duda ha sido uno de los más activos en cuanto a número de publicaciones sobre el tema de dimensionado de muebles de madera, entre otros trabajos. Uno de los miembros clave del grupo, el mencionado Carl Albert Eckelman, ha trabajado en ese Departamento desde finales de la década de 1960. Su contribución a la exploración y difusión de métodos para calcular la resistencia de muebles de madera ha sido amplia, como lo indica la gran cantidad de publicaciones citadas a lo largo de su carrera y constatadas en esta revisión. A lo largo de los años, muchos de los seguidores de Eckelman han adquirido una vasta experiencia, basada en sus técnicas y contribuciones sustanciales a la producción de muebles con maquinaria tradicional, aplicando ahora sus conocimientos a la producción de fresadoras CNC de 3 ejes.

Llama la atención la poca actividad de este grupo en publicaciones relativas a mobiliario producido con CNC de 3 ejes, hasta el artículo de Uysal et al. (2019), el cual traduciendo su título tenemos, "Análisis de viabilidad de fabricación y capacidad de carga de juntas de corte de control numérico por computadora con función de ensamblaje entrelazado". Sin embargo, dado el detalle, la extensión, número de ensambles probados y el rigor de su contenido, es verosímil suponer que habían estado trabajando durante varios años antes de presentar este documento siendo de los más completos, sobre la gama de articulaciones digitales probadas.

A excepción del mencionado artículo de 2011, de indudable aportación a efectos de docencia, la primera incursión del grupo en este tema se presentó en una reunión anual sobre madera, en la que dieron a conocer un estudio basado en datos previos de resistencia de juntas digitales (Haviarova et al., 2015). Ampliaron su investigación introduciendo una mayor variedad de articulaciones, las cuales se recopilan en el riguroso artículo de Uysal et al. (2019). Abarca ocho juntas diferentes, cada una de ellas probada en su respuesta a las fuerzas de tracción y compresión, y comparada con las juntas tradicionales típicas; específicamente las juntas rectangulares de caja y espiga y las juntas de espiga, encoladas en madera contrachapada de abedul y en MDF.

Es de suma importancia analizar meticulosamente los inconvenientes y puntos fuertes de las diferentes articulaciones. Con este fin, Uysal et al. (2019) proporcionaron una herramienta muy útil al ofrecer formas óptimas en el proceso de producción, en términos de eficiencia de fabricación y costos, y al proporcionar tablas de factibilidad. Un análisis de factibilidad nos dice si un proyecto cumple con sus limitaciones tecnológicas y de costos.

Se espera que pueda servir como guía para aquellos interesados en el diseño de juntas de muebles, así como para comprender la viabilidad de la producción y las propiedades de resistencia de los diferentes tipos de juntas producidas con fresadoras CNC de 3 ejes. Todas las pruebas siguieron los estándares y los métodos descritos en artículos anteriores para guiar la producción de ensamblajes digitales y, con respecto a las velocidades de fresado, el tipo de herramienta necesaria para cortar el material y otros factores. Los autores también proporcionaron una guía para las pruebas conjuntas, con respecto a las dimensiones, el tipo y el momento del encolado, la forma en que se ejerce el esfuerzo, la fuerza requerida, etc. Obtuvieron numerosas conclusiones y presentaron algunas tablas de resultados extremadamente útiles.

2.13.1. Introducción

Interés del Purdue University Group

Las tres aportaciones que hace este grupo de Investigación son de gran interés. La primera de ellas entra en la Categoría 2 dado el marcado carácter pedagógico, según las metodologías para la docencia. La segunda es un inicio de estudio analítico de ensamblajes digitales de madera. La tercera constituye su gran aportación a este campo por su profundidad, de gran ayuda sobre todo a la empresa privada tanto en producción como diseño de mobiliario; también para docencia e interesados. Estas dos últimas se enmarcan en Categoría 1. Este grupo es quizás el más importante en cuanto a metodologías de cálculo y testado de mobiliario, desde que se comenzara a introducir fórmulas en esta disciplina para una mayor eficiencia de la producción, allá por el año 1967.

Datos bibliométricos

Este grupo de investigación pertenece a Purdue University, con fondo de color amarillo en la Tabla. Esta universidad cuenta con 41.600 alumnos. Tiene una página indexada en Scopus, con un total de 177.694 artículos, de los cuales la mayor área de publicación con 15,6% (48.861) es Ingeniería. Otras áreas relacionadas con las publicaciones de estos equipos técnicos serían Ciencias de los materiales con 5,7% (17.702) y Ciencias de la Agricultura y Biología con 5457. La autora común de los tres artículos es Haviarova, que firma sola en el artículo de 2011, y en los otros dos artículos, que son los realmente relevantes firman los mismos autores. Haviarova tiene perfil indexado en WoS con 55 publicaciones cuyos temas más abordados se incluyen en Ciencias de la Materia y Ciencias Forestales. Grič posee cinco publicaciones con temática mayoritaria en Ciencias de la Madera y Papel. Tasdemir posee nueve, la mayor parte sobre Ciencias de la Tecnología Sostenible y Ciencias Medioambientales. Y Gazo que posee 42 publicaciones cuyos temas más tratados corresponden a Ciencias de la Materia y Ciencias Forestales, al igual que Haviarova.

2.13.2. #16. (2011) Approach to furniture design education at Purdue University

16
2011

Approach to furniture design education at Purdue University

Haviarova, Eva

Purdue University
USA

Haviarova, E. (2011). Approach to furniture design education at Purdue University. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Forestry and Wood Technology*, 73, 36-43.

El primer artículo de Haviarova posee enfoque, como se ha dicho, de gran interés para esta Tesis pues entra de lleno en docencia para diseño de mobiliario.

Se trata principalmente de una descripción de las posibilidades que aporta el uso de la producción con fresadoras CNC, incidiendo en los conocimientos y capacidades a las que tendrían que llegar los estudiantes para diseñar mobiliario. Relata lo que realizan en su Departamento, lo cual es de gran ayuda puesto que introduce al lector en la perspectiva que tiene el grupo para enseñar mobiliario con técnicas digitales. Muestra también su sesgo hacia el campo de la ingeniería de materiales puesto que aborda todas las cuestiones técnicas para su configuración, deslizando incluso una cierta crítica hacia los diseñadores que no están realmente pendientes de algo tan primordial para el diseño de muebles, como es a su juicio, su resistencia estructural, sino que priorizan, por el contrario, la moda del momento. Si bien es innegable que debe tenerse presente este posicionamiento, sin embargo, los innovadores ejemplos mostrados por el alumnado presentan más debilidades en el tratamiento de la estética, pues en ocasiones resultan diseños como algo aleatorio y caprichoso.

Claramente se quiere poner en valor la vertiente técnica, compaginada con el sentido estético de manera paralela. Sin embargo, como se ha visto a lo largo de los trabajos investigados, se aprecia una fractura, o separación, entre las disciplinas del diseño estético y de la ingeniería de materiales.



Uno de los proyectos de mobiliario de investigación conducidos en WRL (Wood Research Laboratory).
Haviarova, 2011.

Interés del trabajo de investigación

Sobre todo, destaca su carácter pedagógico por toda la información que aporta al respecto. Es muy interesante tanto la metodología de trabajo para diseño de mobiliario como la organización

del Departamento, con los proyectos de investigación en los que trabajan. Para cualquier docente o equipo de docentes que pretenda comenzar esta línea de investigación, relacionada en todo momento con docencia en diseño de mobiliario, se ofrece aquí un trabajo de gran utilidad. Se engloba, de forma fuertemente marcada, en Categoría 2.

Datos bibliométricos

El artículo está publicado en *Annals of Warsaw University of Life Sciences*, una revista de la mencionada universidad polaca especializada en áreas de Agricultura y temas forestales; el área específica de publicación equivale en traducción a Ciencias Forestales y Tecnología de la Madera. No se encuentra indexado ni en Scopus ni en WoS, solo aparece en Google Académico y sin citas. Este título se encontró en las metodologías de búsqueda primarias de esta Tesis, en el buscador de Google académico. No posee citas en ninguno de los buscadores.

Principales aportaciones

- Definen los componentes para un buen diseño.
- Conocimientos desarrollados en el *Wood Research Laboratory* (WRL) dentro del Department of Forestry and Natural Resources (FRN) donde desarrollan sus programas de estudio y se establecen sinergias entre docencia e investigación.
- Define los atributos que debe tener un mueble: estéticamente agradables, que sean económicamente factibles, funcionales, ergonómicamente correctos, que puedan producirse con un tiempo de entrega corto, y que han de aplicarse materiales y carpintería adecuados, para crear un producto estructuralmente sólido, que brinde un servicio seguro y confiable.
- Proceso de diseño de ingeniería: siete pasos bien delimitados.
- Crean sinergias entre docencia e investigación dando origen a diversos proyectos.
- Crucial capacitar al estudiante en conocimientos de ingeniería de productos, diseño de resistencias y comprobaciones de rendimiento. para testado y evaluación de piezas. Esto brinda la última oportunidad para aumentar la calidad y confiabilidad de los muebles.
- El uso de las CNC atrae a jóvenes diseñadores porque facilita la creación rápida de prototipos.

Aporta conocimientos para:	#16 Haviarova, E. (2011)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	Sí/No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	No

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #16 Haviarova, E. (2011).

- **TRANSFERENCIA:** Su aporte es mayúsculo por la cantidad de ejemplos metodológicos que presenta, además de maneras de implementarlos. Por medio de participación en exhibiciones y concursos también se evidencia la transferencia de las metodologías.
- **DOCENCIA:** Indican varias vías que facilitan tanto la organización de la investigación como la metodología para la docencia, mediante ejemplos específicos.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se profundiza específicamente en ello, pero abre una metodología que posibilita sinergias con ellas desde la investigación.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No evidencia la posibilidad de realización de talleres de trabajo.
- **SOSTENIBILIDAD:** No se hace alusión específica ni lo justifican los autores, aunque el uso de esta tecnología ya supone una ventaja, pero sin justificar por los autores.

2.13.3. #23. (2015) Determining Tension and Compression Strength and Basic Manufacturing Feasibility of CNC Router-cut Joints

# 23 2015	Determining Tension and Compression Strength and Basic Manufacturing Feasibility of CNC Router-cut Joints	Haviarova, Eva Uysal, Mesut	Tasdemir, Cağatay Gazo, Rado	Purdue University USA
--------------	---	--------------------------------	---------------------------------	--------------------------

Haviarova, E., Uysal, M., Tasdemir, C., & Gazo, R. (2015). Determining Tension and Compression Strength and Basic Manufacturing Feasibility of CNC Router-cut Joints. In *5th International Scientific Conference on Hardwood Processing 2015. Proceedings*, 211-212, 15-17 September, Québec, Canada.

El objetivo del estudio es investigar las propiedades de resistencia de diferentes tipos de juntas que involucran el uso de producción con CNC y proporcionar a los interesados una mejor comprensión de viabilidad de fabricación de varios tipos de juntas para los diseñadores y fabricantes de muebles. Esperan que los resultados sirvan como guía o referencia en la producción eficiente de carpintería para la industria del mueble.

En las actas publicadas de esta conferencia es de reseñar el artículo que presenta el equipo de Purdue University. Se trata de la segunda publicación localizada mediante los filtros de búsqueda de esta Tesis, y de la primera acerca de la determinación de los esfuerzos de tensión sobre mobiliario producido con CNC. Es decir, la primera vez que aplican sus metodologías a los muebles fabricados con CNC de 3 ejes y que hasta entonces aplicaban a los muebles producidos de la manera tradicional.

Como se ha visto, antes que ellos fueron las universidades de Mendel o de TUZVO las que habían publicado estudios técnicos desde la óptica de la ingeniería de materiales y su resistencia. Pero en éstos aún se trataba de pruebas aplicadas a meros ensambles, y en alguna ocasión ¿el o al? estudio de una silla completa. Lo que supone este artículo de 2015, es un inicio del conocimiento de resultados que se implementarán en un estudio más profundo que presentarán en 2019. Con este breve artículo simplemente dejan constancia de su introducción en el campo de resistencia de varios ensambles con morfologías diversas. Es el paso de pequeños estudios de resistencia de los ensambles, a estudios contrastados de la viabilidad de éstos en cuanto a su producción.

Interés del trabajo de investigación

Se trata de una ponencia presentada en una conferencia, de fácil lectura por su brevedad, con aportación de interés para el objetivo de nuestro trabajo. Los datos metodológicos que pueden echarse en falta se verán implementados en la siguiente investigación de 2019; pero no obstante ello, contribuye a entender de forma clara y sucinta lo que pretenden con el análisis de los ensambles que van a testar. También son de interés las conclusiones que incluyen, a modo de resumen. Esta publicación tiene un marcado contenido propio de la Categoría 1.

Datos bibliométricos

Este artículo está publicado en las actas del 5th International Scientific Conference on Hardwood Processing (ISCHP 2015), que tuvo lugar en Quebec, Canadá, y la Reunión Anual de la Academia Internacional de Ciencias de la Madera (IAWS). La conferencia forma parte de la serie continua de ellas celebradas anteriormente en Canadá (2007), Francia (2009), EE. UU. (2011) e Italia (2013). Su objetivo principal fue reunir a las comunidades científicas y de investigación que trabajan con madera dura, desde el bosque hasta el usuario final, para compartir conocimientos e ideas. Se invita a expertos internacionales, científicos, empleados del gobierno, representantes de la industria de la madera dura, proveedores y clientes para discutir el progreso reciente y el trabajo innovador en esta valiosa área. Ni la conferencia ni el artículo se encuentran indexados ni en Scopus ni en WoS, solo aparece en Google Académico y sin citas. Este título apareció en las metodologías de búsqueda primarias de esta Tesis, en el motor de Google Académico, por ello el color rojo negrita, en la fuente de la fecha de la primera columna de la Tabla 1.

Principales aportaciones

- Beneficios en la realización de juntas con CNC: posibilita procesos de fabricación más rápidos y precisos, formas más complejas.
- Diseño, fabricación, optimización y testeo de siete tipos de uniones y 70 muestras en tableros de MDF.
- Presentación de resultados en tablas que recogen varios datos interesantes, a tener en cuenta a la hora de diseñar un ensamble, teniendo presentes diversos condicionantes según necesidades.

Aporta conocimientos para:	#23 Haviarova, E., Uysal, M., Tasdemir, C., & Gazo, R. (2015)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	Sí/No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #23 Haviarova, E., Uysal, M., Tasdemir, C., & Gazo, R. (2015).

- **TRANSFERENCIA:** Las tablas presentadas con sus resultados propicia el factor principal para transferir conocimiento sobre el uso de estas tecnologías.
- **DOCENCIA:** Las mismas tablas constituyen documentos interesantes en docencia para diseñar ensambles en los que se conoce por adelantado sus esfuerzos estimados, si se fabrican de manera parecida.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se profundiza en la manera de colaboración específica con empresas, pero su metodología genera conocimiento útil para éstas.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No evidencia la posibilidad de realización de talleres de trabajo con este fin.
- **SOSTENIBILIDAD:** Las únicas alusiones que hacen en el texto se refieren a la viabilidad en la fabricación con estas técnicas y a la producción eficiente, utilizando sus resultados como guía o referencia, demostrado de forma empírica.

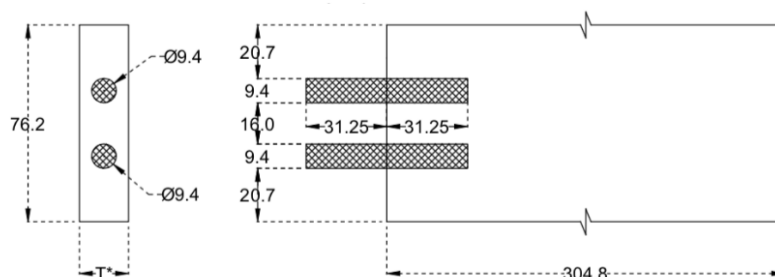
2.13.4. #31. (2019) Manufacturing Feasibility Analysis and Load Carrying Capacity of Computer Numerical Control Cut Joints with Interlocking Assembly Feature

# 31 2019	Manufacturing Feasibility Analysis and Load Carrying Capacity of Computer Numerical Control Cut Joints with Interlocking Assembly Feature	Uysal, Mesut Tasdemir, Cagatay	Haviarova, Eva Gazo, Rado	Purdue University USA
--------------	---	-----------------------------------	------------------------------	--------------------------

Uysal, M., Tasdemir, C., Haviarova, E., & Gazo, R. (2019). Manufacturing Feasibility Analysis and Load Carrying Capacity of Computer Numerical Control Cut Joints with Interlocking Assembly Feature. *BioResources*, 14(1), 1525-1544.

Cronológicamente, es éste el último artículo que aquí se analiza de los publicados por este equipo. Se trata sin duda del más profundo en cuanto a la cantidad de datos e información que aporta. De la importancia de algunos de aquéllos ya se daba una idea en el artículo publicado en 2015.

Aunque el título da una idea sobre lo que va a versar el estudio, el Grupo trata de evaluar la viabilidad de fabricación básica y la capacidad de carga que obtenían los ensambles cortados con CNC. Afirman que, utilizando esta maquinaria es posible cortar una geometría compleja de forma precisa, de manera que la fuerza de unión aumenta ya que se proporciona un mejor sistema auto-encaje. Usando lo que denominan como análisis de Diseño para Fabricación y ensamble (del inglés *Design for Manufacture and Assembly, DFMA*), el tipo de materia prima y el diseño de las uniones son los principales impulsores que tienen influencia directa en el tiempo de procesamiento y en el rendimiento del proceso de fabricación. Analizaron las capacidades de momento flector de las uniones determinadas por las pruebas de compresión y tracción, y las compararon con las de caja y espiga rectangular y las uniones con espiga tradicionales.



Ejemplo de ensamble tradicional testado con dos espigas de madera prefabricadas. Uysal et al., 2019.

En los resultados observan que los ensambles contruidos con tableros de madera contrachapada funcionaban mejor que los realizados con tableros de MDF. También observan que el nivel de capacidad de carga de las juntas contruidas en contrachapado resiste más que las realizadas en MDF. En las pruebas de compresión, las juntas cortadas con CNC y contruidas en contrachapado y MDF alcanzan resistencias iguales o superiores que las uniones tradicionales. También en los ensayos de tracción en cuanto a resistencia, arrojaron valores inferiores a los de compresión. Finalmente señalan que, en rasgos generales, con el resultado de este estudio pretenden contribuir al conocimiento teórico y práctico del diseño de carpintería de muebles.

Interés del trabajo de investigación

Como ya se ha dicho, se trata sin duda de la obra más relevante tanto de este grupo de investigación como de los otros tres grupos técnicos estudiados en esta Tesis. Interesa tanto la parte teórica en la que justifica la metodología como la parte empírica de realización de los test de análisis de resistencia. Todos los pasos que establecen en la investigación están pautados y secuenciados de manera asequible -con escasas excepciones- para interesados que provengan de las disciplinas de humanidades y no solo de los de origen y formación más técnico. Constituye también una aportación de gran interés sus conclusiones y sus tablas de resultados. Por todo lo mencionado tiene una marcada Clasificación 1. La información que proporcionan puede utilizarse para docencia en mobiliario, aunque matizando puntualmente algunos datos de cara a su comprensión por parte del alumnado.

Es interesante consultar la bibliografía ofrecida en esta investigación para encontrar entre los autores destacados a Gros que proviene del campo del diseño desde las humanidades y que, como se ha comentado, es el único citado por casi todos los ingenieros de materiales. También citan a Davis, aquí ya estudiado, que también proviene del diseño desde las humanidades. Otras citas se refieren al grupo de Mendel University. Es llamativo que Purdue University no cite a TUZVO, que también investigó en 2017, quizás porque no estuviese publicado el trabajo en el momento en que Uysal et al. cerraban su artículo. Sí es patente que al estudiar a TUZVO se constata que siguen varias de las pautas aplicadas por Purdue.

Datos bibliométricos

Este artículo está publicado en la revista Bioresources, la cual publica investigaciones de las áreas de las Ciencias del Medio Ambiente, más específicamente en ingeniería Medioambiental y gestión de residuos, y Bioingeniería de la North Carolina University. Está registrado en Scopus y WoS con un índice de impacto Q2. Su título apareció en las metodologías de búsqueda primarias de esta Tesis, en los motores de Google Académico, Scopus y WoS, por ello el color rojo negrita en la fuente de la fecha de la primera columna de la Tabla 1. No tiene citas en los motores de búsqueda mencionados.

Principales aportaciones

- Recogen una base teórica rica que justifica el uso de CNC y de ensambles en madera.
- Se centran en estudiar simultáneamente la viabilidad de fabricación y las capacidades de resistencia.

- **Multidisciplinariedad:** los ingenieros en cooperación con los diseñadores de procesos y productos, deben idear el diseño más práctico y factible, teniendo en cuenta la tecnología actual y las limitaciones de capital.
- Minimizar la cantidad de piezas sin comprometer el rendimiento del producto es una buena manera de reducir el inventario, que es la fase clave de transformación hacia una empresa más eficiente
- Garantizar que los diseños conjuntos propuestos sean compatibles con la implementación de la automatización tipo CNC.
- Esperan que los resultados de este estudio sirvan como guía para los interesados en muebles en general, diseño de carpintería, comprensión de la viabilidad de fabricación y propiedades de resistencia de diferentes tipos de juntas producidas con maquinaria CNC.
- Descripción de la metodología para los test: tipo de material, construcción de muestras, programas CAD y CAM utilizados. Tiempos de inserción, crear metodología para evaluar tiempos de construcción. Metodología de aplicación de cargas
- Tablas de información de ensambles según sus parámetros de estudio seguidos.
- Interesante leer y tener en cuenta las conclusiones generales del final de su estudio.
- En rasgos generales pretenden con el resultado de este estudio contribuir al conocimiento teórico y práctico del diseño de carpintería de muebles.

Aporta conocimientos para:	#23 Haviarova, E., Uysal, M., Tasdemir, C., & Gazo, R. (2015)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	Sí/No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #23 Haviarova, E., Uysal, M., Tasdemir, C., & Gazo, R. (2015).

- **TRANSFERENCIA:** Dentro de los grupos de investigación de carácter técnico es el documento localizado que mayor transferencia de conocimiento propicia por los resultados que aportan sus completos ensayos contribuyendo al conocimiento teórico y práctico del diseño de carpintería de muebles.
- **DOCENCIA:** Tanto las partes teóricas como sus tablas constituyen un documento muy pedagógico para su utilización en docencia. Mediante el uso de toda la

información un estudiante de diseño de mobiliario puede establecer el tipo de ensamble óptimo, previo a tener que realizar cualquier prueba.

- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se profundiza en la manera de colaboración específica con empresas, pero deja una información teórica y práctica para aplicar en cualquier empresa de diseño de carpintería de muebles.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No evidencia la posibilidad de realización de talleres de trabajo con el fin de entender mejor la tecnología de fabricación digital, pero sí se podría replicar alguna de las pruebas que describen como práctica empírica.
- **SOSTENIBILIDAD:** Introducen los conceptos de muebles DFM (*Design for Manufacturing*), DFA (*Design for Assembly*) y DFD (*Design for Dissassembly*) que tienen como objetivo tratar de reducir los costes de materiales y mano de obra, como una función del diseño y la fabricación optimizados del producto. Defienden, en la medida de lo posible, minimizar la cantidad de piezas sin comprometer el rendimiento del producto.

2.13.5. Principales aportaciones del Purdue University Group

La aportación del primer artículo se centra más en pedagogías docentes aplicables al diseño de mobiliario en todas sus facetas, para la configuración de un producto viable. Son de gran interés las guías aportadas, con los pasos necesarios para conseguir el diseño que se desee. Constituye una buena base teórica y práctica tanto para una asignatura, como para un taller o una práctica.

El segundo artículo corresponde a una primera incursión sobre realización de test para ensambles en madera, pero carente del detalle y de los resultados relevantes del último artículo. Al ser un texto más corto resulta de más rápida comprensión, a la par que centra más las ideas principales que el tercero, que puede parecer muy extenso.

Se hará referencia también, en la investigación de 2019, al interés de las tablas que presentan ya que facilitan la toma de decisiones, según las necesidades específicas de la producción. Es importante saber qué ensambles son los más resistentes, pero también otros datos, como el tiempo de corte de cada pieza, pues unos ensambles tardarán más que otros; también la relación de cantidad de material que se usa con el que se desperdicia. Sopesando todo esto con las tablas mostradas por este equipo, y sobre todo las del artículo de 2019, un diseñador de muebles puede conocer qué datos aislar y cuáles introducir en su propia ecuación.

Llama la atención que todas las muestras se realizaran solo en MDF cuando lo normal es que el contrachapado sea el material más idóneo para mobiliario, como así lo constata la investigación en esta disciplina. Puede suponerse que, al tratarse de un material más asequible y rápido para trabajar, para la investigación de esta ponencia bastaba con una primera aproximación al respecto, para continuar profundizando en esta metodología. En su siguiente investigación ya incluyen muchos ensambles en contrachapado.

El tercer artículo constituye una fuente completa de información sobre viabilidad y esfuerzos en la realización de ensambles de madera. Es el trabajo de Categoría 1 más completo de los consultados para esta Tesis. Tanto su base teórica como empírica resulta de innegable ayuda a la hora de plantearse distintas soluciones para mobiliario de madera. Su extensión puede parecer abrumadora, pero, cada uno de los datos aportados, ha generado un enorme avance en el progreso de esta disciplina.

La dedicación de este Grupo de investigación se ha volcado en dar respuesta a cualquier cuestión sobre la madera para mobiliario. Constituye sin duda un centro de referencia a este respecto a nivel mundial. No es de extrañar, después de lo que en estas páginas se ha estudiado sobre Eckelman, quien, desde su Tesis doctoral en el año 1968, ha dirigido hacia este tema todas las investigaciones en las que ha trabajado. Centro y grupo de investigación se han convertido de esta manera en equipo de referencia, debido a sus aportaciones tan sobresalientes en este campo específico de las CNC para mobiliario.

Dada la disciplina de la que proviene esta ponencia son numerosas las citas de estudios técnicos sobre sus investigaciones, sin embargo, las provenientes de las disciplinas de humanidades son más escasas. En este sentido citan a Gros, que, como se ha comentado, es el único citado por casi todos los ingenieros de materiales consultados para esta Tesis. También a Davis, ya estudiado en su momento, que también proviene del diseño desde las humanidades. Aunque son pocas alusiones a la disciplina mencionada queda patente que los ingenieros son más proclives a referenciar otras materias aledañas que los grupos de humanidades. Anastas, por ejemplo, proviene de disciplinas de arquitectura en edificación.

También resulta interesante comprobar cómo citan a otros grupos de investigación estudiados en esta Tesis, como lo hacen con el grupo de Mendel University. El hecho de que Purdue University no cite a TUZVO llama la atención, como ya se ha dicho, puesto que también habían hecho sus investigaciones al respecto en 2017, no obstante, puede que no hubieran sido publicadas en el momento que Uysal et al. cerraban su artículo. Pero sí queda patente que al estudiar a TUZVO sigan varias de las pautas aplicadas por Purdue.

Es destacable también el rigor de este equipo para justificar todas las afirmaciones y revisiones de textos que han realizado en este artículo. Otros grupos han profundizado en ciertos aspectos de la producción de mobiliario con CNC, pero este último trabajo puede considerarse como “el estado del arte técnico” más completo y extenso que se ha encontrado. Destaca no solo por las numerosas comprobaciones realizadas sino por el profundo contraste de fuentes y temáticas relacionadas con la fabricación digital de mobiliario. La única faceta que no abordan con la misma profundidad, quizás porque no es su disciplina concreta, es la relacionada con la parte estética del diseño de mobiliario. El único grupo que más se ha adentrado en ello es el de Mendel University y en particular el autor Šimek.

Toda la información aportada es relevante tanto desde el punto de vista docente como desde la empresa ya que con esta metodología no es necesario tener un profundo conocimiento de todos los cálculos técnicos, puesto que lo aportan los ingenieros; pero se facilita al diseñador una perspectiva sobre los puntos exactos a tener en cuenta cuando se diseña un mueble. Como ya mencionaran Filson y Rohrbacher (2011) no es necesario conocer todas las técnicas, sino que un arquitecto o diseñador teniendo un mínimo conocimiento puede actuar como “coreógrafo” entre disciplinas.

Aportaciones

Aporta conocimientos para:	#16, #23 y #31 Purdue University Group
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #16, #23 y #31. Purdue University Group.

- TRANSFERENCIA:** Las tres investigaciones contribuyen a la transferencia de conocimiento, el primero está más relacionado con metodologías para aplicar a diseño de mobiliario, y los otros dos mediante sus tablas y resultados de test de esfuerzos y viabilidad. El segundo es una pequeña incursión en la temática. El tercer artículo constituye el de mayor aporte de datos de todos los relacionados con grupos de investigación técnico o Categoría 1. Se centra en evaluar paralelamente la resistencia de siete ensambles digitales y dos tradicionales junto a la viabilidad de su fabricación; siendo el tercero el adecuado y más completo para revisión de sus resultados.
- DOCENCIA:** Los tres aportan información relevante. El primero es el más pedagógico para docencia presentando varias guías y metodologías para la organización en todo el proceso de diseño de un mueble, que asegura un éxito estructural. En el segundo aporta tablas de resultados algo justas comparadas con el siguiente. El tercer artículo es un documento que aporta numerosa información relevante en tablas con los resultados obtenidos y base teórica para su utilización en docencia, ayudando a tomar decisiones para diseño de ensambles de madera, según necesidades.
- COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** Del primero se podría utilizar algunas pautas que posibilitan sinergias de colaboración con empresas. El segundo en menor medida, pero el tercer artículo presenta información relevante para poder ser utilizada por cualquier empresa de carpintería para su toma de decisiones.
- TALLERES DE TRABAJO:** No hay evidencias en ninguno de los tres artículos para poder realizar un taller de trabajo; quizás en el tercero se podría replicar alguna de las pruebas que describen como práctica empírica.
- SOSTENIBILIDAD:** En el primero no se menciona, pero fomenta el uso de esta tecnología que es en sí sostenible. En el segundo artículo justifican que son técnicas que fomentan la eficiencia. En el tercero introducen pautas de diseño con tipos de muebles (DFA, DFD y DFM) que reducen los costes de materiales, mano de obra y optimización de procesos de diseño y producción.

2.14. Década 2010. Investigaciones aisladas

Además de examinar el trabajo de los cinco grupos de investigación, otros estudios aislados, pero que se han citado en la tabla, merecen mención para completar este relevamiento de nuestro conocimiento sobre diseño y trabajo con fresadoras CNC de 3 ejes utilizando materiales planos. Estas publicaciones destacan, no tanto por sus soluciones técnicas o el dimensionamiento de las piezas, sino por su valor pedagógico y didáctico.

2.14.1. #24. (2016) Parametrically Fabricated Joints: Creating a Digital Workflow

# 24 2016	Parametrically Fabricated Joints: Creating a Digital Workflow	Cormack, John Sweet, Kevin	Victoria U. of Wellington New Zealand
--------------	---	-------------------------------	--

Cormack, J. & Sweet, K. (2016). Parametrically Fabricated Joints: Creating a Digital Workflow. In *XX Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital. Crowdfunding*, 412-417, 9-11 November, Buenos Aires, Argentina.

Primero, el grupo Cormack & Sweet (2016), propuso un interesante desarrollo de trabajo en el que, la selección de ensamblajes digitales podría optimizarse mediante la aplicación de procesos digitales para aprovechar al máximo las soluciones que se están descubriendo y probando en este campo. Este grupo de investigación aborda los diversos problemas que supone diseñar ensamblajes de madera, con las limitaciones que tiene el hacerlo, con las propias fresadoras CNC y, sobre todo, por el paso de lo virtual a lo físico, que les reporta mucha información para rediseñar los ensamblajes.



Ensamble *Fingered mortise and tenon*. Inconvenientes de lo virtual a lo físico. Cormack y Sweet, 2016

Interés del trabajo de investigación

El interés que tiene este estudio es analizar la visión que exponen estos autores, con perfiles que provienen de entornos de la programación, sobre cómo materializar o plantearse, el paso entre lo virtual y lo físico de un diseño de producto. De ahí su Categoría 4. No tiene un aporte específico sobre ensambles, aunque los nombran y tratan de dar soluciones. El problema es que, ya en las fechas que se hizo el estudio, había investigaciones que respondían mejor a los problemas propuestos. Interesa ver, de todos modos, la falta de experiencia en trabajar con lo tangible, pues es de los principales problemas que advierten. Ayuda a comprender, una vez más, las dificultades que plantea pasar al mundo real desde el virtual. Tras la lectura de otros artículos, éste hace ver al lector la falta de conexión entre las distintas disciplinas del este conocimiento.

Datos bibliométricos

Este trabajo está firmado por J Cormack y K.S. Sweet, los cuales no poseen un perfil inscrito en WoS, o, Scopus. Este artículo que se analiza se publicó desde la “Victoria University of Wellington”, en Nueva Zelanda, con 21.450 alumnos y, cuyo perfil registrado en Scopus, posee 29.668 trabajos, de los cuales, el área de mayor publicación, con 14,7% (7.328) es en Ciencias Sociales; la segunda área, con más publicación, es en Ciencias de la Computación, con 7,9% (3941), donde se encontraría este artículo. Este título apareció en las metodologías de búsqueda primarias de esta Tesis, en el motor de CumIncad, por ello es, el color rojo negrita en la fuente de la fecha de la primera columna de la Tabla 1. Esta publicación solo posee una cita en Google Académico.

Este trabajo, se encuentra publicado en SIGraDi, en las actas del XX Congreso de 2016, que tuvo lugar en Buenos Aires, Argentina. El tema de ese año tomaba por título *Crowdthinking*, y revelaba las inquietudes de los investigadores sobre el trabajo colaborativo, la inteligencia distribuida y la investigación colectiva. La Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital (SIGRADI), agrupa arquitectos, urbanistas, diseñadores y artistas vinculados a los nuevos medios, y constituye la contraparte de organizaciones similares en Europa (*eCAADe*), América del Norte (ACADIA), Asia y Oceanía (CAADRIA), y Asia Occidental y África del Norte (ASCAAD). Realiza un Congreso Anual, en el que se debaten las últimas aplicaciones y posibilidades tecnológicas gráficas, con la participación de relevantes especialistas internacionales.

Principales aportaciones

- Las uniones pueden ser más avanzadas puesto que la Fabricación Digital no está sujeta a las limitaciones del ser humano.
- Redefinir la idea de ensamble a través de herramientas contemporáneas de creación y fabricación.
- Pretenden proporcionar un flujo de trabajo digital continuo desde la creación paramétrica y flexible del ensamble hasta la fabricación física final.
- Tras diseñar ensambles en CAD los prueban en fresadoras CNC e impresora 3D, que posteriormente perfeccionan en un proceso iterativo.
- La selección de un ensamble lo basan en su resistencia, calidad estética y presencia dinámica.

- Si se diseña para las capacidades de la máquina, los diseñadores deben involucrarse en los procesos de fabricación. Ya no se diseñan las formas sino el proceso de producción en sí.
- Utilizan CATIA como entorno multidisciplinar que implementa programas CAD y CAM.
- Tolerancia es el parámetro al que le dan más importancia tras las iteraciones puesto que como definen en el entorno virtual no existen las relaciones físicas y las limitaciones de los materiales.
- Tras esta experiencia afirman que la creación de un catálogo de ensamblajes puede fácilmente instalarse en cualquier programa, introducir propiedades estructurales además de comportamientos de los materiales.
- El diseñador describe unas condiciones ya decididas y programa unas reglas a ciertas partes para generar geometría más eficiente.

Aporta conocimientos para:	#24 Cormack, J. & Sweet, K. (2016)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	No

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #24 Cormack, J. & Sweet, K. (2016).

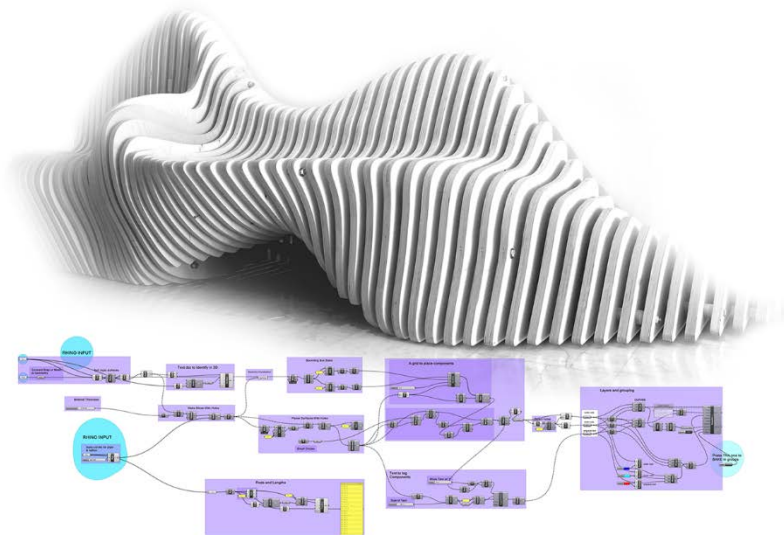
- **TRANSFERENCIA:** propicia la transferencia de conocimiento, gracias a haber documentado el desarrollo del proceso y los inconvenientes de digitalizar ese proceso de producción de ensamblajes digitales.
- **DOCENCIA:** La lectura de este documento, ayuda a entender, en docencia, las complicaciones que surgen en el proceso entre lo virtual y lo digital. No se presenta metodología específica o guías para docencia.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** no se profundiza en la manera de colaboración específica con empresas.
- **TALLERES DE TRABAJO:** no se registra ninguna forma de realización de taller de trabajo para la práctica y el entendimiento de la Fabricación Digital.
- **SOSTENIBILIDAD:** No hay ninguna alusión, pero el mero hecho de utilizar tecnología CNC constituye una técnica sostenible, aunque no esté explícitamente justificado.

2.14.2. #29. (2018) Furniture Design with Digital Media

# 29 2018	Furniture Design with Digital Media - A participative educational experiment of digital craftsmanship	Symeonidou, Ioanna	U. of Thessaly Greece
--------------	---	--------------------	--------------------------

Symeonidou, I. (2018). Furniture Design with Digital Media - A participative educational experiment of digital craftsmanship. *Computing for a better tomorrow – Proceedings of the 36th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, vol. 2, 417-426, 9-21 September, Łódź, Poland.

El trabajo de Symeonidou (2018) se ocupó de la metodología, o la pedagogía de la enseñanza, utilizada para abordar las formas paramétricas para el diseño de muebles. Esto es de gran ayuda para el profesional menos experimentado cuando se trata de ciertas complicaciones asociadas con este tipo de muebles. Registra los resultados de un taller realizado en la Universidad de Thessaloniki en Grecia por 20 estudiantes y jóvenes profesionales en donde participaron por grupos para producir una serie de mobiliarios que se construirían a escala real.



“The constructed furniture piece and its respective grasshopper definition”. Symeonidou, 2018.

El taller tiene como objetivo ofrecer una oportunidad de aprendizaje experimental, exhibiendo el completo modelo de trabajo digital para diseño de mobiliario desde su concepción hasta la producción. Las metodologías de diseño empleaban estrategias de diseño digital, vinculadas a las restricciones del material, adaptación y optimización del diseño para un equipamiento con fabricación digital. Este experimento docente dirigió a una producción a escala real de un prototipo de mobiliario que fue fabricado digitalmente y que se encuentra exhibido en la universidad.

Interés del trabajo de investigación

El interés principal es, el registro completo, de un taller de trabajo que implementa la metodología de fabricación de un mueble, con morfologías complicadas, en fresadora CNC de 3 ejes. Da un enfoque docente, o, aproximado a la docencia, para poder implementar una actividad grupal para construir mobiliario con tecnología digital. Son interesantes los puntos de vista que expone sobre la forma de implicación del docente, así como las aportaciones que dan los alumnos que participan en la actividad. Por ello esta investigación tiene una Categoría 2.

Datos bibliométricos

Este trabajo está firmado por Ioanna Symeonidou, que posee un perfil registrado en Scopus, con un total de 24 trabajos indexados, y, entre ellos, este que desarrollaremos más abajo, y sus temáticas, que están relacionadas con áreas en Ingeniería y Ciencias de la Computación, enfocadas a educación y Arquitectura. Este artículo se publica desde la University of Thessaly, en Grecia, con 42.000 alumnos y, cuyo perfil registrado en Scopus, posee 18.000 trabajos, de los cuales, el área de mayor publicación, con el 19% (5.813) es en Medicina; seguido de Ingeniería, con el 10,1% (3.092), y el área posible de publicación de Ciencias de la Computación, tiene un 8,2% (2.508).

Este título apareció en las metodologías de búsqueda primaria de esta Tesis, en el motor de CumIncad, por ello, el color rojo negrita en la fuente de la fecha de la primera columna de la Tabla 1. No posee citas en ninguno de los buscadores.

Está publicado en *eCAADe36*, en las actas de la conferencia que tuvo lugar en 2018 en Lodz, Polonia. El título de la conferencia fue: *Computing for a Better Tomorrow*, o, en castellano: *“La Computación para un mañana mejor”*. La conferencia de *eCAADe36* se encuentra registrada en WoS, con 195 trabajos registrados.

Principales aportaciones

Symeonidou no se centra en el uso pormenorizado, en sí, de una fresadora como sí lo hace AtFAB. Se centra más en facilitar un proceso de diseño activo para sacar el mayor provecho posible a esta tecnología.

- Definición del perfil del grupo de trabajo y bases para entender la dimensión del taller. Multidisciplinariedad como valor añadido.
- Esquema metodológico para desarrollo de las aptitudes del proyecto.
- Referencias y autores para el método de trabajo Learning by making. El proceso mental unido a lo físico.
- Referencias y autores para el método de trabajo Aprendizaje Basado en Proyectos.
- Explicaciones relativas al Taller que combina principios de aprendizaje activo y aprendizaje basado en proyectos.
- Referencias para el Modelo de la Teoría de Aprendizaje Experimental (ELT). Círculo de Kolb como método de aprendizaje para diseño.
- Explicación de pasos para organizar los procesos de diseño del Taller previos al mueble final. 1 Lecciones en mobiliario. 2 sketches manuales y digitales. 3 maquetas físicas. 4 Prototipos a escala.
- Diseño final del proceso “bottom-up”. Fabricación de los componentes de la propuesta final en un proceso iterativo. Parámetros diversos para la construcción.
- Explicaciones del proceso de construcción del mueble y optimización de los pasos a seguir.

- Evaluación del taller a través de: la observación sistemática de los participantes; el cuestionario anónimo, y basados en la Escolarización de Enseñanza y Aprendizaje; y, calificación utilizando la escala de Likert.
- Análisis en los aportes de la construcción participativa. El Arquitecto como colaborador y no como genio solitario.

Aporta conocimientos para:	#29 Symeonidou, I. (2018)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	Sí/No
Talleres de trabajo	Sí
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #29 Symeonidou, I. (2018).

- **TRANSFERENCIA:** Aporta una gran transferencia de conocimiento en lo que concierne a la posibilidad de realizar actividades con Fabricación Digital gracias al registro de esta experiencia tan positiva.
- **DOCENCIA:** Es un artículo con alto contenido en pedagogías docentes que ayudan y posibilitan de manera pautada y ordenada la realización de ejercicios prácticos con muy buenas argumentaciones documentadas, que sustentan todo el proceso.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se profundiza en la manera de colaboración específica con empresas, pero deja una metodología perfectamente clara y preparada para poder adoptarla por empresas y nuevos emprendedores.
- **TALLERES DE TRABAJO:** Es uno de los documentos que mejor plantea un taller pautado de trabajo con todas sus fases incluso para la recogida de datos posteriores para su evaluación. Aporta base bibliográfica de gran interés para montar y evaluar un taller.
- **SOSTENIBILIDAD:** Todo el proyecto en sí se basa en metodologías eficientes para obtener diseños sostenibles con método óptimos de ahorro, pero no se sustenta en ningún momento de forma documentada.

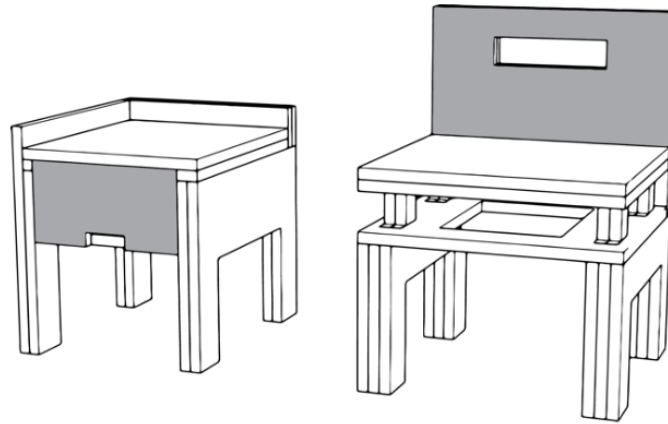
2.14.3. #32. (2019) Assembly furniture

# 32 2019	Assembly furniture	Kim, Joan	University of Iowa USA
--------------	--------------------	-----------	---------------------------

Kim, J. (2019). *Assembly furniture*. Master Thesis, University of Iowa.

Esta publicación, se corresponde con un trabajo para obtener el Máster en Bellas Artes en la universidad de Iowa. El objetivo que se plantea la autora, Joan Kim, es diseñar un juego de mobiliario, *flat pack* - o de embalaje plano -, que pueda ser fácilmente montado sin herramientas.

Este concepto de mueble va en concordancia con el creciente comercio por internet, en donde los productos se envían del (fabricante) suministrador al consumidor. El cuerpo del trabajo explica el proceso de diseño, por medio de maquetas físicas y digitales, para entender, física y visualmente, los mecanismos de ensamblaje.



Render esquemático del mobiliario propuesto. Kim, 2019.

Interés del trabajo de investigación

Su aporte, no es sobresaliente, pero presenta una forma más, de enfrentarse al problema de diseñar mobiliario con tecnología digital. Debido a que es una Tesina de máster, su nivel, si bien es acorde con lo que se exige en ese contexto, resulta algo limitado para esta Tesis. Tanto sus formas, como sus soluciones, son mejorables, pero el mero hecho de registrar esas soluciones ya aporta conocimiento al diseño de mobiliario. El valor de esta aportación no radica tanto en la propuesta de nuevas soluciones técnicas, sino en la difusión y documentación de su sistema de diseño.

Datos bibliométricos

Este trabajo está firmado por Joan Kim, quien no posee un perfil registrado en plataformas de búsquedas científicas, ya que es una tesina presentada para adquirir el título “Master of Fine Arts en la University of Iowa”, que tiene 33.300 alumnos. Esta Universidad sí posee un perfil en Scopus, con 144.552 trabajos, de los cuales, el área de mayor publicación, con el 23,9% (44.001), es en Medicina. El área de este trabajo podría ser, tanto de Ingeniería, con un 5,7% (10.445) de trabajos, o, de Ciencia de los Materiales, con 3.131. El trabajo se encuentra indexado en Google Académico, sin citas, y apareció en los resultados de la búsqueda secundaria explicada en la metodología.

Principales aportaciones

- Interés de las formas cúbicas con algunas referencias.
- Interés de los muebles Flat-pack, enfocado a un producto fácil de comercializar por internet, por su fácil transporte.
- Interés de los muebles DiY, eliminando herramientas de montaje, y simplificando los pasos de construcción.
- Desarrollo de 3 tipos de muebles: una silla, una mesa y un taburete escalón.

- La silla la resuelve diseñando 5 componentes en 6 pasos, y presenta un desarrollo del trabajo.

Aporta conocimientos para:	#32 Kim, J. (2019)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #32 Kim, J. (2019).

- **TRANSFERENCIA:** Documentar este tipo de procesos para realización de mobiliario con CNC, constituye ya, una transferencia de conocimiento, aunque en menor medida que otros trabajos.
- **DOCENCIA:** Recoger los pasos que ha dado, para poder llegar a la construcción de un mueble con CNC, supone una pequeña guía que aporta algo de pedagogía para Docencia.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se profundiza en la manera de colaboración específica con empresas.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No se evidencia la posibilidad de establecer un taller de trabajo específico, pero la metodología por pasos, de lo realizado por la autora, podría suponer un principio de réplica de un taller con el fin de entender mejor la tecnología de fabricación digital.
- **SOSTENIBILIDAD:** Las únicas alusiones que aporta, son la introducción de muebles flat-pack y DiY, por facilidad de transporte, pero sin justificación específica.

2.14.4. #33. (2021) Simply Wood. Design of All-Wood Furniture Joints

# 33 2021	Simply Wood, Design of All-Wood Furniture Joints	Braun, Moritz	Linæus University Sweden
Braun, M. (2021). Simply Wood: Design of All-Wood Furniture Joints. Master Thesis, Linæus University.			

El siguiente, y último artículo recopilado en la Tabla 1, pertenece a Braun. Es una Tesis de máster, que presenta gran interés, puesto que hace un análisis de todos los sistemas de uniones de piezas de madera.

Una parte de su investigación va relacionada, con la sostenibilidad de esos elementos, que pueden ser de diversos materiales, y la problemática que presenta en el mismo campo, y sobre la que se profundizará en el Capítulo 4.

Y, otra parte de su investigación se centra en métodos de uniones que no precisan de otros materiales, sino que, por encaje o morfología de las piezas, quedan ajustadas, pues su objetivo principal es examinar las posibilidades de un mobiliario que cumpla con los requisitos de economía circular. Pretende explorar y categorizar, con su estudio, las soluciones ya existentes para estas uniones, así como crear una guía para practicantes que desarrollen nuevas soluciones técnicas. Concreta ciertas delimitaciones y, propone nuevos tipos de uniones, pero no las desarrolla en sí. Se podría decir que deja planteadas varias vías para detallar y profundizar; que realiza un preestudio de situaciones factibles para realizar nuevas uniones.

Interés del trabajo de investigación

De las partes más relevantes, se subraya la sostenibilidad de los ensambles de piezas, que no son de madera, sino de otro tipo de materiales también, como metales o plásticos. Son interesantes los esquemas de actuación que implementa para según qué solicitaciones y maquinaria disponible, y que solucione las uniones entre piezas de madera. Debido a que no se centra solo en uniones en madera hechas con fresadora CNC de 3 ejes, sino que profundiza en todas las uniones existentes en el mercado, se desvía algo del enfoque de esta Tesis, pero como base, es interesante conocer de manera resumida todas las opciones disponibles.

Datos bibliométricos

Este trabajo está firmado por Moritz Braun, quien no posee un perfil registrado en plataformas de búsquedas científicas, ya que se trata de una tesina presentada para adquirir el título de “Master of Innovation Engineering”, en la Linnaeus University; y que posee 44.150 alumnos. Esta Universidad cuenta con un perfil en Scopus, con 3.472 trabajos, de los cuales, el área de mayor publicación, con un 12,4% (736), es en Ciencias Sociales. El área de este trabajo podría ser, tanto Ingeniería, con un 10% (592) trabajos, como Ciencia de los Materiales, con un 4,4% (264). El trabajo se encuentra indexado en Google Académico, con 1 cita, y apareció en los resultados de la búsqueda primaria explicada en la metodología, por ello, el color rojo negrita en la fuente de la fecha de la primera columna de la Tabla 1. Solo posee una cita en Google Académico.

Principales aportaciones

- Describe los 3 niveles de abstracción para modelos de productos, según Ponn y Lindemann (2011, como se citó en Braun 2021).
- Trabajo sobre “Nivel Efecto” profundizando en ensambles de madera tradicionales japoneses y europeos.
- La geometría se debe adaptar a la técnica de fabricación que se utilizará.
- Explicación de Taller práctico, como metodología para desarrollar soluciones para ensambles de madera, aunando sus principios, patrones y conceptos estudiados.
- Simulaciones virtuales FEM de las zonas críticas, en caso práctico, con el programa de Autodesk, Fusion 360.
- Desarrollo de sus 14 principios, 6 patrones y 6 conceptos, como método a modo de caja de trabajo, para sintetizar el tipo de unión, y técnica a aplicar, según las solicitaciones específicas.

- Facilita generar diferentes ideas, sin divagar en detalles, siendo, por ello, accesible a practicantes que no tienen una formación de ingenieros, y haciendo el proceso de desarrollo más accesible y menos técnico, como los diseñadores de producto.
- Los Estudios sobre la sostenibilidad de los ensambles, se encuentran analizados en el Capítulo III.

Aporta conocimientos para:	#33 Braun, M. (2021).
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	Sí/No
Talleres de trabajo	Sí
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de #33 Braun, M. (2021).

- **TRANSFERENCIA:** Aporta transferencia de conocimiento en cuanto a desarrollo de ensambles, en general, pero algo limitado en cuanto a fabricación CNC, puesto que es un estudio, efectivamente, más generalista.
- **DOCENCIA:** Tanto sus esquemas de sintetización, como la explicación del taller, constituyen elementos interesantes para aplicar en Docencia.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se profundiza en la forma de colaboración específica con empresas, pero deja una metodología perfectamente clara y preparada para poder adoptarla por empresas y nuevos emprendedores.
- **TALLERES DE TRABAJO:** Presenta un taller de trabajo con una dinámica relevante, para tratar de solucionar problemas de ensambles en muebles. No va enfocado específicamente a CNC de 3 ejes, pero es una de las opciones.
- **SOSTENIBILIDAD:** No nos detenemos en este resumen, ya que se analizará en el Capítulo III, pero aporta un estudio muy bien documentado sobre la insostenibilidad de muchos ensambles con materiales que no son en madera.

2.15. Otras publicaciones

Una vez culminado todo el recorrido por todos estos trabajos seleccionados para este estudio, también resulta necesario hacer mención de algunos otros, que no están enumerados en la Tabla 1 porque su temática se aleja del alcance específico del presente trabajo, pero lo toca tangencialmente, y, por ello, revisten interés por su posible influencia en futuros enfoques sobre los ensambles digitales, ya que abre otros campos o disciplinas, como comprobaremos, y que, como ya hemos puesto de manifiesto, lo óptimo sería trabajar transversalmente entre todas estas disciplinas para poder abarcar todo el conocimiento, y ser más eficientes con una dimensión más globalizada. Entre ellas está la ingeniería de la computación, con la que iniciaremos este contexto.

2.15.1. (2018) MatchSticks: Woodworking through improvisational digital fabrication

Tian, R., Sterman, S., Chiou, E., Warner, J., & Paulos, E. (2018). MatchSticks: Woodworking through improvisational digital fabrication. *UC Berkeley*.
<http://dx.doi.org/10.1145/3173574.3173723>

El artículo presenta MatchSticks, un sistema de fabricación digital dirigido a la realización de ensambles de madera, que combina una máquina CNC transportable, con una pantalla táctil, y una librería paramétrica de ensambles. Posibilita a los usuarios crear artefactos de madera rápidamente. Como se ha ido argumentando, la fabricación digital con madera, normalmente, se centra en el uso de fresadoras CNC para cortar piezas de materiales laminados - como el contrachapado -, mientras que, esta nueva técnica, es capaz de producir uniones de piezas con ensambles complejos que antes requerirían varias herramientas con el trabajo de la madera.

Interés del trabajo de investigación

Desde la Categoría 4, es muy enriquecedor conocer el desarrollo de esta máquina CNC portátil que realiza ensambles en madera. No es en sí una fresadora CNC de 3 ejes, sino una herramienta más pequeña. Trata de acercar la tecnología digital a una herramienta semi manual, evitando necesitar el conocimiento especializado en programas CAD/CAM.

Datos bibliométricos

La investigación se encuentra publicada en las actas de la *Conference on Human Factors in Computing Systems* de 2018, celebrada en Montreal. Es importante destacar cómo aparecen en Scopus dichas actas, pues están registradas en el área de Ciencias de la Computación, por lo que, pese a poderse pensar que estaría enfocado a diseño de mobiliario o de productos, sin embargo, se encuentra desarrollada por este campo emergente en los últimos años. Igualmente es importante destacar que, estas actas, se encuentran en el primer percentil de publicación (Q1), en sus tres áreas específicas de publicación, que están todas ellas relacionadas con las ciencias de la computación; lo que revestiría a este trabajo de un significativo interés. Su grupo de investigación pertenece a la universidad de California Berkeley.

Por ello, se hizo un pequeño seguimiento, para esta Tesis, del perfil de los autores por si sus trayectorias fueran de interés para el estudio de los ensambles digitales de madera, ya que una de sus palabras clave es *woodworking*. Pero, observando a cada uno de los autores, sus mayores aportaciones en la ciencia de la computación tienen que ver con impresión; y, mayoritariamente, con impresión 3d, pero nada relacionado y de utilidad directa con esta Tesis. La Universidad

Berkeley de California, tiene publicados 283.122 artículos en Scopus, de los cuales, Ciencias de la Computación, se encuentra en la cuarta posición, con 30.464 artículos y acaparando el 6,4% del total. Posee 20 citas en Scopus, 11 en WoS, y 28 en Google Académico.

Principales aportaciones

- Presentan distintas acreditaciones, por métodos comparativos, entre fresadoras CNC y herramientas manuales.
- Explicaciones del proceso de uso de la máquina.
- Características de la máquina.
- Conocimiento y capacidades de los ensambles en madera introducido en la máquina.
- Explicaciones del diseño mecánico de la máquina.
- Beneficios del uso de la máquina.
- Categorización de ensambles según su forma de unirse.
- Explicación del flujo de trabajo.
- Recogida y análisis de datos sobre un taller práctico.
- Discusiones y enfoques futuros.

Aporta conocimientos para:	Tian, R., Sterman, S., Chiou, E., Warner, J., & Paulos, E. (2018).
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	Sí/No
Talleres de trabajo	Sí
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de Tian, R., Sterman, S., Chiou, E., Warner, J., & Paulos, E. (2018).

- **TRANSFERENCIA:** Aunque no es una fresadora de 3 ejes, sino otro tipo de máquina, aporta transferencia de conocimiento hacia la fabricación digital ya que en cierta medida la aproxima. Es un enganche previo hacia la fabricación digital.
- **DOCENCIA:** Las comparativas que realizan entre trabajar con fresadora CNC de 3 ejes y su máquina, dan un enfoque muy pedagógico para entender ciertas ventajas e inconvenientes que se plantean al trabajar con estas nuevas tecnologías, que son matices que únicamente se pueden apreciar con la experiencia de su uso.

- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se profundiza en la manera de colaboración específica con empresas, pero deja alguna metodología para poder adoptarla por empresas y nuevos emprendedores.
- **TALLERES DE TRABAJO:** El taller descrito no está perfectamente definido como el de Symeonidou, pero da ideas y pautas alternativas para montarlo. Su base de recogida de datos es también interesante.
- **SOSTENIBILIDAD:** Aunque no está objetivamente contrastado, la versatilidad de la máquina para usar materiales de madera de desecho, le da su carácter sostenible.

2.15.2. (2020) Traditional Knowledge on Modern Milling Robots

Schwarzmann, W. (2020). "Traditional Knowledge on Modern Milling Robots - How CNC-joinery machines promote a renaissance to lost techniques in the profession of a carpenter" en Werner, L y Koering, D (eds.), *Anthropologic: Architecture and Fabrication in the cognitive age - Proceedings of the 38th eCAADe Conference - Volume 2*, TU Berlin, Berlin, Germany, 16-18 September 2020, pp. 597-604.

Este artículo, que tampoco se ha introducido en la tabla porque excede del tema investigado, sin embargo, también cobra interés por la visión que el autor da sobre la citada diatriba entre la máquina y el hombre y la desconfianza existente sobre la posible suplantación en el trabajo. Su investigación va más enfocada hacia el estudio de la unión de cola de milano, pero a una escala mayor que el mobiliario, más hacia estructuras para construcción. Es muy significativo el testimonio que se recoge de un carpintero con una experiencia de varias décadas en el sector, sobre su visión de la introducción de esta tecnología en su campo. Este estudio, en lugar de aplicar directamente lo innovador y simplificar los métodos de construcción, lo que hace es que el carpintero incorpore sus métodos históricos y desarrolle una forma de trasladar a la tecnología su dilatada experiencia. Así, se muestra cómo un nuevo robot permite una disposición de producción que, de otra forma, no sería nunca tan asequible por sí mismo. Como menciona el carpintero, este resultado es esperanzador, pero para él la ventaja real es incrementar ese sistema de producción al fusionar el robot con la habilidad en artesanía y conocimiento típico de esta profesión.

Interés del trabajo de investigación

Interesa la visión colaborativa que aporta el autor, tras la implementación de una fresadora CNC en un taller carpintería tradicional, así como la posibilidad de poder insertar un conocimiento práctico proporcionado por un carpintero experimentado, a la programación de la máquina, para mejorar el producto final. Se advierte, con el uso de la maquinaria, de la falta de una función, fácil de implementar, que mejoraba el resultado final del producto a realizar. Es un enfoque más bien teórico, pero enriquece el conocimiento de esta tecnología.

Datos bibliométricos

Este trabajo está firmado por Wolfgang Schwarzmann, que posee un perfil registrado en Scopus, con un solo trabajo indexado, que es el que también se desarrollará más abajo, y sus temáticas están relacionadas con áreas en Ingeniería, Ciencias de la Computación y Ciencias Sociales. Este artículo que se publica desde la University of Liechtenstein, dentro del departamento de Arquitectura y Planeamiento. Dicha universidad tiene 800 alumnos, y su perfil registrado en Scopus posee 751 trabajos, de los cuales, el área de mayor publicación, con el 27,6% (361) es *Business, Management and Accounting*, seguido de Ciencias de la Computación, con el 26,6%

(348). En Scopus posee 3 artículos indexados, y uno es este, pero sin citas. Solo posee una cita en Google Académico.

Está publicado en *eCAADe38*, en las actas de la conferencia que tuvo lugar en 2020 en Berlín, Alemania. El título de la conferencia fue: “Anthropologic - architecture and fabrication in the cognitive age”, o, en castellano: “*Antropología, arquitectura y fabricación en la era de lo cognitivo*”. La conferencia de *eCAADe38* se encuentra registrada en WoS, con 148 trabajos registrados.

Principales aportaciones

- Breve visión de historia de la carpintería y la irrupción, poco a poco, de nuevas tecnologías.
- Caso de estudio de un taller que implementa CNC junto con el análisis de sus aportes.
- Conclusiones y aportes de interés tras el análisis de los resultados obtenidos.
- Cómo las máquinas de carpintería CNC, promueven un renacimiento de las técnicas perdidas en la profesión de carpintero.

Aporta conocimientos para:	Schwarzmann, W. (2020)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí/No
Colaboración con empresas	Sí/No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	Sí/No

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de Schwarzmann, W. (2020).

- **TRANSFERENCIA:** Además de la propia publicación de este artículo, la transferencia de conocimiento más importante que hace es documentar cómo, de la integración de máquinas fresadoras CNC en un taller de carpintería tradicional, y debido a la experimentación y trabajo con la nueva tecnología, se corrigen y amplían las capacidades que puede aportar la máquina.
- **DOCENCIA:** No se evidencia ninguna guía o metodología para implementar en docencia, pero supone un aporte pedagógico el documentar la reintegración del conocimiento humano en una tecnología de producción moderna.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se profundiza en la manera de colaboración específica con empresas, pero se documenta el efecto que ha producido la integración una fresadora en una empresa. Dicha metodología se podría adoptar para colaborar con empresas y nuevos emprendedores.

- **TALLERES DE TRABAJO:** No se evidencia la posibilidad de establecer un taller de trabajo específico, que pueda hacer entender mejor la tecnología de fabricación digital.
- **SOSTENIBILIDAD:** Dentro de sus 3 valores en artesanía, el 2º, fomenta utilizar materiales en un radio de 20-40 km y, el 3º, introducir variedad de métodos de construcción en sintonía con decisiones económicas y constante optimización de procesos. Es la visión de un carpintero experimentado, pero sin justificación documentada.

2.15.3. (2020) Snap-Fit Joinery System Using Pinewood Material Elasticity Properties. (Samboro et al. 2020)

Samboro, M.Y., y Kuswanto, D. (2020). Snap-Fit Joinery System Using Pinewood Material Elasticity Properties. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 52, 798-804.

Los principales temas sobre los que habla este artículo son, el uso de la madera como material de unión, y un tipo de sistema de ajuste a presión; optimización y eficiencia del uso de la tecnología de corte; y método para aplicar el sistema de ajuste a presión - que tanto se usa en plástico - para adicionar partes separadas. Sostienen que es posible, gracias a la elasticidad del pino, y que tratan, con este estudio, de encontrar la forma adecuada para mitigar las fatigas. Para ello el experimento se realizó usando una fresadora CNC para fabricar con más precisión.

Interés del trabajo de investigación

La base de referencias es algo pobre en la temática que estudia. Es relevante ver cómo se comporta la madera, en este tipo de movimientos, que han sido más estudiados en piezas de plástico. Se advierte poca destreza con el trabajo de fresadoras CNC de 3 ejes a la hora de producir las piezas de ajustes que proponen. Es conveniente conocer que hay estudios sobre este tipo de uniones, aunque sean poco profundas.

Datos bibliométricos

Este artículo aparece en una de las revisiones de los buscadores realizados para la tabla. Se publica en 2020, en la revista *Journal of Engineering and Technological Science*, que es de Indonesia y, según scimago es un Q3, por lo que su impacto no es muy elevado. El área de la revista es Ingeniería General, siendo de carácter muy técnico, o Categoría 1, y, el primer autor, no posee otra publicación en WoS, pero sí su segundo autor, que es más veterano, si bien su área de trabajo no va enfocada a ensamblajes de mobiliario. El Institut Teknologi Sepuluh Nopember posee un perfil en Scopus, con 10115 trabajos registrados, de los cuales, el 21,8% (4322), se encuentran en el área de Ingeniería; y, con el 17% (3368) en Ciencias de la Computación.

Principales aportaciones

Aporta conocimientos para:	Samboro, M.Y., y Kuswanto, D. (2020).
Transferencia	Sí
Docencia	No
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	No

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de Samboro, M.Y., y Kuswanto, D. (2020).

- **TRANSFERENCIA:** Además de la propia publicación de este artículo, aporta transferencia de conocimiento, a través de sus datos empíricos, para tenerlos en cuenta al diseñar otras piezas.
- **DOCENCIA:** No se aporta ninguna pedagogía, o guía específica, que ayude en docencia con estas técnicas, más allá de comprobar, tras su lectura, las posibilidades de este sistema.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se profundiza en la manera de colaboración específica con empresas, pero con sus resultados aporta información para diseño.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No se evidencia la posibilidad de establecer un taller de trabajo específico, que pueda hacer entender mejor la tecnología de fabricación digital.
- **SOSTENIBILIDAD:** No existe ninguna aportación concreta sobre temas sostenibles, aunque, ya el uso de este material y de esta técnica de corte, sí lo son.

2.15.4. (2021) Fabrication-aware Design for Furniture with Planar Pieces

Yan, W., Zhao, D., & Mehta, A. (2021). Fabrication-aware design for furniture with planar pieces. *Robotica*, 41(1), 48-73. doi:10.1017/S0263574722000443

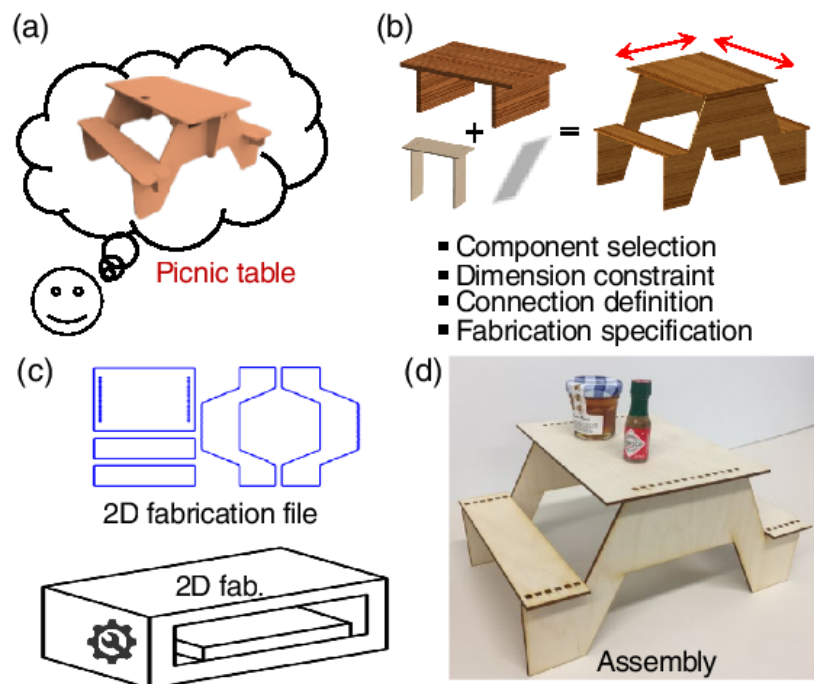
Es importante analizar este artículo, dentro de nuestra área, porque sus autores tratan de crear una herramienta computacional de diseño para posibilitar que usuarios casuales puedan fácilmente diseñar, fabricar, y ensamblar mobiliario *flat pack*, y con la garantía de que se pueda producir. Los usuarios seleccionan componentes, desde una librería, e introducen sus dimensiones; posteriormente, determinan las uniones de manera abstracta; y, luego se especifica el material, junto a las necesidades mecánicas de uso del mueble, que ya vienen automatizadas; y finalmente, el sistema crea unos modelos 3D para visualizar y dibujos mecánicos para fabricar.

Interés del trabajo de investigación

Es importante conocer cómo, desde la disciplina de las Ciencias de la Computación, se está tratando de solucionar la configuración de muebles según unas medidas dadas. Solo le faltaría una conexión con otra disciplina, que les diera las posibles soluciones, para unir estos planos que configuran muebles. El programa crea todos los planos necesarios, en base a unos datos solicitados, para crear un mueble, pero no tiene solucionado cómo ensamblarlos.

Datos bibliométricos

Este artículo se encuentra publicado, en 2021, en la revista Robótica, en el campo de Ciencias de la Computación que, según esta área, es una revista que se mueve entre un Q2 y Q3. Se introducen en la Categoría 4. Todos los perfiles de los autores son de Ciencias de la Computación.



“Workflow for making furniture. We use a picnic table as an example. (a) Conception of designs; (b) Design in our system. Users select components (or designs) from our library, constrains their dimensions, define connections of selected components (or designs), and input fabrication specifications (e.g., materials and corresponding thicknesses); (c) 2D fabrication. The output 2D fabrication file is patterned on planar materials (e.g., plywood, 3 mm) by 2D fabrication machinery (e.g., laser cutter); (d) Assembly. Furniture is built with easy-to-assemble joints through interference fit.” Yan, W., Zhao, D., & Mehta, A., 2023.

Principales aportaciones

Aporta conocimientos para:	Yan, W., Zhao, D., & Mehta, A. (2023)
Transferencia	Sí
Docencia	No
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de Yan, W., Zhao, D., & Mehta, A. (2023).

- **TRANSFERENCIA:** Aporta transferencia de conocimiento en el campo de la ingeniería de la Computación. En el campo de diseño de mobiliario, aporta conocer que hay ingenieros que se aproximan a la configuración de un mueble con cortes rectos, pero no introducen los ensambles en esa configuración, ni el diseño de mobiliario en sí.
- **DOCENCIA:** No se aporta ninguna pedagogía o guía específica, que ayude en docencia con estas técnicas, más allá de comprobar, tras su lectura, las posibilidades de este sistema.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se profundiza en la manera de colaboración específica con empresas.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No se evidencia la posibilidad de establecer un taller de trabajo específico que pueda hacer entender mejor la tecnología de fabricación digital.
- **SOSTENIBILIDAD:** No existe ninguna aportación sobre temas sostenibles, aunque el uso de esta técnica posibilita una sostenibilidad del sistema.

2.14.5. (2017) Towards Zero-Waste Furniture Design

Koo, Bongjin & Hergel, Jean & Lefebvre, Sylvain & Mitra, Niloy. (2017). Towards Zero-Waste Furniture Design. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. DOI: 10.1109/TVCG.2016.2633519.

Este artículo se plantea y relaciona, desde las disciplinas de las ciencias de la computación, con el desperdicio de material que puede producir la construcción de mobiliario, y que podría contenerse desde las fases iniciales del diseño de ese mobiliario.

Interés del trabajo de investigación

Nuevamente, interesa conocer cómo, desde la Categoría 4, otros investigadores también intentan, por medio de su programación, ahorrar material desde las fases iniciales de diseño.

Principales aportaciones

Aporta conocimientos para:	Koo, Bongjin & Hergel, Jean & Lefebvre, Sylvain & Mitra, Niloy. (2016)
Transferencia	Sí
Docencia	No
Colaboración con empresas	No
Talleres de trabajo	No
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de Koo, Bongjin & Hergel, Jean & Lefebvre, Sylvain & Mitra, Niloy. (2016).

- **TRANSFERENCIA:** Aporta transferencia de conocimiento en el campo de la ingeniería de la Computación. En el campo de diseño de mobiliario, aporta el ser conscientes de que ya hay ingenieros que propician la configuración de un mueble que posibilite opciones para reconfigurar ciertas partes, y se permita optimizar mucho mejor el uso del material.
- **DOCENCIA:** No se aporta ninguna pedagogía o guía específica que ayude en docencia con estas técnicas, más allá de comprobar, tras su lectura que, mediante la computación también es posible ahorrar material, ya, desde las fases iniciales del proceso de diseño.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** No se profundiza en la manera de colaboración específica con empresas.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No se evidencia la posibilidad de establecer un taller de trabajo específico que pueda hacer entender mejor la tecnología de fabricación digital.
- **SOSTENIBILIDAD:** La propia solución que plantea el área de Ciencias de la Computación, a lo que trata de dar respuesta es a la sostenibilidad en sí misma, con un enfoque totalmente ecológico, al abrir la posibilidad de minimizar el desperdicio del material desde el proceso de diseño.

2.15.6. (2021) El Diseño de mobiliario de madera fabricado por router CNC.

Becerril, V., Rosas, V., López, P, y Rosel, M. (2021). El Diseño de mobiliario de madera fabricado por router CNC. *Actas de Diseño*, vol. 37. Facultad de Diseño y Comunicación. Universidad de Palermo. pp. 31-375. ISSN 1850-203

Se ha localizado también otro artículo, que tiene algunos puntos de vista adecuados, para la fundamentación de varios de los objetivos que tiene esta Tesis. El enfoque más importante es justificar la necesidad de dotar, a los alumnos de diseño, de capacidad de trabajo con tecnología CNC, porque repercutirá en un mejor diseño de productos. Muestran referencias sobre los beneficios prácticos, en eficiencia de trabajo, que aportan los procesos de diseño y sus metodologías con CNC.

Posteriormente, el artículo dispone un panorama comparativo entre distintos países y, destacando México, país donde se localiza la universidad donde se investiga, sobre la situación técnica de la industria del mueble. Finalmente, se completa con unas pinceladas de las tecnologías específicas para mobiliario con Fabricación Digital.

Interés del trabajo de investigación

El interés principal, es la posición de los autores con respecto a la necesidad de introducir las tecnologías de Fabricación Digital en el diseño de mobiliario en la docencia. Y, por ello, también presenta referencias significativas para mobiliario CNC y su implementación.

Principales aportaciones

Aporta conocimientos para:	Becerril, V., Rosas, V., López, P, y Rosel, M. (2021)
Transferencia	Sí
Docencia	Sí
Colaboración con empresas	Sí/No
Talleres de trabajo	NO
Sostenibilidad	Sí

Tabla. Áreas temáticas de aportaciones de Becerril, V., Rosas, V., López, P, y Rosel, M. (2021).

- **TRANSFERENCIA:** Tratan de argumentar la necesidad de la utilización de las nuevas tecnologías como herramienta que complete al nuevo diseñador.
- **DOCENCIA:** Las contribuciones son más relacionadas con establecer una base que justifique el uso de la tecnología en las escuelas de diseño.
- **COLABORACIÓN CON EMPRESAS:** no se profundiza en la manera de colaboración específica con empresas, pero argumentan beneficios directos para las empresas.
- **TALLERES DE TRABAJO:** No se evidencia la posibilidad de establecer un taller de trabajo específico que pueda hacer entender mejor la tecnología de fabricación digital.
- **SOSTENIBILIDAD:** Afirman de alguna manera la sostenibilidad que aporta este sistema de producción.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Esta discusión es el producto del estudio realizado con el objetivo de lograr conocer y estudiar lo que se ha escrito sobre la fabricación digital de mobiliario con fresadora CNC de 3 ejes. El conocimiento no se ha querido limitar a un estudio teórico por parte del autor de esta memoria, sino que los conceptos y técnicas aplicadas por los diversos autores las hemos ido experimentando en la máquina para conseguir simultáneamente aprender y poner al día su manejo, sus ventajas y las limitaciones de la herramienta. Por eso la discusión es compleja e interpretativa también jugando con nuestra experiencia. Conviene recordar que como resultado de la práctica se pudieron elaborar prototipos y construcciones que han sido parcialmente incluidos (10 experiencias) en el capítulo 2.3. y Apéndice 2. Como se ha dicho, al tiempo que se iba desarrollando el proceso de autoformación se proyectaba el conocimiento sobre la enseñanza universitaria que se desarrollaba en varias materias de Diseño en la Universidad Rey Juan Carlos. Complementariamente se atendía, en las experiencias aportadas por distintos autores y recogidas en referencias bibliográficas, a los aspectos de transferencia hacia el campo industrial para cerrar el círculo virtuoso.

3.1. Contenido para formación, docencia e investigación

Se analizan las publicaciones y se procede a su estudio crítico de cara a las posibilidades y avances que autores anteriores aportan en la fabricación digital con fresadora de 3 ejes, y en particular en el tema central de esta nueva técnica de fabricación que son los ensambles. Se incluyen interpretaciones propias. Las temáticas se dividen en 5: justificación de la adecuación de la CNC, tipos de ensambles utilizados por los distintos autores, sistemas para la enseñanza y muestra del conocimiento digital para mobiliario, análisis de algunos talleres de trabajo de especial interés para la enseñanza a cualquier nivel, y la valoración de debilidades y fortalezas de la fabricación digital en particular con la fresadora CNC de 3 ejes.

3.1.1. Discusión sobre el uso de la fresadora CNC

A lo largo del estudio pormenorizado (Apéndice 1, dentro de los materiales adicionales pág. 244-366 de esta memoria) se ha profundizado en los contenidos relacionados con esta tecnología. A continuación, se presenta el análisis sintético de lo estudiado con el fin de centrar la posición específica de la utilización de la fabricación digital en diseño.

Conocido es ya que la introducción de la tecnología CNC ofrece múltiples ventajas y que ha traído consigo una competencia global para todo tipo de fabricantes. Significa un cambio radical en la forma de producir que afecta a muchos campos. Abarca desde la forma de concebir cómo producir los mismos productos, o parecidos, aunque con distintas técnicas por parte de los diseñadores, así como el tipo de técnico especializado necesario para estos nuevos sistemas, y llega hasta el impacto en la sociedad tanto en lo estético como en aspectos logísticos y económicos. Esta transformación se está registrando lentamente en la industria. La introducción de estos cambios de producción y la utilización de estas técnicas que propician el uso de materiales no contaminantes como la madera constituyen la base de un nuevo modelo sostenible en producción de artefactos que persiguen la defensa de los ODS³ en diseño. En la transferencia de estas tecnologías se apoyan las economías circulares basadas en un modelo de producción y consumo que implica compartir, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes tantas veces como sea posible.

Históricamente es constatable que con la introducción de las adecuadas nuevas tecnologías se aumenta la competitividad en la industria de muebles. En el campo del diseño de mobiliario la innovación más importante durante el siglo XIX fue la técnica del doblado de la madera por medio de vapor y presión (Šimek et al., 2013). El artífice de tal innovación fue Michael Thonet (1796-1871). No solo significó este hito una revolución en la técnica utilizada, sino que marcó un precedente que muestra cómo las nuevas formas de producción demandan nuevos productos, y viceversa (Gros & Sulzer, 2001).

Además, actualmente, la introducción de centros de mecanizado controlados por computadora CNC ha significado una auténtica revolución para la industria del mobiliario. Por ponernos en situación, esta tecnología se desarrolla en los años 40 y 50 del siglo XX en Estados Unidos, asociada directamente a la industria de la automatización. Su nacimiento se le debe atribuir a John T. Parsons quien fue el primero en aplicarla a la industria de la aviación (Šimek, 2017). Es muy utilizada en este sector debido a la complejidad de formas de sus componentes. Con el paso del tiempo el precio de la tecnología se ha democratizado y su uso va en aumento. Se inició en la

³ODS, Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se desarrolla ampliamente en el capítulo 4.

industria del mobiliario en la década de 1980 (Šimek, 2018) como forma meramente industrial, solo como un procedimiento para optimizar los procesos automatizados.

Se comienza a aplicar, por primera vez en docencia en el campo del mobiliario, experimentalmente, en los años 90 del pasado siglo en la universidad de diseño de Offenbach, dentro del proyecto experimental denominado C-Lab.



Molde de acero para doblado de madera de Thonet. Fuente: Armas-Crespo, V. Museo de diseño Munich.

En la actualidad, se está implantando generalizadamente en los centros educativos y universitarios de arquitectura y diseño de vanguardia, dadas las ventajas que ofrece. y que se expondrán en toda esta investigación.

3.1.2. Ensamblés: análisis y discusión

Dentro de este epígrafe se recogen en primer lugar los tipos de ensamblés utilizados por los distintos autores. A continuación, se discuten los aspectos técnicos en relación con los ensamblés y seguidamente se discuten los aspectos estéticos de los mismos. Finalmente se discute el concepto e interés del prototipado rápido como procedimiento eficiente para el proceso de fabricación digital.

Analizando en primer lugar los trabajos de Categoría 3 (perspectivas o enfoques que provienen de entornos del diseño) aparecen los Grupos de Investigación de la Universidad de Offenbach (C-Lab at HfG) y de la Universidad de Kentucky (AtFAB at UK), en los que se percibe un marcado carácter integral. En el caso de Offenbach, un grupo o escuela que ya era experto en diseño de mobiliario,

al aparecer una fresadora CNC de 3 ejes, se plantean la manera de producir mobiliario y producto desde un primer punto de vista teórico, analizando en profundidad el encuadre del diseño en la época (último cuarto del siglo XX). Paralelamente van experimentando con la nueva tecnología y, posteriormente, aportan sus soluciones. Este proceso tiene gran semejanza con lo realizado en la Escuela de la Bauhaus; conviene recordar aquí que el Grupo de Offenbach se considera heredero de ella. Sin romper con esos planteamientos, en la Universidad de Kentucky, una década más tarde (2011), se centraron en un proyecto integral. Aunque estos investigadores también son principalmente “diseñadores”, sus trabajos profundizan más aspectos tecnológicos posiblemente debido a que por entonces ya había un mejor acceso a ellos y mejores desarrollos.

Analizando en segundo lugar los trabajos de carácter más técnico de Categoría 1 (perspectivas o enfoques que provienen de entornos de la ingeniería de la madera), aparecen los Grupos de Investigación de las Universidades de Mendel, Zvolen y Purdue, en cuyas soluciones no intentan reflexiones transversales. Su aportación consiste particularmente en la incorporación del avance que supone el uso de una maquinaria nueva que trae consigo nuevas maneras de producir mobiliario. Por lo tanto, estos grupos realizan estudios y trabajan en buena parte con metodología que ya se aplicaba a los muebles que se producían de forma tradicional, pero usando la nueva forma de producir digitalmente, para soluciones concretas, como por ejemplo comprobar las resistencias de ensambles o formas específicas.

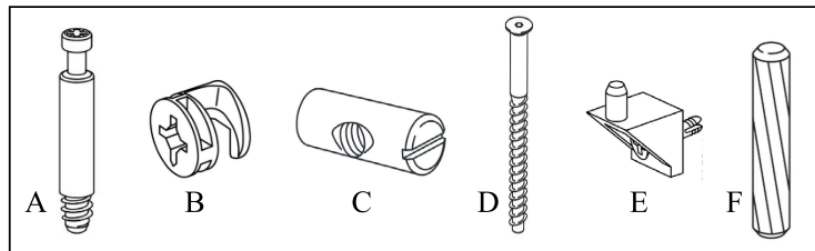
Una vez esquematizada la manera de cómo se enfrentan los diferentes autores a producir con la nueva tecnología en su campo de conocimiento, los distintos grupos de trabajo se plantean resolver las dificultades. Como se ha comprobado en la literatura y se analizará en otro apartado más adelante, cortar mobiliario y ensambles con fresadora CNC de 3 ejes tiene limitaciones técnicas algunas de las cuales son consustanciales a la propia máquina, lo que va condicionando en muchas ocasiones el diseño estético de la pieza proyectada. A su vez, esta nueva forma de cortar afectará directamente a sus uniones, influyendo tanto desde el punto de vista estético como desde el punto de vista técnico de resistencias.

3.1.2.1. Ensamblés que se aportan

El término ensamble, sin otro calificativo, es la manera de unir las piezas para proporcionar la forma buscada en el mueble. Es por tanto el punto crítico para conseguir que un mueble responda a un proyecto estético y funcional determinado. La construcción de un mueble tiene que prever los adecuados ensambles con unas solicitaciones específicas. Bien entendido que cada uno de los ensambles es o puede ser distinto de otros utilizados en la misma pieza porque todos ellos tienen a su vez una determinada caracterización funcional. En esta memoria, enfocada exclusivamente a la construcción digital, solo nos interesamos por los ensambles digitales. Desde que las distintas sociedades humanas construyen muebles se van desarrollando distintos tipos de ensambles y algunos de ellos han sido adaptados en la construcción digital. De hecho, la producción digital con fresadora CNC prácticamente no ha inventado ningún tipo de ensamble. Sin embargo, cuando en esta memoria decimos que un autor aporta un tipo de ensamble, no estamos ponderando otra cosa que su originalidad utilizando unos u otros de los ensambles existentes. Así pues, se trata siempre de adaptaciones inspiradas en ensambles tradicionales.

Antes de comenzar con la sistematización de los Grupos estudiados, cabe señalar que el Grupo de Investigación de Offenbach (C-Lab at HfG) es el primero que utiliza las palabras de ensamble digital (*digital wood joints*) para trabajar la madera con uniones en madera y cortadas con fresadora CNC. El uso restrictivo del término “ensamble digital” es de gran ayuda para diferenciarlo de cualquier otro tipo de uniones o ensambles tradicionales; incluso trabajando con la misma fresadora si la unión de las piezas de madera se hace con otros materiales y no con madera misma, ya no se

considera un “ensamble digital”. Tampoco es un ensamble digital cuando se hacen las uniones mediante la introducción de pequeños conectores prefabricados.



Conectores prefabricados comúnmente usados en mobiliario. *Simply Wood*. En Braun, 2021.

Es preciso tener en cuenta que, ya sean japoneses o europeos que son los que conocemos, los ensambles tradicionales son técnicas de uniones desarrolladas durante milenios que, de una manera u otra, han aportado conocimiento o inspiración para el desarrollo de los nuevos ensambles digitales. En efecto, el Grupo de Investigación de la Universidad de Offenbach, alude a ensambles europeos o japoneses, como referencias para tomar en cuenta a la hora de desarrollar los suyos propios según las limitaciones de las fresadoras CNC (Gros y Sulzer, 1998; Gros, 2001; Steffen y Gros, 2005; Steffen, 2006). En el Grupo de Investigación de la Universidad de Zvolen (TUZVO), también son tenidos en cuenta ensambles tradicionales para su desarrollo (Langová et al. 2013); y entre los autores que hemos considerado aislados como Schwarzmán et al. (2020), ponen interés en el uso milenario de la carpintería europea lo mismo que Braun (2021) que cita varias obras relevantes en ensambles de madera tradicionales tanto japonesas como europeas.

Grupo de la Universidad de Offenbach (C-Lab at HfG)

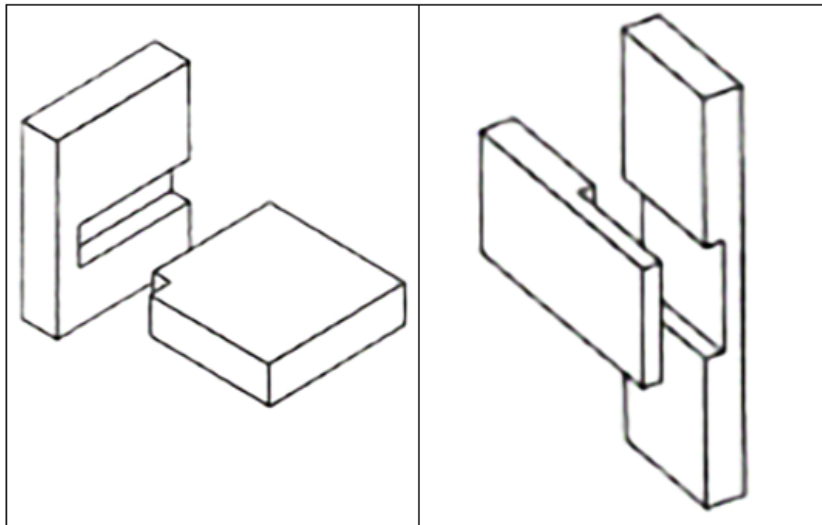
Tras el seguimiento de las publicaciones estudiadas, se constata que el Grupo de Investigación de Offenbach (C-Lab at HfG) además de haber consagrado el uso del término “ensamble digital” es el que más ensambles ha aportado y el primero que lo hace en la historia sobre este campo. Los 50 ensambles que presentan (Gros y Sulzer, 1997) (ver figura 50 ensambles, pág. 55) son el ejemplo más significativo y la base de donde parten muchos investigadores posteriores. Estimamos que es relevante para cualquier interesado en los ensambles digitales estudiar este último manual.

Sin dejar todavía la discusión sobre este Grupo alemán, es preciso poner de relieve un avance complementario que también realizan y que está estrechamente relacionado con los ensambles. Se trata de la mejora en la técnica del doblado o plegado. En el trabajo de la investigadora Dagmar Steffen (2001) se mencionan tableros que llevan un recubrimiento flexible en una de sus caras. Consigue que el recubrimiento actúe como unión cuando se doblan ambos planos cortando con una fresa en forma de V y sin que ésta llegue a profundizar hasta la cota donde se encuentra el material flexible. Con posterioridad solo hemos localizado un autor, en este caso también autora, Joan Kim (2019), que utiliza como método de unión un sistema parecido al de Dagmar Steffen. En el caso de J. Kim se ayuda de tejidos que actúan como bisagra conectando componentes que rotan, construyendo así muebles con piezas abatibles.

Autores aislados de la década de los 2000

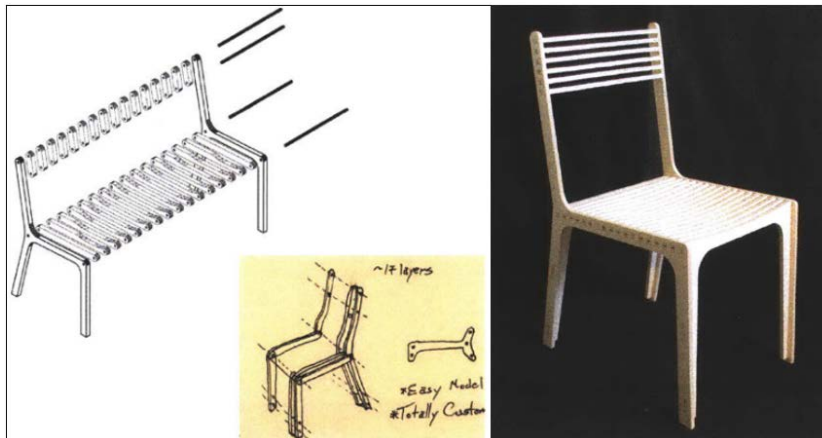
Dentro de los autores aislados de la década de los 2000, surge la publicación de Ebnöther (2004) en cuyas imágenes nosotros apreciamos que utiliza como unión el ensamble tipo caja y espiga, aunque el autor no lo señala expresamente en el documento. En la publicación de Davis (2006), mientras se van produciendo las diversas iteraciones para la realización de su modelo de silla, va

introduciendo distintos tipos de ensambles como: *Dado Joint* (ranura y lengüeta), *Half-lap joint* (media madera) y *mortice and tenon* (caja y espiga).



Izquierda: Dado Joint, Derecha: half-lap joint. Ensamblados en Davis, 2006.

No profundiza en ninguno de ellos, simplemente los utiliza como referencia y los adapta a sus necesidades. El mismo autor muestra otro tipo de unión, que no es exactamente un ensamble, en su silla 5 sino que simplemente es una conexión de piezas sucesivas a través de espigas cilíndricas pasantes, mismo sistema que se verá en la investigación de Symeonidou (2018).



Izquierda: sistema de montaje en silla 5; Derecha: Silla 6. En Davis, 2006.

También en su silla 6 aparece un tipo de unión que precisa de una cuña que hace que la ranura se expanda mediante un movimiento elástico que también se verá en Samboro et al. (2020). Además, Davis (2006) comenta que existen algunas herramientas tradicionales especializadas en realizar un solo tipo de ensamble, pero considera que lo interesante de una fresadora CNC es poder aunar en una sola máquina la posibilidad de realizar diversos ensambles. En el caso de Vamvakidis (2009), la manera de encajar sus piezas para crear las formas complejas de las que habla es mediante *half cut joint* (ensamble a mitad de corte) que es uno de los más sencillos entre piezas y que se repiten continuamente en las publicaciones (es el mismo sistema de unión que la condición 6 planteado por Filson et al. 2017, pág. 165).

Grupo de Mendel University

El Grupo de investigación de la Universidad de Mendel aporta varios tipos de ensambles en los 8 artículos estudiados. Tanto en Sebera y Šimek (2010) como en Šimek y Sebera (2010) utilizan el ensamble tipo cola de milano para su estudio mediante el cálculo de Análisis por Elementos Finitos (*Finite Element Analysis*, FEA). En Šimek et al. (2013) comentan que las uniones más usadas para el tipo de mobiliario listo para montar, (*Ready to Assembly*, RTA), del que se habla en el apartado sobre sostenibilidad (3.2.3), son las de caja y espiga, cola de milano o *finger joints*. Para el modelo de silla que estudian en las publicaciones de Šimek et al. (2013, 2014 y 2015) vuelven a utilizar la cola de milano como ensamble preferente. Se podría criticar la ausencia de referencias a Gros u otros autores del Grupo de la Universidad de Offenbach (C-L) lo que posiblemente habría enriquecido la discusión sobre las formas de sus ensambles.

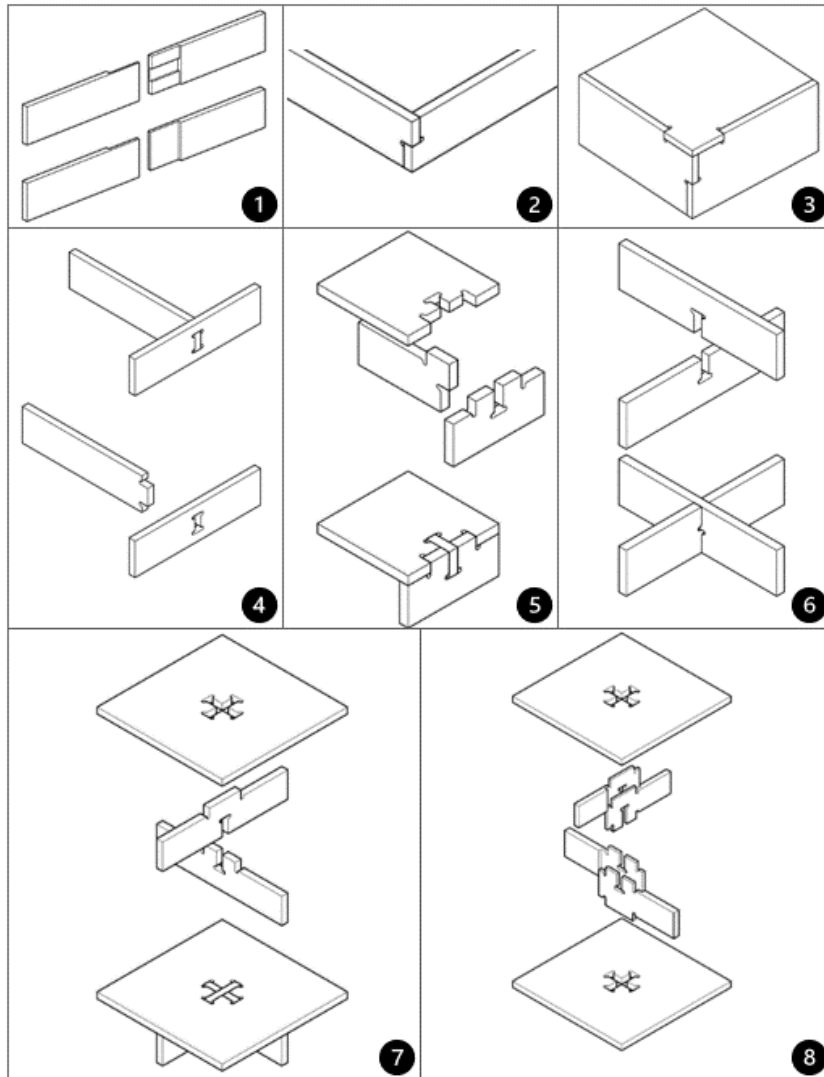
Grupo AtFab de la Universidad de Kentucky (AtFAB at UK)

En el caso del Grupo de la Universidad de Kentucky (AtFAB at UK) para tratar de simplificar su sistema de ensamble de piezas, que denominan junta S/J, construyen diversas combinaciones para producir otras tantas tipologías (Filson y Rohrbacher, 2011a). Este ensamble S/J (ver pág. 166) es un tipo extremadamente intuitivo que evita el “efecto IKEA”, efecto que consiste esencialmente en una primera impresión de complejidad que tiene el usuario cuando se enfrenta al montaje de un mueble de Ikea u otros parecidos. Esta simplificación la persiguió también Šimek (2018). Para facilitar más las construcciones con su sistema de ensamble S/J, los investigadores ensayaron grabar pictogramas en las superficies de las piezas como ayuda adicional.

Filson et al. (2017) afirman que con su ensamble S/J se contribuye a una producción de carpintería optimizada con CNC que repercute positivamente sirviéndose de la capacidad estructural de los materiales modernos. Esto lo basan en que las uniones con ensambles del mismo material son más robustas (Filson et al. 2017). Para entablar las relaciones entre sus piezas establecen un programa. Con dicho “programa” conteniendo los requerimientos básicos, el diseñador obtendrá una clara visión de las uniones, ensamblajes y estructuras. De esta forma describen los tipos de programas según la función que debe cumplir el mueble: sentarse, trabajar, exponer mediante superficies verticales autosustentables, y almacenar.

Estos autores proporcionan detalladas explicaciones sobre el desarrollo de sus ensambles de manera gráfica, definiendo 8 condiciones distintas posibles:

1. Superposición: *Overlap*. Superposiciones de dos piezas con rebajes.
2. borde a borde: *Edge-to-Edge*. Unir dos piezas por su borde en ángulo recto. *Lazy fingers*
3. Borde a borde a borde: *Edge-to-Edge-to-Edge*. Similar al anterior, pero añadiendo otro plano en la horizontal obteniendo una esquina por con tres planos.
4. Extremo a cara: *End-to-Face*. que es una caja y espiga perpendicular. *Tab connection*
5. Extremo a cara y a borde: *End-to-Face-to-Edge*. Similar al anterior, pero introduciendo nuevamente otro plano horizontal. *Compound finger*
6. Encaje a través: *Through* o *cross-lap*. Son dos piezas encajadas entre sí.
7. Tres vías: *Three-Way*. Similar a la anterior e introduciendo otro plano horizontal.
8. Cuatro vías: *Four-Way*. es complica el anterior ensamble con una simetría de más piezas.



Ocho condiciones de ensambles. *Design for CNC*. Filson et al., 2017

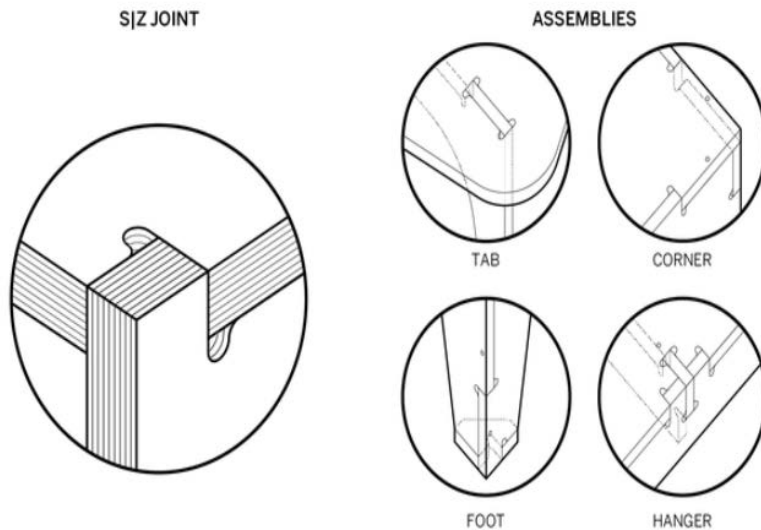
A través de estas uniones básicas define los tipos de ensambles que siempre tratan de unir 3 planos distintos para adquirir una estructura robusta. Su unión básica es el ya mencionado ensamble S/Z en otros documentos y del que de desarrollan otros ensambles.

Ensamble de pestaña, que es como un caja y espiga. *Tab*

Ensamble de suspensión que deriva de la unión extremo a cara y a borde. *Hanger*

Ensamble en esquina, usando una unión con tres planos en una esquina. *Corner*

Ensamble de pie, que encaja dos planos en una base a modo de pata para un mueble. *Foot*



Ensamble S/J y sus posibles configuraciones. *Design for CNC*. Filson et al., 2017

Queda patente que Filson y Rohrbacher toman referencias en el proceso de diseño del proyecto de la Universidad de Offenbach puesto que citan *50 Digital Wood Joints* (Gros y Sulzer, 1997). Afirman que los 50 ensambles quedan prácticamente englobados en sus 8 categorías básicas. Es importante mencionar como crítica, que pese a la defensa que realizan de los ensambles digitales tienen que recurrir a la introducción de pasadores metálicos. Cierto que los autores se auto justifican alegando que los refuerzos metálicos no son estructurales sino secundarios y que dejan las perforaciones para facilitar al usuario un ajuste extra (Filson et al. 2017). Pese a estas explicaciones nos reafirmamos en el aspecto negativo de sus soluciones sobre todo por razones de sostenibilidad.

Autores aislados de la década del 2010

En la *Sketchair* (Saul et al. 2011), el sistema de uniones de todas las piezas está planteado como encaje a media madera puesto que es el ensamble más sencillo que permite sus objetivos (es el mismo sistema de unión que la condición 6 planteado por Filson et al. 2017, pág. 165). Así y todo, se plantean en algún momento elementos metálicos para unir. Lo que como en el caso anterior está en contra del principio de sostenibilidad. Opinamos que el haberse visto forzados a la solución excepcional podría deberse a que los ajustes entre piezas a escala real no están bien estudiados. Todo el planteamiento del proyecto de *Sketchair* consiste en el intento de popularizar la fabricación digital a todo tipo de usuario. Nosotros pensamos que en un marco de sostenibilidad que es y será obligado, no es aceptable una solución de este tipo, sino que al contrario sería muy recomendable priorizar la sostenibilidad frente a la sencillez o buscar la sencillez por otro camino.

Grupo de la Zvolen University (TUZVO)

Este Grupo profundiza en el estudio de los esfuerzos de ensambles de caja y espiga (ver imagen pág. 324) y tienen en cuenta conseguir soluciones más sostenibles. Así, reflexionan en torno a la posibilidad de unir piezas sin recurrir a pasadores o encolados, considerando el beneficio de producir un mobiliario más ecológico (Langová et al. 2013 y 2017). Este equipo, que no discute los aspectos estéticos, en el terreno de los ensambles se centran en la posibilidad que proporcionan las CNC para conseguir ensambles con curvaturas o al contrario en intentar sortear el problema de que estas máquinas no puedan cortar en ángulos interiores. Afirman que el uso de este tipo de

uniones incrementa la competitividad de pequeños y medianos productores de mobiliario (Langová et al. 2013). También en Langová et al. (2017), se discute el mayor beneficio ante especificaciones técnicas como la velocidad, fiabilidad y precisión entre los beneficios de las CNC.

También es interesante resaltar que este Grupo haya consultado las soluciones de Gros (Gros y Sulzer, 1998) para enriquecer su discusión.

Grupo de Purdue University

En el Grupo de la Universidad de Purdue, en la primera publicación sobre este campo simplemente definen la metodología de trabajo para la docencia del diseño y producción de mobiliario que aplican en su departamento/laboratorio (Haviarova, 2011). En el siguiente trabajo, en Haviarova et al. (2015) describen 7 tipos de uniones: cola de milano, oreja de Mickey Mouse, oreja de Mickey Mouse ciega, junta ciega a presión, junta ciega cuadrada con bloqueo, junta vista puzzle con bloqueo y junta ciega de puzzle con bloqueo. Dado que esta referencia es una contribución para un congreso, la información es limitada siendo corregida y ampliada en un artículo posterior de 2019, en el cual se recoge el desarrollo de los ensambles con sus formas correspondientes. En Uysal et al. (2019) insisten en que los ensambles de un mueble son partes vitales de la estructura, hecho que ya se ha comentado en otros contextos en esta memoria. Según estudios del propio Eckelman, recuerda que suelen romper o colapsar en muchas ocasiones debido a que se encuentran algo sueltas o con fallos, en vez de obtener esas roturas en patas o perfiles que sería lo normal (Eckelman, 2003). No solo es Eckelman el que afirma y comprueba que los ensambles son las partes más importantes de un mueble a las que se tiene que prestar especial atención para cualquiera de los parámetros o especificaciones que se pide a un mueble; son también varios otros autores los que insisten en la consideración de los ensambles como puntos críticos en la fabricación de mobiliario en general (Gros y Sulzen, 2001; Gros, 2003; Steffen, 2006, Snow et al. 2006; Filson et al. 2017; Langová et al. 2017; Tian et al. 2018).

Además de lo comentado, Uysal et al. (2019) profundizan también en la literatura escrita hasta el momento sobre ensambles cortados con fresadoras CNC para muebles y otras estructuras. Así, introducen el estudio tanto de autores especializados en mobiliario como otros de campos aledaños como estructuras de madera en arquitectura (Gros 2001; Davis 2006; Anastas 2007; Šimek y Vaclav 2010). Llama la atención que los autores de Uysal con planteamientos muy técnicos estudien por ejemplo a Gros (Escuela de Offenbach, C-Lab at HfG) que claramente se vinculan a al campo del diseño en sentido estricto. Cierto que algunos trabajos de Gros y su equipo son citados por la mayoría de los ingenieros enfocados a materiales. También es interesante resaltar que citen uno de sus artículos teóricos (2001) y no la contribución seminal de (1997) que es donde se introducen las 50 diferentes morfologías de ensamble; es posible que ello se deba al formato de la contribución de Gros y Sulzer (1997) ya que ésta es en formato CDROM al que se accede con menos facilidad. Como fue mencionado más arriba, el Grupo de la Universidad de Mendel no solamente no discutieron la obra seminal de Gros, sino que omiten cualquier referencia a su obra. La comentada cita de Anastas (2007) por los investigadores de la universidad de Purdue que estamos comentando, tiene que ver con disciplinas de edificación, por lo que pone en perspectiva una dimensión interesante. Otra curiosidad en relación con las citas cruzadas entre los distintos Grupos de Investigación estudiados es el hecho de que este Grupo de la Universidad de Purdue no cite ninguna obra previa del Grupo de Zvolen University (TUZVO), siendo así que se trata de un Grupo técnico como son ellos mismos. Con esta laguna posiblemente se han perdido posibilidades de sinergias deseables.

Continuando con los ensambles que aporta el Grupo de la Universidad de Purdue en Uysal et al. (2019), los ensambles digitales que estudian los denominan: Cola de milano (DT), *Mickey Mouse*

ear (MME), la misma pero oculta con rebaje a mitad de material (B-MME), uniones a presión (S), juntas ciegas cuadradas con bloqueo (BSL), junta puzle con bloqueo (PL) y junta ciega puzle con bloqueo (B-PL).

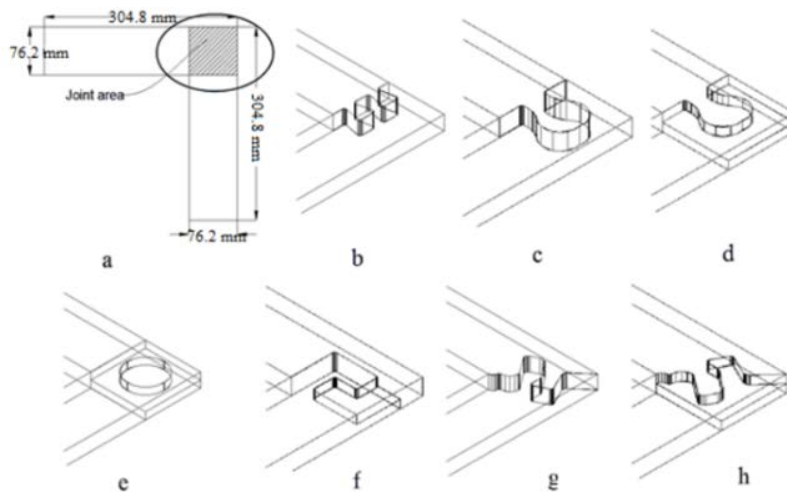


Fig. 1. CNC router-cut joints configuration: a: L-shaped joint, b: DT, c: MME, d: B-MME, e: S, f: SL, g: PL, and h: B-PL joints

Ensamblajes del Grupo de la Universidad de Purdue. Uysal et al., 2019.

Para el diseño de estas uniones comentan que las *Dovetail* (DT), *Snap* (S) y *Square Lock* (SL) fueron diseñados y desarrollados por los propios autores del artículo, mientras que para los diseños *Puzzle Lock* (PL), *Blind Puzzle Lock* (B-PL), *Mickey Mouse Ear* (MME) y *Blind Mickey Mouse Ear* (B-MME) se inspiraron en Gros (2001). Al final del estudio de Uysal et al. (2019), los resultados que han obtenidos tienen un enfoque preindustrial.

Autores aislados de la década del 2010

En Cormack y Sweet (2016) no muestran ensamblajes novedosos, pero desde el campo de las Ciencias de la Computación y tras algunas pruebas físicas tratan de establecer un marco general que para solucionar las uniones. Estos investigadores especialistas en Computación carecían de experiencia práctica previa con la fresadora por lo cual al tratar de llevar a la máquina el resultado de sus cálculos se enfrentan a problemas con los que no contaban, por ejemplo, el de la tolerancia entre piezas que, para quienes trabajamos con la máquina, no supone un problema porque ya se ha contado con él a priori (se fija a priori una distancia entre las piezas que se van a ensamblar entre sí). Igualmente, estos autores computacionistas también fallan al considerar el espesor de un tablero como un dato invariable, con lo cual las piezas no encajaban. Cualquier experto con la fresadora sabe que los tableros poseen una dilatación que hay que estimar desde la fase de diseño virtual que ha de ser armonizada con la máquina. Es decir, los autores en su publicación achacan el fallo (espesor de materiales) a un defecto del material suministrado por el suministrador. En nuestra opinión parece obvio que lo que ha fallado ha sido un cruce de información o la falta de experiencia con la máquina. Nuestra opinión es concordante con la del Grupo de la Universidad de Kentucky en Filson et al. (2017) un año más tarde. En esta publicación se solucionaba el problema registrando el cambio de espesor del material dentro de sus ecuaciones de variabilidad.

Sin embargo, continuando con Cormack y Sweet (2016), resulta atractiva su idea de creación de un catálogo de ensamblajes que podría “fácilmente” instalarse en cualquier programa. Ellos creen y nosotros lo compartimos, que es una solución posible en la línea de automatización en el proceso de diseño de un mueble con fresadora CNC, pero estos autores todavía no han ensayado esta propuesta como nosotros tampoco la hemos resuelto. Es uno de los aspectos en los que

continuamos trabajando. Lo que pretendemos es que el diseñador pudiera elegir el material y los requerimientos estructurales de los ensambles y recibir retroalimentación de los modelos virtuales en cuanto a si el diseño previsto es posible o no. El diseñador describe sus condiciones y programa unas reglas *ad hoc* para generar geometría más eficiente. Con las reglas de los materiales y estructura, el usuario puede confiar en que solo serán aceptadas las opciones que sean viables. Es decir, los módulos de diseño podrían tener así la inteligencia de estructura y material programados y se ahorraría decisiones inadecuadas en la selección de los ensambles. En la misma línea que Cormack y Sweet (2016) y nosotros mismos, están trabajando el Grupo de Investigación de la Universidad de Kentucky (AtFAB at UK).

Desde nuestro punto de vista, alternativamente a la creación de un catálogo digital como propone Cormack y Sweet (2016), nosotros pensamos que también podría ser viable conectar con los programas de método de elementos finitos (FEM) como ANSYS o Fusion360 de la empresa Autodesk (quizás accesibles *online*), de tal manera que mientras se va trabajando la información inmediata ayude en la toma de decisiones.

Como ya se ha advertido en otros Capítulos y seguiremos haciéndolo en esta memoria se evidencia aquí la necesidad de colaboración interdisciplinaria para llegar a soluciones realmente innovadoras. Ciertamente esto requiere de decisiones competentes en materia de evaluación curricular; los trabajos interdisciplinarios tienen que ser estimulados y no menospreciados por las agencias gestoras y los centros de investigación.

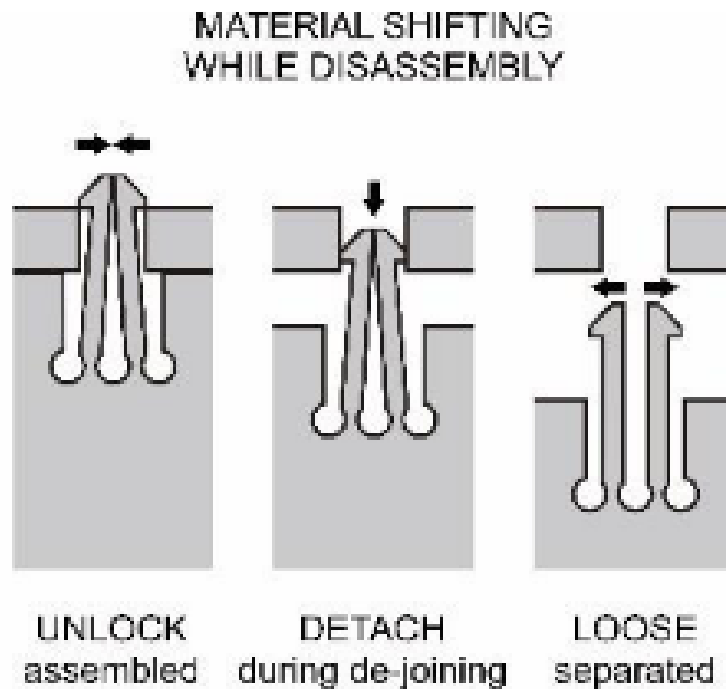
Tian et al. (2019) que son ingenieros en computación, crean una máquina que denominan *Matchsticks*, que avanza con relación a la idea de Cormack y Sweet (2016), y que, por cierto, incide en objetivos que también nosotros compartimos. Su máquina es un invento parecido a una fresadora CNC portátil en la cual han introducido una librería paramétrica que adapta los ensambles automáticamente a diversas medidas. No se trata realmente de una fresadora con todas las características especificadas en esta memoria, sin embargo, nos parece interesante dar a conocer la existencia de esta nueva herramienta aportada por ingenieros de computación. *MatchSticks*, según sus autores, no requiere un alto nivel de habilidades manuales para su uso, tampoco necesita otros apoyos como archivos vectoriales para crear los ensambles puesto que los tiene integrados en su programa, y obviamente no se trata una máquina de mayores costes y dimensiones. Por cierto, no descartamos en un futuro próximo adquirir una *Matchsticks* y practicar con ella para valorar su utilidad y acabado al servicio de nuestros objetivos tanto investigadores como docentes.

Los propios autores, además de haber producido este ingenio que tiene todavía un campo por delante, en Tian et al. (2019) respaldan la idoneidad de nuestras fresadoras CNC en el mismo sentido que se han expresado otros autores recogidos y comentados más arriba: valoración de los ensambles en madera sin conectores adicionales y por su resistencia y otras ventajas funcionales, pero también por lo que consideran una adecuada estética. Finalmente, Tian et al. (2019) también introducen críticas interesantes a nuestros métodos ya que, desde su perspectiva evalúan las limitaciones de las fresadoras CNC que comentaremos más adelante en esta memoria. Por plantear claramente el estado del arte, ya que hemos introducido una controversia, en el último artículo del Grupo de Purdue University (Uysal et al. 2019) confirman que los ensambles cortados con nuestra técnica y material son más resistentes que los industriales comúnmente utilizados.

Cambiando de referencia, en Samboro et al. 2020, estudian un tipo de uniones que solo se habían trabajado en materiales plásticos debido a que tolera una gran elasticidad de flexión. Sin embargo, cuando intentan realizar un proyecto en madera tropiezan con importantes problemas debido posiblemente a que utilizaron material inadecuado (madera alistonada). Los tableros alistonados dependen de la dirección de la veta. Lo más recomendable a nuestro parecer, es realizar los

experimentos en contrachapado ya que éste se comporta de manera más homogénea como hemos expresado en material y métodos de esta memoria.

Los ensambles propuestos por Samboro et al. (2020), sin embargo, funcionan adecuadamente en materiales plásticos. Se componen de dos elementos: la pieza macho o gancho y el hueco hembra que recibe las partes.



Cambio de forma durante el desmontaje. Samboro et al., 2020.

En Yan et al. (2021), también se trata de una contribución recogida del campo de la ingeniería de la Computación. Expresamente no discute ningún tipo de ensamble. Crean un algoritmo que verifica la idoneidad de piezas para ser fabricadas con fresadoras CNC sin aludir qué hacer con esas piezas para ensamblarlas. Se trae a discusión este artículo porque el propio autor plantea el interés de colaborar con diseñadores expertos en ensambles digitales para completar su aportación en la fabricación de un mueble.

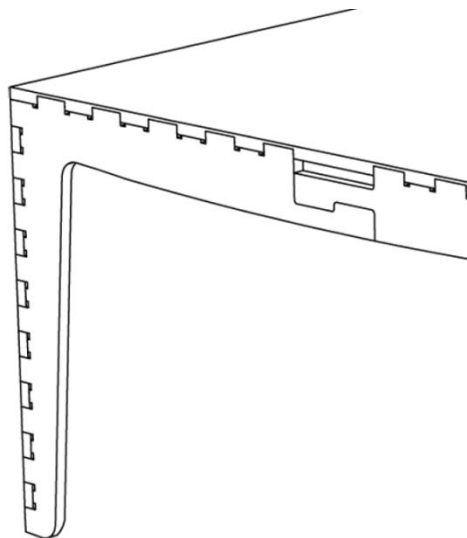
3.1.2.2. Los ensambles desde el punto de vista estético

Como se puede deducir de los puntos anteriores, y ya hemos comentado con anterioridad, no todo lo que se imagina puede ser hecho *por ahora* en una fresadora CNC. Su manejo y posibilidades suelen imponer limitaciones y en particular limitaciones a una u otra concepción estética, tanto del mueble mismo como de sus ensambles. En ocasiones algunos autores dejan patente su preocupación por esta cuestión como señalaremos. Se ha visto ya que muchos de los trabajos estudiados tratan de tomar como un valor añadido la exhibición estética de la técnica utilizada. Esta solución puede parecer para el observador como un exceso o improvisación. Es decir, un resultado involuntario; pero al contrario puede ser tomado como una ruptura perseguida del plano estético. En nuestra opinión, queda mucho trabajo por hacer en términos de reflexión sobre el maridaje entre estética y expresión/funcionalidad y nos parece que todavía diseño y cultura estética o artística tienen que avanzar cooperando.

Grupo de la Universidad de Offenbach

En relación con el comentario anterior, en el Grupo de investigación C-Lab at HfG, siendo el pionero en producir muebles con esta tecnología con fresadora CNC de 3 ejes, aparentemente no dan importancia a la cuestión de si los cortes con estas máquinas condicionan o no el diseño estético final. Sin embargo, las consecuencias de su práctica dan origen a un resultado estético que primero aparece como un “defecto” visto por terceros y no aludido por ellos mismos, pero que progresivamente se va señalando por autores posteriores como un avance estético, que de forma expresa refuerzan la idea de que el “defecto” no es tal sino que al contrario es un valor estético. Nos parece que el tiempo va consolidando la visibilización o exhibición programada del ensamble como una característica de la concepción estética vanguardista. Así pues, esta interpretación que se hace en esta Tesis Doctoral nos conduce a recuperar la obra de Gros y su Grupo como seminal en la evolución del diseño cosa que autores anteriores a nuestro trabajo no han expresado. Nuestro punto de vista es pues, que en el diseño moderno de mobiliario las condiciones técnicas son un elemento transformador de la propia tendencia estética; vale la pena señalar que esta estética tecnológica ya aparece claramente en la Bauhaus.

Insistiendo en la idea anterior, si se observan las imágenes de las uniones o los muebles propuestos en *50 Digital Wood Joints* (Gros y Sulzer, 1997), llama la atención que las formas de los ensambles tan marcados entre piezas (ver zoom table) cobren excesivo protagonismo, y señaladamente, lejos de evitarlos quedan bien marcados en sus diseños. Además se podría decir que el Grupo prima fuertemente el explotar las posibilidades de la máquina no solo para los ensambles modernos sino para poder reutilizar algunos ensambles tradicionales o artesanales de carpinterías antiguas (por ejemplo japonesas o europeas del pasado). De hecho, estos autores nombran esta profundización en Gros y Sulzer (1997).



Zoom table. 50 Digital Wood Joints. Gros & Sulzer, 1998.

A modo de apoyo a nuestra hipótesis, también en la publicación de Gros (2001) se justifica esta interpretación, aunque no lo haga de manera expresa. De igual manera, en la última publicación de este Grupo de investigación, reforzado con la participación de la especialista en diseño teórico Dagmar Steffen (2006), trata de justificar las soluciones tomadas por el grupo de Gros, reforzando la valoración de esta estética por la misma razón que nosotros señalamos: que no hay contradicción en que el diseño refleje la tecnología utilizada, el material o el principio de construcción. A nuestro juicio, estos autores ya están planteando un tema que nos parece interesante en la evolución del diseño.

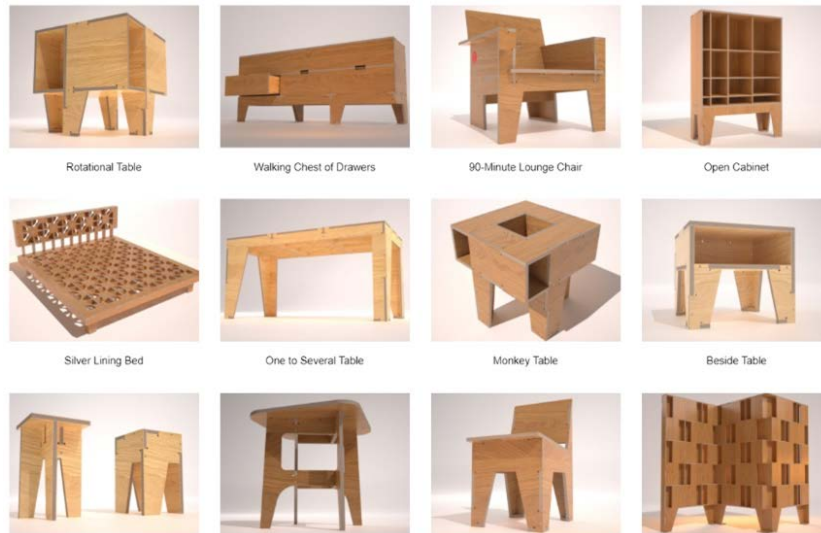
El hecho de que la irrupción de la máquina fuerce o condicione la estética del producto final, parece un signo cultural que ha desembocado en el actual diseño social. En esquema, si el mueble muestra cómo está hecho y cuáles son sus ensamblajes, cualquiera no especializado podría actuar reproduciendo su fabricación. Así la “democratización” del acceso a la fabricación del producto adquiere protagonismo, lo que visto desde los tiempos actuales ha marcado tendencia en el diseño social (el bricolaje o *Do-It-Yourself*, DiY). Éste podría ser el origen de una manifestación de la estética más actual.

Comentarios sobre otros autores de la década del 2000

Dentro del grupo de autores aislados de la década del 2000 —Ebnöther (2004), Davis (2006) y Vamvakidis (2009)— se encuentran antecedentes de nuestra hipótesis, aludiendo a que la maquinaria utilizada va a reflejar de alguna manera la estética de sus proyectos. Ciertamente que antecedentes se quedan en comentarios de pasada sin más justificaciones. Quizás Davis es el que se extiende más en esto, ya que a la hora de explicar los inconvenientes de cortar con fresadora CNC de 3 ejes, habla de los redondeos necesarios de los cortes interiores de esquinas. En este caso, Davis no ha querido ocultar las visibles limitaciones sino introducirlas en su proyecto como parte de la estética general creando uniones con una identidad que está intrínsecamente ligada a la máquina que lo produce. No solo no lo esconde, sino que es visible en el diseño y es mencionado hasta en 3 ocasiones en su texto (Davis, 2006). De hecho, se puede llegar a advertir una insistencia tozuda, que parece expresar el deseo de dejar zanjada la duda de si son o no armónicas o bellas sus creaciones, lo que a nuestro juicio es una vez más, algo que está traduciendo un cambio cultural en la tendencia del diseño. Davis toca de lleno a la estética de los objetos que la mayoría de los autores de Categoría 3 (disciplinas que provienen de entornos del diseño) mencionará y querrá defender, puesto que consiste en un condicionante que marca el diseño de su mueble final. En este caso, así como hiciera Gros en las obras que hemos citado, lo implementa en su diseño, mientras que los autores de Categoría 1 o investigaciones técnicas ni se plantean que esto pueda ser un problema. Por otra parte, este tipo de limitaciones que presentan las fresadoras en cuanto a los redondeos, en general lo describirán casi todos los autores como premisa de partida, pero según la categoría del estudio se le dará o no importancia a lo estético.

Grupo de la Universidad de Kentucky

En el Grupo de Investigación de la Universidad de Kentucky, que nace de dos arquitectos Anne Filson y Gary Rohrbacher (ambos de AtFAB at UK) se produce un diseño de mobiliario que poco tiene que ver con el que se está realizando en el momento de sus publicaciones, resultando lo que se podría decir diseños de nueva vanguardia que no se ajustan a las tendencias de las de sus contemporáneos de principios del siglo XXI. Son muebles que, en relación con la estética del momento en que se hacen, resultan sorprendentes e incluso toscas, pero puede deducirse que responden a un proyecto guiado por la intención práctica de poder ser construidas fácilmente con la fresadora CNC de 3 ejes. Estos autores sin embargo no centran su esfuerzo en jugar con ensamblajes, sino que al contrario las formas que idean pueden ser fabricadas con unos pocos ensamblajes que repiten en las diferentes muestras de mobiliarios (ver imagen de mobiliario de AtFAB). La apreciación de la estética de estos muebles tiene hoy un sentido muy distinto, podrían ser formas revolucionarias dentro de una cultura del diseño



Mobiliario de AtFAB. atfab.com

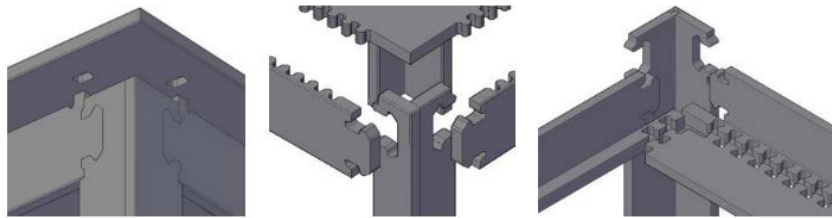
Pero es precisamente esa simpleza de planos, por medio de las uniones más sencillas, lo que le ha servido a este Grupo para poder materializar su línea de muebles, su propio concepto estético. Detrás de esta *sencillez espesa* se encuentra la posibilidad de producir de una manera totalmente novedosa y revolucionaria que da sentido a todo el proyecto. Este sistema refinado y simplificado ha afectado al diseño estético en sí. Sin esta simplificación de planos, rectas y cortes, los archivos recibidos por diversos productores, a través de internet, en cualquier parte del mundo podrían no ser bien interpretados. En el mismo sentido, sin esta simplificación de piezas un cliente final no sabría montar de manera autónoma e intuitiva sus muebles, lo cual, no se ajustaría a una de las premisas del proyecto (fabrícalo tú mismo). El Grupo de la Universidad de Kentucky explica de manera profunda tanto en sus dos artículos (Filson y Rohrbacher 2011a; 2011b) como en su libro (Filson et al., 2017) las limitaciones que impone esta tecnología. Conviene recordar que lo estético es primordial en los Grupos de Investigación o autores que provienen de disciplinas o enfoques que se centran primordialmente en el diseño que en esta memoria hemos agrupado en la Categoría 3. Aunque pueda resultar reiterativo, en los trabajos de Investigación de Filson y Rohrbacher (varias obras antes referenciadas) la estética queda subordinada al proceso de fabricación. Como hemos insistido, sin embargo, una determinada estética es aquí consecuencia del proceso. Estos autores citan, como antecedente, al arquitecto y diseñador George Nelson (1908-1986) mediados de siglo XX, quien dijo “El diseño total no es ni más ni menos que relacionar todo con todo” (“*Total design is nothing more or less than a process of relating everything to everything*”, Filson et al. 2017, pg 21).

Nótese aquí el contenido de la frase transcrita; este aserto, propio de la concepción que se impone en el *diseño total* aparece en diferentes disciplinas, actividades e incluso filosofías, que en un momento dado ven sus ideas tan poderosas y transformadoras que “se sobrevaloran” hasta dominar el conjunto de otros valores o parámetros. Como ejemplo paralelo, es casi literalmente el que inserta el filósofo *proto-ecologista* estadounidense Barry Commoner (1917-2012) en su difundida obra seminal del ecologismo moderno *El círculo que se cierra* de 1972, donde mantiene que “la naturaleza es compleja y funciona a través de un sinnúmero de ciclos interrelacionados que nutren toda su dinámica “todo está relacionado con todo”. A esta confluencia se hará referencia en el Capítulo 4 de Sostenibilidad. Volviendo al diseño de Filson y Rohrbacher apoyado en George Nelson, se van acercando a lo que luego se llamaría el buen diseño, relacionando todo con todo, optimizando parámetros para responder a todas las necesidades del proyecto. Así, son capaces de crear unas piezas que cumplen con los requisitos de diseñar para CNC de 3 ejes con formas sencillas para que cualquier técnico en manejo de dicha maquinaria, las interprete y pueda

cortarlas sin consultar a nadie, y que el cliente final las reciba y monte intuitivamente sin manuales.

Grupo de la Zvolen University (TUZVO)

El Grupo de Investigación de Zvolen University sí que se comporta como un típico ejemplo de lo que hemos llamado Grupo de Categoría 1, que se focaliza en interés de soluciones de ingeniería, por lo que no hacen ninguna alusión a las cuestiones estéticas a la hora de producir mobiliario con estas técnicas. Estos autores se ciñen a aplicar metodología de análisis de esfuerzos en ensambles cortados con CNC. No obstante, llama mucho la atención en el final del artículo de Langová et al. (2017) una ilustración de un ejemplo de mesa construido con piezas que se unen con *finger joints*. Curiosamente las semejanzas morfológicas de las uniones con las del mobiliario que aparece en Gros y Sulzer (1997) nos resultaron muy evidentes. Esto mantiene cierta correlación con lo que hemos destacado más arriba sobre el “todo está relacionado con todo” incluso a veces involuntariamente; volveremos a tratar las relaciones circulares en el capítulo 4 en relación con la sostenibilidad.



Ejemplo de aplicación de ensambles en mobiliario. Grič , 2014 y Langová et al., 2018.

La profundización de este equipo Zvolen University en cuanto a la resistencia técnica es valorable, pero la solución estética propuesta en base a una única referencia de 20 años antes es cuestionable desde el punto de vista del diseño. Sin embargo, nos parece interesante por las razones que desarrollamos y discutimos a continuación.

Los muebles propuestos en su día (1997) por el Grupo de la Universidad de Offenbach utilizaban los ensambles por todo el perímetro de unión mediante *finger joints* continuos, de manera algo redundante y repetitiva para la estética de aquel momento. Podría opinarse que quizás lo hicieran porque, siendo los primeros que hacían muebles con ese tipo de máquina, todavía no existían referencias técnicas de la viabilidad en la rigidez de las uniones y optaron por introducir un elevado número de uniones para no tener problemas técnicos de esfuerzos. Pero también eso, o por eso, podrían estar configurando la estética del diseño de “todo está relacionado con todo”. En referencia a la rigidez de las uniones, tal y como se ha mencionado en los escritos de Eckelman de la Purdue University. Antes de Eckelman, todos los cálculos en dimensionado de piezas de mobiliario seguían métodos de ensayo-error, tradición, sentido común o estadística y, a partir de sus investigaciones, se introducen fórmulas para optimizar la dimensión de los materiales. El Grupo de Investigación de la Universidad de Offenbach (C-Lab at HfG) no empleó estas fórmulas para sus soluciones sino el sentido común, aunque tal vez es también el sentido común el que lleva a estos autores pioneros a rendirse estéticamente dejando que los desarrollos de la máquina conduzcan a unas determinadas formas. Zvolen University podría haber diseñado algo más acorde con la estética de su momento en el ejemplo de la ilustración (ver imagen superior), y no con un elevado número de *finger joints* para solucionar el diseño. Pero por el carácter técnico de este artículo de Categoría 1 no aborda soluciones a los problemas de estética. Tal vez los están dando por asumidos. Por el contrario, Filson y Rohrbacher (2017) sí que trataron introducir una mayor estética sin que las uniones fueran tan marcadas. La imagen mencionada es del mismo año que la publicación del libro del Grupo de la Universidad de Kentucky y, si se analizan ambas, éstos

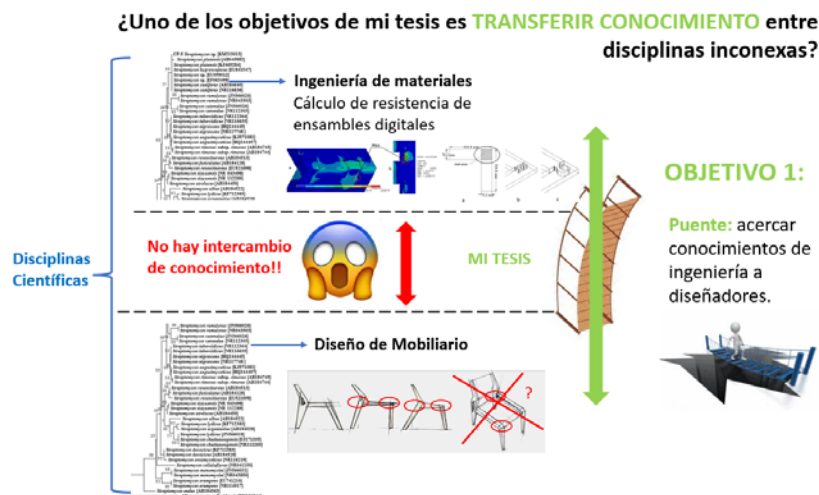
resuelven las uniones y mobiliario en general de una manera más preocupada por la estética que los de la de Zvolen University. Por completar esta reflexión, si se analiza con precisión la ilustración mencionada, en relación con la producción de mobiliario, podría resultar poco eficiente o poco recomendable obligar a encajar toda esa cantidad de ensambles continuos y a presión ya que ello resulta ser muy laborioso si se dejan las tolerancias muy ajustadas.

En definitiva, se tienen dos ejemplos de cómo las disciplinas técnicas inciden en soluciones sobre como unir piezas sin importar la estética. Dando así un resultado no previsible en el plano del diseño. No podemos asegurar, sin embargo que los autores de la Categoría 1, por el hecho de ocuparse explícitamente “solo” de resolver problemas técnicos de ingeniería, no estén teniendo en cuenta el plano estético del diseño. Según algunos indicios señalados, no es imposible que vayan ellos siendo parte del movimiento estético que hoy cobra impulso en relación con la nueva cultura de la sostenibilidad.

Grupo de Purdue University

Del Grupo de Investigación de Purdue University se constata el enfoque técnico, que es la disciplina de la que proceden. En el trabajo de Haviarova (2011) se critica cómo muchos muebles en la historia del diseño han favorecido las necesidades estéticas por encima de las estructurales. Desde su punto de vista, comenta que la moda vende muebles, pero que no se deben dejar de lado aspectos del campo de la ingeniería, ya que es necesario aplicar un enfoque metódico que genere muebles estructuralmente sólidos, seguros y duraderos que además se venderán mejor. Se podría decir que los muebles considerados como obras de arte cumplen, normalmente, todos los requisitos que Haviarova menciona; pero hay otros que verdaderamente solo tratan de focalizarse en lo estético y que, al quedar mal solucionados estructuralmente, tienen una vida útil muy corta, acabando rápidamente en vertederos. Ella enfatiza la necesidad de un diseñador capaz de crear muebles que denomina con los términos “a la moda” y “estéticamente agradables”. Tal afirmación resulta subjetiva, pero no deja de calificar el enfoque de la autora. En este punto se puede ver una fractura entre la disciplina de la ingeniería y la disciplina del diseño estético.

Es en estas consideraciones donde, a nuestro entender, cabría una colaboración entre equipos multidisciplinarios. Los diseñadores no se enfocan hacia los conocimientos técnicos que aparecen en los trabajos de esta disciplina, pero del mismo modo los ingenieros tampoco lo hacen en los aspectos puramente estéticos. Movimientos de vanguardia aparte, ambos tipos de especialistas son necesarios para obtener logros interdisciplinarios que puedan dar lugar a avances interesantes del conocimiento. Por una parte, posiblemente por parte de los más técnicos no deberían aparecer uniones o ensambles no deseados, pero por otra tampoco deben aparecer uniones demasiado lejanas o sobredimensionadas para que funcionen estructuralmente. Tratando de conectar ambas disciplinas surgirían soluciones optimas y, sobre todo, estéticas que es el concepto del que se partió en un principio. En cualquier caso, desde un punto de vista ecléctico un mueble no es una escultura; no es un objeto artístico sino un objeto cuya funcionalidad es obvia. Sin embargo, el diseño provee que pueda ser estéticamente valioso e incluso artístico y al mismo tiempo funcional.



Colaboración entre equipos multidisciplinares. Fuente: Víctor Armas-Crespo, en (<https://twitter.com/VisitorArmandol/status/1520415512932536321>).

Autores aislados de la década del 2010

Entre las publicaciones aisladas, hay varias que en alguna medida abordan las características formales estéticas que genera producir con la tecnología que nos ocupa. Entre ellas se encuentran Symeonidou (2018), Tian et al. (2018), Kim (2019). Además, en Schwarzmänn et al. (2020) comentan que la tecnología que utilizamos define qué soluciones podemos ofrecer e implica cómo trabajamos.

Varios de los trabajos elogian el uso de fresadora CNC, por la libertad en la realización de formas más orgánicas en cualquier parte del diseño y no solo circunscrito a los ensamblajes. Es evidente que los ensamblajes son una de las partes donde más se potencian estas formas curvas, pero como se recoge en varios de los escritos del Grupo de Mendel University, se quiere potenciar y obtener provecho también de esa libertad en el resto de las piezas de un mueble. Tal beneficio en la libertad de corte que permiten estas fresadoras es recogido además por Ebnöther (2004) y Cormack y Sweet (2016), puesto que no supone ningún tiempo extra si se trata de cortes curvos o cortes rectos (Davis, 2006; Šimek et al., 2013). En línea con lo comentado, se afirma en Tian et al. (2018) que normalmente los muebles que tienen partes rectas éstas se deben, precisamente a que, para la maquinaria de producción de mobiliario, en la mayoría de las ocasiones, sus sierras cortan mejor los elementos rectos. Las fresadoras CNC dan una mayor flexibilidad de diseño sin atender a esta restricción.

No obstante, esa libertad de diseño, si viene dada por un programa informático, despierta escepticismo entre varios autores, pero atendiendo a otros criterios como los relacionados con la dualidad hombre y máquina (Schwarzmänn, 2020), cuestionándose la reducción de la actividad laboral del sujeto humano en el proceso de fabricación.

Otra cuestión relacionada con la parte estética que se ha reflejado en alguno de los trabajos analizados es la referencia a la forma/morfología de las sillas que estudian. Tal es el caso de los varios autores (ver más abajo) que citan y referencian el modelo estético de la famosa silla *super leggera*, del diseñador italiano Gio Ponti (ver figura pág. 177). Destacaremos algunas críticas en relación con este revolucionario mueble.

En el libro *C-Moebel* (Steffen, 2003), publicado por el Grupo de la Universidad de Offenbach (C-Lab at HfG), se hace mención específica a esta silla tanto por su forma como por el tipo de construcción, que presenta ahorro y optimización de material; en una discusión somera, pero

insinúan un defecto de estabilidad. En el caso de Davis (2006), critica formas en relación con parámetros estéticos establecidos por él mismo. En el trabajo de Ebnöther (2004) también es mencionada esta silla en una de las imágenes que aporta.

La razón por la cual la icónica silla del diseñador italiano se convierte en esquema modelo de tantos autores se debe posiblemente, como comenta el Grupo de la Universidad de Kentucky (AtFAB at UK), a que representa una forma muy sencilla de constituir una silla con sus cuatro patas, un plano horizontal para sentarse y uno vertical inclinado para apoyar el respaldo, y ello optimizando al máximo el consumo de material necesario. Incidentalmente también es utilizado este famoso mueble en publicaciones de investigaciones de Categoría 1. Por ejemplo, para el estudio de esfuerzos en Šimek et al. (2013, 2014 y 2015).



Silla supper leggera. Gio Ponti, 1951.

3.1.2.3. Los ensambles desde el punto de vista técnico

Una vez analizada la parte estética, se revisan ahora las aportaciones de los autores que se centran, en la parte técnica de cortar ensambles digitales en madera. Debido a una de las palabras clave que se introduce en la metodología de búsqueda de la bibliografía, muchos de ellos profundizan, en los ensambles de mobiliario de madera con CNC. Una vez analizados todos los textos es interesante identificar como, según el campo de procedencia de los autores, inciden en cuestiones distintas. Hay autores que profundizan en la parte técnica de los ensambles y otros en la parte estética, circunstancia con la que ya nos habíamos encontrado más arriba en el planteamiento inverso.

Aunque esta memoria se ha enfrentado exclusivamente con la madera como materia prima, un campo en auge del mayor interés es abordar el análisis de distintos materiales sostenibles cuyas cualidades puedan resultar idóneas para ser trabajados con la fresadora CNC; la colaboración con el campo de la ingeniería de materiales la vislumbramos fecundas perspectivas. De hecho, hay investigaciones abordadas por algunos Grupos de Investigación encuadrados en la Categoría 1.

Grupo de la Universidad de Offenbach (C-Lab at HgF)

Cuando se publican los escritos del Grupo de la Universidad de Offenbach, ya existían investigaciones específicas sobre cómo dimensionar los ensambles para que no quiebren las piezas tras aplicar los esfuerzos de uso. Pero, dado que este Grupo proviene de las disciplinas de diseño estético, no plantean en sus publicaciones la posibilidad profundizar sobre este tema. Sus investigaciones se centran en hacer factible diseñar con la nueva tecnología. Una vez más apelamos reflexivamente al interés de combinar colaborativamente ambos campos. La interdisciplinariedad aportará presumiblemente sinergias prácticas.

Autores aislados de la década del 2000

Dentro de las publicaciones aisladas de la década de los 2000, puede destacarse la de Davis (2006). Se trata de una silla que está desarrollada desde la disciplina del diseño estético. En este proyecto utiliza piezas longitudinales tanto para el respaldo como para el asiento, planteando una variación de sección en las piezas no solo por cuestiones de ergonomía, sino en favor de una mejoría estructural. Esta intención del autor de optimizar las secciones se aborda todavía de una manera intuitiva cuando sin embargo podría haberse hecho calculando este parámetro de manera precisa porque ya había medios de cálculo para ello. Nuevamente, en este proyecto se evidencia la necesidad, de conexión entre disciplinas, fomentando el sistema de trabajo entre equipos multidisciplinares. Como ya se ha mencionado, los Grupos técnicos necesitan del conocimiento de los Grupos de diseño estético y viceversa, puesto que sus investigaciones suelen mostrar lagunas de conocimiento en los campos contrarios. Por ello, muchas afirmaciones intuitivas de este trabajo de Davis (longitudes de espigas para aumentar la resistencia, aumentos de la sección del material en ciertas partes, refuerzos estructurales, y demás cuestiones técnicas) podían haber sido fácilmente solucionadas apoyándose en investigaciones de las disciplinas técnicas de ingeniería de la madera. Dicha conexión hubiera evitado muchas de sus disquisiciones retóricas para justificar los refuerzos estructurales que introducía en la silla.

Grupo de Mendel University

El primero, cronológicamente, de los Grupos de Investigación técnicos es el de Mendel University; a lo largo de sus 8 publicaciones definen la metodología técnica que cualquier diseñador de mobiliario podría seguir para solucionar por métodos digitales las resistencias de los ensambles

que propone. El autor con más publicaciones de este grupo es Šimek, que es de los escasos ingenieros, entre los considerados en esta Tesis, preocupados expresamente por la vertiente estética del mobiliario, como así queda reflejado en sus publicaciones de 2017 y 2018.

Grupo de la Universidad de Kentucky

En cuanto al Grupo de Investigación de la Universidad de Kentucky, en Filson y Rohrbacher (2011b) se hacen alusiones estructurales y de resistencia de ensambles, pero de manera descriptiva y sin ningún tipo de justificación técnica. Ya en 2011 se había publicado el primer artículo sobre resistencia de ensambles realizados con fresadora CNC digital, por el Grupo de Mendel University, además de todas las publicaciones sobre resistencia de ensambles de mobiliario producido de forma tradicional. Pero, al igual que ocurriera con Davis, este Grupo fundamenta su formación como arquitectos para solucionar de manera intuitiva la resistencia de los ensambles que planteaban. Una colaboración entre ambas disciplinas hubiera enriquecido de manera más profunda su proyecto. Para conocer las sollicitaciones de resistencia tipo, este grupo acota los posibles esfuerzos de las piezas de los muebles estableciéndolas por funciones programáticas básicas y reductivas como sentarse, trabajar, almacenar y proyectar. Esto plantea los esfuerzos aproximados a los que se enfrentará su junta básica, que denominan S/J. Estas funciones básicas hacen predecir las sollicitaciones estructurales a las que se somete a los muebles y sus juntas, que ya se habían estudiado en las investigaciones técnicas de las Universidades de Mendel, Zvolen o Purdue. Como se aprecia aquí, estableciendo una colaboración multidisciplinar las resistencias no habría que basarlas en estimaciones intuitivas sino en cálculos por métodos ya consensuados. Además, en este proyecto creemos que cabría haber jugado con la optimización del material para obtener la sección mínima posible. Es decir, habría sido interesante aplicar cualquier programa FEM a este proyecto para comprobar que, en su sistema de diseño, que el ensamble es posible con menor superficie de contacto.

Grupo de Purdue University

Para finalizar con las publicaciones que registran información técnica sobre ensambles, en relación al Grupo de Investigación de la Universidad de Purdue, con la literatura que aportan, la cuestión técnica de los ensambles queda bien definida y contrastada, además de suficientemente precisada con las tablas de información que aportan sobre los ensambles. Por lo tanto, se podría decir que es el equipo que más se detiene en este aspecto, de todos los estudiados, mostrando el mayor conocimiento en cuanto a desarrollo de ensambles digitales cortados con fresadora CNC de 3 ejes.

3.1.2.4. El concepto de prototipado rápido

Hasta la llegada de estas máquinas de fabricación digital, construir un prototipo podía llevar semanas, mientras que con ellas se facilitaba la posibilidad de construirlo en minutos. Esto aporta la gran ventaja de ir probando o haciendo prototipos que vayan resolviendo problemas o respondiendo a diversas cuestiones de un diseño. Esta forma de producir de manera rápida un modelo es lo que se denomina, según los escritos estudiados, prototipado rápido (*rapid prototyping*). Este método facilita fabricar cualquier objeto rápidamente para poder tener una primera aproximación real de lo que se ha diseñado virtualmente.

Grupo de la Universidad de Offenbach (C-Lab at HfG)

Curiosamente este concepto específico no se ha visto reflejado en las publicaciones del Grupo de la Universidad de Offenbach. Como hemos dicho, este grupo cuenta todo el proceso que ellos siguen para fabricar mobiliario digitalmente, mencionando todas sus fuentes de transformación

de ensamblajes tradicionales a ensamblajes digitales, tanto teóricas como prácticas. Nosotros suponemos que a pesar de que no aludan expresamente a prototipado rápido debieron hacer muchas pruebas para poder llegar a sus resultados finales.

Autores aislados de la década del 2000

Dentro de los autores aislados de la década de 2000, Ebnöther (2004) presenta un ejemplo de cambio de tecnología que facilita producir su modelo de silla de manera simple y clara. Lo primero que rechaza es la realización de moldes que era lo corriente antes del desarrollo de esta tecnología con fabricación digital. Precisamente las técnicas digitales van invalidando los defectos conocidos de las técnicas de fabricación anteriores (tiempo y precio fundamentalmente). El tránsito a la fabricación digital no es sencillo ya que requiere cambiar la manera de cómo los diseñadores se enfrentan al problema específico de fabricar sus modelos. Está pormenorizadamente descrito en los escritos del Grupo de Investigación de la Universidad de Offenbach. Sin embargo, la experimentación explícita del proceso hasta la construcción de una silla no se produce hasta la contribución aportada de Ebnöther.

Siguiendo con las publicaciones dentro de los grupos de autores aislados de la década de 2000, aparece la de Sass et al. (2006), que aportan la mención del prototipado rápido como herramienta para producir un modelo. Sin profundizar en el concepto, describen su proceso de construcción, que facilita el prototipado rápido.

En el caso de la publicación de Vamvakidis (2009), es una muestra de la utilidad de la fabricación digital frente a procesos manuales. Esta investigación se basa en la idea de prueba y error sin grandes costes ni de materiales ni de tiempo, cosa que es viable por tratarse de fabricación digital. El autor va produciendo los objetos a diferentes escalas para contrastar las decisiones que mejor armonicen para el tamaño real. Así los diferentes ensayos se podían usar para estudiar posibles problemas como el orden de montaje de las piezas, comprobación del encaje de las uniones, estabilidad, peso, impacto visual y verificación sobre su auto portabilidad una vez montado. La viabilidad del proceso habría sido insostenible si la fabricación hubiera sido manual. De hecho, el autor menciona explícitamente esta ventaja. Nuestra reflexión a este respecto es una vez más que el aislamiento científico técnico de los autores y sus competencias el proceso de aproximación podría haber sido mejorado mediante programas informáticos, como se hemos hecho constar en el Capítulo 2, en varios trabajos de Categoría 1 (Uysal et al. 2019), utilizando el programa informático ANSYS. Que estos programas verifiquen la capacidad portante del objeto que se está creando, es una fase más del proyecto que se ejecuta previamente a la construcción.

Cardoso (2010), respalda de manera robusta el uso del prototipado rápido como método de trabajo en diseño, y en general describe los beneficios que aporta a la industria la fabricación digital. En cuanto al concepto en sí, sobre el prototipado rápido, el autor se detiene a clasificar los distintos tipos de técnicas de fabricación digital en dos grandes grupos: el prototipado rápido aditivo (*Additive Rapid Prototyping*) y el prototipado rápido sustractivo (SRP, por sus siglas en inglés *Subtractive Rapid Prototyping*). En este segundo caso se clasificaría la fresadora CNC de 3 ejes que estudia esta Tesis y toda la literatura consultada.

Grupo AtFAB de la Universidad de Kentucky (AtFAB at UK)

En el caso de las investigaciones de la Universidad de Kentucky (Filson y Rohrbacher, 2011a y 2011b) aunque no entren en detalle en los artículos, se deduce que han recurrido al prototipado rápido para sus pruebas. Al contrario, en Filson y Rohrbacher (2017) sí se detienen discutiendo la necesidad de trabajar del prototipado rápido para verificar que todos los cálculos y premisas de

diseño funcionarán correctamente antes de lanzar el corte de un mueble entero. Se puede concluir que para este Grupo el prototipado rápido es una técnica imprescindible para desarrollar de manera eficiente su sistema de producción *online*.

Para hacer factible y real estos prototipos es de gran ayuda conocer información sobre cómo fabricar dichos prototipos. AtFAB at UK (Filson y Rohrbacher, 2017) se detiene a describir paso a paso la forma de preparar toda esta metodología de trabajo: archivos, tipos de dibujo vectoriales a realizar, despieces, preparación del fresado, tipo de fresa, velocidades de corte, etc.

Grupo de la Universidad de Purdue

El Grupo de Investigación de Purdue University en Haviarova (2011) comenta cómo en la metodología que desarrollan en su docencia, fomentan la experiencia práctica mediante prototipado rápido, convirtiendo a las CNC en componentes esenciales en la formación profesional de diseño de muebles. Como se ha comentado, este primer artículo de los tres que recogemos del Grupo es de carácter pedagógico para diseño de mobiliario. Pese a su temprana fecha de publicación, ya la autora menciona a las CNC como herramienta de trabajo en el aula que posibilita construir prototipos de manera didáctica y ágil, siendo clave para una formación de calidad.

Dentro de este mismo Grupo, para poder hacer viable este concepto de prototipado, en Uysal et al. (2019) se describe la metodología y pautas seguidas para normalizar los test que realizan a los ensamblajes contruidos por ellos. Se facilita una explicación pormenorizada de cuestiones de construcción de sus modelos como son los pasos para el fresado, el número de pasadas requerido y las profundidades de corte, pero también los tipos de fresa, etc. Toda esta información de procesos que han sido optimizados mediante técnicas de ingeniería del diseño aporta un conocimiento práctico útil para ser conocido con objetivos enfocados a formación práctica en diseño de mobiliario. Se trata aquí de información más pautada y técnica que la facilitada por AtFAB at UK.

Autores aislados de la década del 2010

Entre las publicaciones aisladas que mencionan el prototipado rápido como herramienta imprescindible y eficaz está la de Symeonidou (2018). En ella se describe que, durante la realización de un taller para la producción de mobiliario, fue clave la toma de decisiones previas mediante la producción de piezas producidas por prototipado rápido.

3.1.3. Esquemas de trabajo que facilitan el proceso de aprendizaje

La ejecución de nuestro propio trabajo docente práctico con la fresadora CNC de 3 ejes, ha buscado respaldarse en experiencias contrastadas por autores anteriores. Como se verá a continuación los esquemas que reunimos no aportan grandes novedades conceptuales, simplemente facilitan un proceso docente más eficiente para enseñante y aprendiz. Se trata de ordenar ideas al servicio de la docencia.

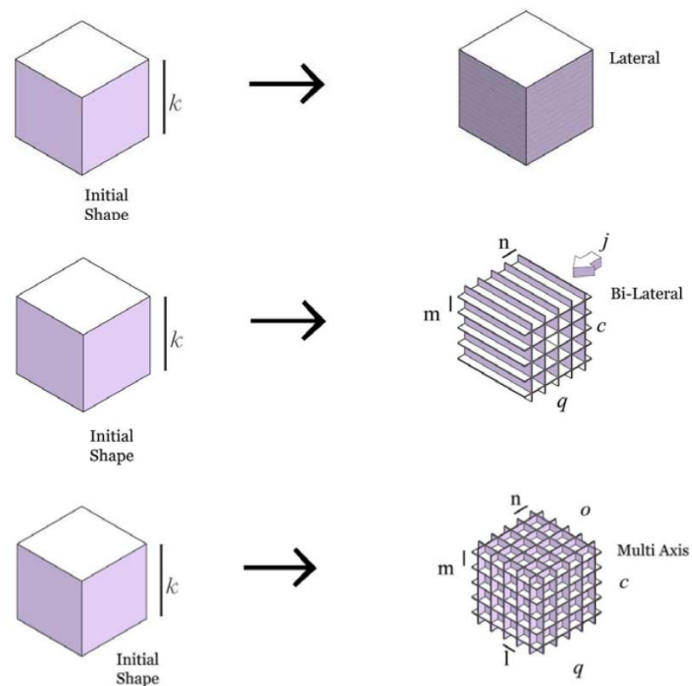
3.1.3.1. Sass et al. (2006). Estrategias para materializar un objeto 3D a través de elementos planos.

Para materializar un objeto 3D a través de elementos planos Sass et al. 2006, hay que realizar un primer acercamiento en los programas de virtualizado (1.5. metodología para el manejo

experimental, de esta memoria) troceando en distintas partes y en segundo lugar cómo se unen dichas partes.

Para el primer acercamiento (troceado) los autores resuelven de dos maneras alternativas (téngase en cuenta que este artículo es relativamente temprano en relación con la implantación del concepto de prototipado rápido):

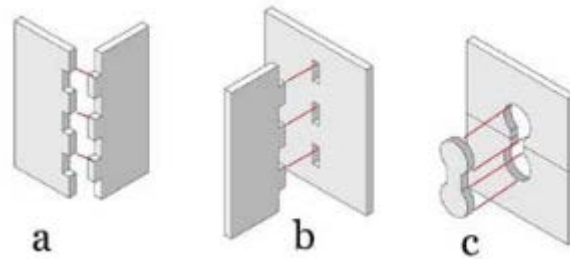
1. **Objeto superficie.** Lo más común es subdividir una superficie en pequeñas piezas para generar una geometría en CAD (1.5. de esta memoria), siendo el objeto buscado la suma de todas ellas.
2. **Sistema estructural.** Subdividido en 3:
 - a. **Capas Laterales** es la etapa que correspondería a la materialización de una maqueta de diseño que ya conocemos como Prototipado Rápido, que estos autores también denominan manufactura por capas.
 - b. **Capas Bilaterales** en las que se realiza una subdivisión en dos ejes espaciados una distancia cada plano.
 - c. **Estratificación Lateral Múltiple**, que consiste en estructurar planos en 3 direcciones.



Sistema estructural como esquema de trabajo. Sass et al., 2006.

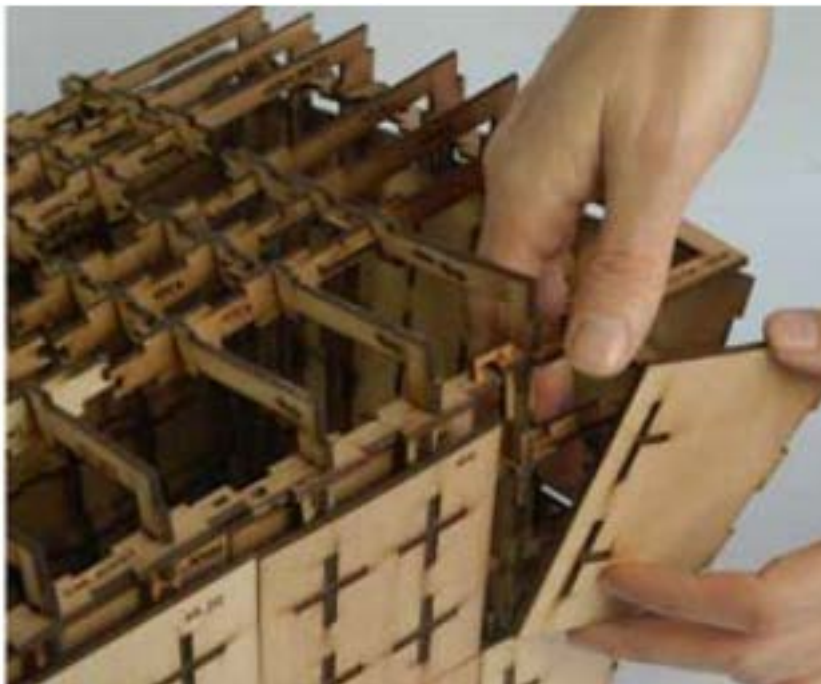
Para el segundo acercamiento (unión de piezas) estos mismos autores proponen 3 soluciones:

- a. Conexión de Borde.
- b. Conexión Perpendicular.
- c. Conexión Lateral.



Soluciones para las uniones entre piezas. Sass et al., 2006. *Attachment types compatible with plywood assembly*. Sass et al., 2006. (es el texto de la foto que había en el artículo y lo bajé aquí).

Finalmente, el sistema de trabajo de estos autores no resultó ser muy satisfactorio por la complejidad del método para un montaje manual de las piezas (ver figura inferior). Como se ha dicho en el Capítulo 2, la inclusión de estos autores y sus aportaciones no son un contexto histórico sino también la intención de facilitar a los docentes vías de trabajo superadas por esquemas posteriores.



Complejidad del método para un montaje manual de las piezas. Sass et al., 2006.

3.1.3.2. Šimek y Koreny (2010). Pasos para el diseño y desarrollo de una silla: silla Skeleton.

Continuando cronológicamente en la lista de referencias localizadas, aparece en el trabajo del Grupo de Investigación de la Universidad de Mendel un esquema de Šimek y Koreny (2010) que define todos los pasos a seguir para la fabricación y desarrollo de su silla *Skeleton*. Esta contribución se produce al mismo tiempo en que comienzan a emerger trabajos sobre producción con fabricación digital, aunque en un momento que todavía cuenta con escasos consensos. Para cualquier docente o interesado en esta temática estos pasos, perfectamente delimitados para

poder fabricar algo, resultaron de gran ayuda. Actualmente se sabe más sobre el sistema de trabajo con estas máquinas, pero en aquellos momentos fueron una gran aportación.

Los autores presentan una lista de 26 pasos concretos para la organización y desarrollo de la silla.



Silla Skeleton. Šimek y Koreny, 2010.

En síntesis, lo descrito en los 26 pasos señalados pueden reducirse a 6 fases que hemos reestructurado de manera más sencilla, siguiendo el esquema que nosotros hemos adoptado (1.5.):

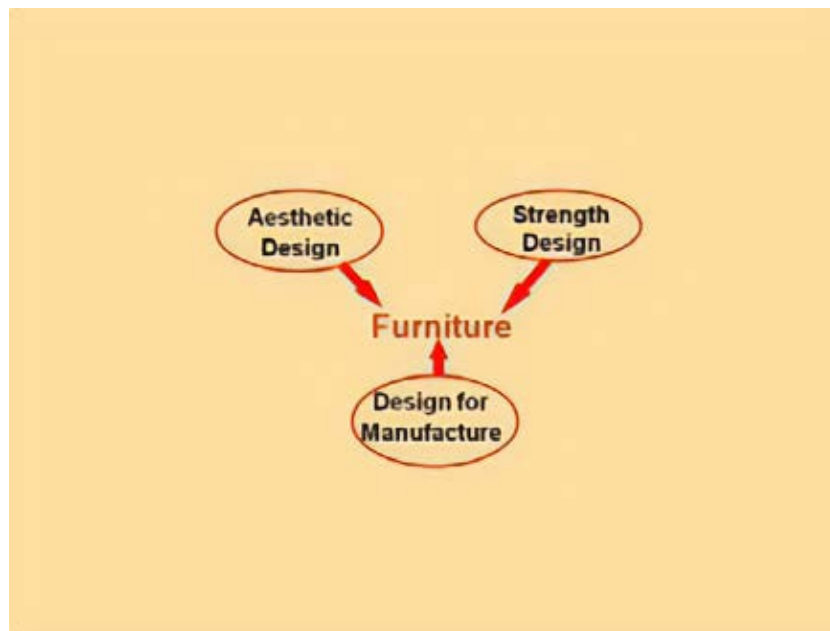
- a. **Ideación y concepción** del proyecto: del paso 1 al 5. Corresponde a facetas previas de ideación para la creación de un nuevo mobiliario.
- b. **Virtualización**: del paso 6 al 12. Una vez evaluadas estas informaciones de la clasificación anterior, se pasa a la virtualización del modelo.
- c. **Análisis de esfuerzos**: el paso 13 tiene que ver exclusivamente con el uso de programas de ingeniería tipo ANSYS para la verificación de sollicitaciones.

- d. **Fabricación Digital:** del paso 14 al 19. Todos los pasos están relacionados con el proceso de Fabricación Digital.
- e. **Iteraciones:** del paso 20 al 23. Tienen que ver con facetas de procesos iterativos, como se mencionaba más arriba, que van a mejorar y en donde se van a reajustar posibles inconvenientes o fallos del primer prototipo. Esta es una fase de análisis y reflexión muy importante a la que dedicarle tiempo para que un diseño evolucione de manera satisfactoria.
- f. **Implementación de mejoras:** del paso 24 al 26. Tienen que ver con la implementación de esas mejoras del prototipo.

Como se ha mencionado, la publicación de estos pasos detallados para la fabricación de un prototipo y diseño de mobiliario con tecnología digital son de gran ayuda tanto en Docencia como en Industria. Siguiendo sus pasos resulta fácilmente comprensible para cualquier usuario de esta tecnología digital.

3.1.3.3. Haviarova (2011). Pasos para el diseño de un producto de ingeniería en mobiliario.

Este artículo incide en metodologías de trabajo para diseño de mobiliario. Obsérvese que se registra un año después del anterior, siendo este el primero en el ámbito específico de la fabricación digital de mobiliario. Su autora se encuadra en el Grupo de Investigación de la Universidad de Purdue. En primer lugar, la autora plasma lo que, a su juicio, son los componentes para obtener un buen diseño.



Componentes para un buen diseño. Haviarova, 2011.

Según ella misma se produce sinergia al utilizar simultáneamente los tres conceptos siguientes:

1. El Diseño Estético
2. Diseño de las Fuerzas
3. Diseño de la Fabricación

En segundo lugar, la autora describe lo que considera las características que los muebles deberían reunir cuando se diseñan que como puede verse son evidencias que solo pretenden sistematizar para el aprendiz:

1. Ser económicamente factibles
2. Resultar funcionales
3. Conseguir una ergonomía adecuada
4. Ser factibles de producir con un tiempo de entrega corto
5. Aplicar materiales para crear un producto estructuralmente sólido para un servicio seguro y confiable

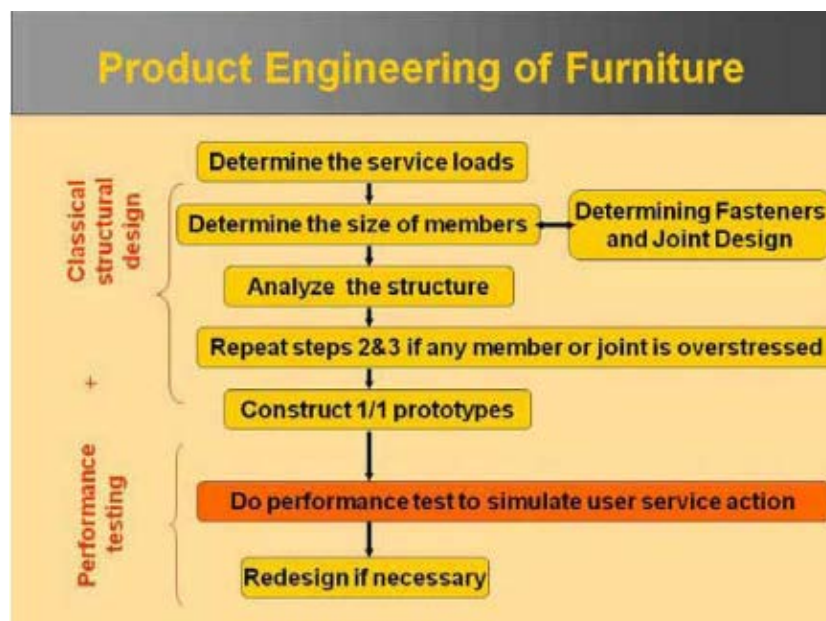
Además, también opina que los diseñadores de mobiliario deberían adquirir capacidades que esquematiza en:

- Ingeniería de productos
- Diseño de resistencias
- Conocer métodos de comprobación de rendimientos, para mejorar durabilidad, seguridad y predecir fallos (pruebas) para mobiliario

Otras capacidades del aprendizaje según la misma autora son:

- Propiedades de los materiales
- Cargas aplicadas en servicio
- Diseño racional de juntas determinando: cargas, ensamble adecuado, sistema de conexión y tensiones admisibles

En el último de los esquemas que aporta Haviarova en el documento que discutimos establece los 7 pasos sobre el proceso de diseño para un producto en ingeniería cuya autoría es de Eckelman (2003, como se citó en Haviarova, 2011). Es un tipo de proceso técnico, con metodologías utilizadas en ingeniería de producto, pero relevante para completar la formación de un diseñador de mobiliario.



Pasos para el diseño de un producto de ingeniería. Eckelman, 2003 en Haviarova, 2011.

Los pasos son:

1. Determinar las cargas de servicio
2. Evaluar las propiedades del material y determinar los parámetros de miembros y juntas
3. Analizar la estructura mediante herramientas de análisis de elementos finitos (FEM)
4. Repetir los dos anteriores pasos (2 y 3) si las uniones o miembros están sobrecargados
5. Construir los prototipos a escala real
6. Realizar pruebas de rendimiento para simular la acción del servicio
7. Rediseñar si es necesario. Realizar ensayos de resistencia de juntas en partes extraídas de los prototipos

En este esquema de 7 pasos del proceso de diseño de mobiliario también se incluye un esquema simplificado: los pasos del 1 al 5 los clasifica dentro de lo que denomina **Diseño Estructural Clásico**; y los dos últimos pasos, el 6 y 7, los clasifica como **Pruebas de rendimiento**.

En toda la secuencia de esquemas descrita para facilitar la enseñanza y el aprendizaje sería interesante introducir las otras vertientes que aporta el Grupo de Kentucky. Este Grupo, para tener una retroalimentación externa, se beneficia de una herramienta tecnológica que le proporciona su plataforma interactiva con usuarios, mediante la que consigue una mejoría notablemente del producto final.

3.1.3.4. Langová (2017). Sistematización del análisis de los esfuerzos de los ensamblés.

Continuando con otras publicaciones que reflejen algún esquema de trabajo aplicables a docencia se encuentra el Grupo de Investigación de la Universidad de Zvolen (TUZVO). Langová (2017) describe una breve metodología del trabajo seguido para sistematizar, cómo proceder para analizar los esfuerzos de los ensamblés. La metodología de investigación la dividen en 3 fases:

1. Diseño de la forma del ensamble.
2. Determinar las propiedades mecánicas de manera experimental.
3. Comparar con método numérico FEA los esfuerzos que se plantean. En su caso con el programa ANSYS.

Como se puede observar, únicamente se trata de solucionar un problema específico sobre la resistencia del ensamble que se va a construir con fresadora CNC de 3 ejes, como componente individual. Sería, así, un esquema de trabajo llevado a cabo para un hecho particular. En este caso este Grupo técnico no desarrolla metodología para plantearlo a un mobiliario completo.

3.1.3.5. Braun (2021). Niveles de abstracción.

Entre los autores sin adscripción a ninguno de los grupos que hayamos reconocido, Braun (2021), propone un modelo específico de trabajo que ayuda a establecer niveles de abstracción. El modelo que propone se basa en acercamientos como los propuestos por Ponn y Lindemann (2011, como se citó en Braun 2021). Se focaliza en modelos de productos divididos en tres niveles de abstracción:

- **Nivel Funcional**, en el que describe lo que un producto o componente hace.
- **Nivel Efecto**, que incluye modelos que describen cómo un producto o componente trabaja y qué efectos físicos o químicos utiliza.

- **Nivel Componente**, que es el más concreto e incluye modelos con geometrías detalladas, materiales y cómo se producen y ensamblan sus componentes.

3.1.3.6. Becerril et al. (2021). Siete problemas de diseño para resolver de forma secuencial.

El interés principal de esta contribución es la posición del autor con respecto a la necesidad de introducir las tecnologías de fabricación digital en diseño de mobiliario para docencia. Comenta que, con base en Zhang et al. (2012, como se citó en Becerril et al., 2021), el proceso de diseño desde la industria se puede clasificar en siete problemas de diseño, que idealmente se resuelven de manera secuencial:

1. Determinación de la función, comportamiento y forma del sistema que se diseñará
2. Especificación de los requisitos funcionales
3. Análisis de soluciones
4. Eliminación de las peores soluciones o elección de la mejor
5. Propuesta de diseño
6. Preparación de dibujos, especificaciones y otros documentos
7. Determinación de la robustez del sistema

En comparación con los esquemas anteriores, pese a ser el más reciente, no es el más comprensivo. Los aportados por el Grupo de Purdue o de Mendel abarcan mayor diversidad de aspectos.

3.1.3.7. Recapitulación

Se han analizado los diferentes esquemas de trabajo de las publicaciones docentes bajo el filtro común de ensamblajes digitales. Sass et al. (2006), aporta esquemas de trabajo para facilitar la construcción digital de objetos con morfologías complicadas. Se dan pautas que pretenden ayudar a transformar un modelo virtual en uno físico. Las siguientes 3 aportaciones fueron del Grupo de Mendel, de Zvolen y de Purdue. Entre ellos, resaltamos en el campo de la didáctica los de Šimek y Koreny (2010) y Haviarova (2011).

Curiosamente los grupos de Categoría 1 (Grupos técnicos) presentan en la mayoría de los casos un esquema estructurado basado en literatura contrastada y sin embargo los de Categoría 3 (Grupos con focalización en la estética) no suelen recurrir a este tipo de presentación.

En este epígrafe 3.1.3., se recogen específicamente esquemas para apoyo docente que son de útiles como herramienta para el enseñante. En ellos se puede evidenciar la necesidad de colaboración entre disciplinas maclando sus conocimientos. Esto se pone de manifiesto especialmente en esquemas de Haviarova (2011).

Interesa resaltar la conveniencia de establecer en las prácticas docentes esquemas generales que puedan ser repetidos para todas las tareas de creación de mobiliario con fabricación digital. Esta propuesta se desarrollará en el Capítulo 5.

Por último, en esta recapitulación queremos hacer una reflexión que a su vez es una limitación de nuestros planteamientos sobre la evolución de la fabricación digital para mobiliario. El tipo de búsqueda que se ha efectuado para esta Tesis Doctoral, detalladamente expuesta en el epígrafe de metodología para referencias bibliográficas (1.4.), limita el acceso a algunos autores anteriores a la digitalización. Sin embargo, no podría entenderse el avance del conocimiento y la velocidad de expansión del proceso digital si no se partiera de los conocimientos previos de tales autores. De hecho, el mobiliario de madera y la clasificación que hemos realizado a partir de 1997 sitúa

como punto de partida a la Escuela de la Universidad de Offenbach (C-Lab at HfG); estos autores resultan pioneros porque su obra aparece temporalmente en un momento oportuno. Es probable que un historiador sea capaz de entroncar esta obra con autores previos que no utilizaron todavía tecnología digital. Como ejemplo, podemos señalar que nuestras investigaciones nos han llevado a encontrar en un caso concreto, una secuencia histórica que nos ha parecido ilustrativa a este respecto. Se trata del caso de las aportaciones que atribuimos a la escuela de Purdue University. En los capítulos precedentes hemos analizado diversas innovaciones aportadas por los investigadores de esa escuela. Así Šimek y Koreny (2010), y Haviarova (2011) han sido estudiados y señalados en esta memoria como figuras clave en el diseño de mobiliario digital. Pues bien, del estudio comparativo que hemos realizado de la obra de ambos autores, surge el nombre de Carl Eckelman cuya referencia aparece reiteradamente en estos y otros investigadores. Sin embargo, por sesgo de nuestra búsqueda nosotros no hemos recogido a este autor predigital. Al percatarnos de su importancia a través de la repercusión en los autores señalados, consideramos posible que Eckelman hubiera tenido un papel pionero que se nos hubiera pasado por alto. Así pudimos confirmarlo tras un análisis de sus publicaciones accesibles a través de internet (<https://www.purdue.edu/woodresearch/publications-carl-eckelman/>). Efectivamente, Eckelman comienza a publicar a principios de la década de 1970 y tras su Tesis Doctoral (Eckelman, C.A. 1968. *Furniture Frame Analysis and Design*. Unpublished Ph.D. Thesis, Purdue University, 231 pp.) continúa difundiendo sus numerosas contribuciones a partir de entonces. La lectura detenida de su bibliografía permite deducir que a él se debe la creación de la escuela de Purdue University y por tanto autores como Šimek y Haviarova cuyas múltiples referencias se recogen y comentan en esta memoria (Capítulo 2 y Apéndice 1 y Capítulo 3.1.3.) surgen en el seno de esta escuela en el momento en que la tecnología permite el paso a la digitalización, pero antes el terreno estaba abonado con las importantes contribuciones de Eckelman.

Esta digresión se hace para subrayar que la historia de la ciencia y de la innovación no puede entenderse sin un análisis más amplio que recoja el origen de las ideas y la prioridad en los méritos. La historia tiene que reconocer a los gigantes y la digitalización como otros avances tecnológicos proceden al menos en parte de contribuciones previas indispensables (https://en.wikipedia.org/wiki/Standing_on_the_shoulders_of_giants).

3.1.4. Talleres de Trabajo

En la mayor parte de los centros de enseñanza de diseño disponen de la posibilidad de organización de talleres (traducción aproximada de lo que se ha generalizado como *Workshops*) para ejecutar prácticas con cualquier objetivo. Se puede organizar un taller para desarrollar uno o varios programas de prácticas de una asignatura, o se puede también organizar un taller para mostrar o divulgar el proceso y forma de ejecución de un proyecto o una exhibición. Cabe señalar que la maquinaria o instrumentación con la que se ha de desarrollar el contenido del taller tiene que estar en consonancia con los objetivos que se persigue en cada caso.

En este epígrafe se analizan las propuestas realizadas por diferentes autores con objetivos convergentes con los de esta memoria. Se trata por tanto de aprovechar las experiencias conocidas para los objetivos que se tengan, por ejemplo, prácticas de una asignatura o prácticas para cualquier otro objetivo de transferencia o divulgación. Estas aportaciones son relevantes, puesto que pueden ser reproducidos a través de experiencias presenciales, pero también difundidos como guías a través de internet para ayudar a otros docentes u organizadores. Son una vía de transferencia los conocimientos que tienen amplio grado de aceptación.

Cualquiera de nuestras experiencias mostradas en el epígrafe 2.5. del capítulo de resultados puede transformarse en un taller y viceversa, nuestra actividad experimental se ha basado en la utilización de la información recogida de los autores que vamos a detallar a continuación.

3.1.4.1. Cardoso (2010). Asignatura de diseño de mobiliario con Fabricación Digital.

La primera publicación que se detiene a definir un taller de trabajo en el que se utiliza la fabricación digital es Cardoso (2010). Su esquema de taller lo plantea para desarrollarlo en una asignatura de diseño de mobiliario con fabricación digital impartida a lo largo de un semestre. El trabajo se basa en la elaboración, planificación y ejecución de un proyecto de mobiliario que solo tiene el propio material como elementos de unión. Se corta en una fresadora CNC de 3 ejes, semejante a la nuestra (Capítulo 1.3.), que ha sido diseñado en un modelo virtual tridimensional tal como se realiza en la parte experimental de esta memoria (Capítulo 1.5.). El equipo utilizado por Cardoso tiene una mesa con un área útil de 500 mm x 700 mm y una altura de corte máxima de 150 mm. Siendo un taller de trabajo que hemos utilizado hay datos necesarios que no se aportan en la descripción a la que hemos tenido acceso; por ejemplo, no informa sobre los tiempos de dedicación que se requieren en las distintas fases del taller, ni tampoco el número de horas que el autor estima suficiente para la organización docente del contenido. De manera resumida, el taller que propone sigue los pasos:

1. **Fase inicial Teórica.** Toma de contacto del alumno con el proyecto desarrollando algunas actividades:
 - i. Pequeña introducción sobre teoría y consideraciones típicas para diseño de mobiliario y objeto.
 - ii. Introducción teórica a técnicas de prototipado rápido aditivas y sustractivas.
 - iii. Información para selección de materiales, incluyendo beneficios e inconvenientes constructivos.
2. **Fase de Concepto.** Proyecto:
 - i. Investigación del alumno y propuesta con modelos virtuales.
3. **Fase de Desarrollo:**
 - i. Precisar y estudiar sistemas de unión entre piezas.
 - ii. Precisar y evaluar formas específicas de fabricación.
 - iii. Uso del material.
 - iv. Validación del sistema propuesto mediante realización de modelos a escala o partes.
4. **Fase de Fabricación de prototipo** completo.
5. **Validaciones empíricas:** Comprobación de la viabilidad del sistema constructivo, evaluaciones sobre usabilidad y ergonomía. Interacción con el producto.
6. Detalle del **proyecto ejecutivo** una vez analizadas y subsanadas las cuestiones anteriores.
7. **Prototipo final.**

Cabe destacar que, para la fecha de publicación (2010), es un documento bien estructurado y que después de más de una década, posee todavía información suficiente para poder organizar una asignatura de diseño de mobiliario, o dependiendo del tiempo que se quiera emplear, organizar un taller más pequeño. En nuestro criterio este es el taller de trabajo es la mejor guía para montar otros talleres y/o prácticas de cuantos hemos encontrado en la literatura seleccionada. Evidentemente no es el mismo tipo de información que se provee en el manual publicado por el Grupo de la Universidad de Kentucky, *Design for CNC*, de 2017 cuya información es de carácter

general y no una guía. Cabe añadir que para poder utilizar con solvencia la guía de Cardoso (2010) hay que contar con la formación que se recoge en *Design for CNC*.

3.1.4.2. Saul et al. (2010). SketchChair: proceso completo para principiantes de diseño y construcción de una silla.

Este artículo define *SketchChair* como una aplicación que permite a usuarios principiantes controlar el proceso entero de diseño y construcción de sus propias sillas mediante una interfaz en 2D muy fácil de utilizar y donde se validan las herramientas y los materiales planos que serán cortados por una máquina CNC láser o fresadora. Los autores trataban de contrastar su programa para comprobar si los usuarios eran capaces de construir algún artefacto. El esquema de la actividad era:

1. Presentación a la audiencia de la actividad para crear una silla incluyendo idea y programa informático. Se practica con el programa unos 30 min. Posteriormente se muestran imágenes de referencia de otras sillas.
2. La audiencia diseña su propia silla y guardan los archivos de corte.
3. Se procede al corte de los perfiles para posteriormente montarlos.
4. Se realiza una encuesta a cada usuario.

En el ejemplo de este artículo se realiza un primer prototipo a menor escala con cartón gris y cortado con láser que se tardó en construir entre 20 y 30 min. Para la escala real del mueble se tardó en todo el proceso 90 min. Como puede observarse es un taller más corto en tiempo que el realizado por Cardoso (2010). Además, las ideas de partida para ambos talleres son distintas. Saul et al. pretenden que cualquier usuario pueda diseñar un mueble o maqueta sin tener conocimientos previos ni de programas de dibujo ni de diseño de mobiliario. En la encuesta prevista y efectuada, algunos participantes afirman que, si se parte de usuarios con conocimientos básicos, el programa no deja libertad suficiente para el proceso de diseño adecuado. Es decir, no satisface a usuarios expertos en diseño digital. En el caso del taller de Cardoso et al. (2010) constituye una transferencia de conocimiento más enfocado a crear profesionales que entiendan y aprendan profundamente de estas tecnologías digitales.

3.1.4.3. Symeonidou (2018). Aprendizaje experimental a través de un completo modelo digital para estudiantes y profesionales.

Symeonidou (2018), registra los resultados de un taller de trabajo realizado en la Universidad de Thessaloniki en Grecia por 20 estudiantes y jóvenes profesionales. Los participantes se dividieron en grupos para producir un mueble a escala real. El taller de trabajo tenía como objetivo ofrecer una oportunidad de aprendizaje experimental, exhibiendo el modelo completo de trabajo digital para diseño de mobiliario desde su concepción hasta la producción. Se resumen los pasos más relevantes:

1. Durante el primer fin de semana se desarrolló el diseño y prototipado virtual:
 - i. Breve introducción teórica sobre diseño de mobiliario, ergonomía y antropometría.
 - ii. Breve introducción práctica sobre tutoriales de Rhinoceros para seguidamente diseñar las primeras ideas de muebles de manera individual o en grupos pequeños.
 - iii. Producción de modelos escalados, pruebas físicas de uniones de piezas y prototipos reales.
2. Durante el segundo fin de semana se desarrolló la fabricación a escala real.

Esta autora sí delimita el tiempo de desarrollo del taller a dos fines de semana (dos más dos días).

3.1.4.4. Recapitulación

Los expuestos más arriba han sido todos los talleres prácticos que se han desarrollado en alguna de las referencias documentales que se han estudiado para esta Tesis. Como se deduce, son guías sencillas pero que resultan de ayuda para el ejercicio docente entre otros. Una iniciativa que nos planteamos a futuro es la realización de una guía docente equiparable completando los aspectos que se han señalado como lagunas de información completando aspectos recogidos de nuestra experiencia.

3.1.5. Valoración de debilidades y fortalezas de la CNC

Como se ha ido analizando en la literatura aportada, hay autores que señalan debilidades de esta técnica de digitalización. Consideramos interesante para cualquier usuario que comienza en esta disciplina conocer *a priori* las limitaciones de la fabricación con técnicas digitales (Cormack y Sweet, 2016 podrían ser un ejemplo), lo que le evitará pérdida de tiempo y material. Por consiguiente, aquí se van a describir los principales problemas cuando se trabaja con fresadora CNC de 3 ejes. Lo haremos aludiendo a los Grupos que en sus trabajos han puesto de manifiesto estas limitaciones.

Grupo de la Universidad de Offenbach (C-Lab at HfG)

Steffen (2006) sin tratar ninguna debilidad propia de la técnica utilizada se plantea las dificultades que surgen cuando se trata de una verdadera innovación que es pionera en su campo. En particular, la oferta de posibilidades y de mobiliario al principio son muy limitadas y el usuario potencial es por tanto muy restringido. Esto debe ser considerado en términos de negocio. Pero sí que afirman que como producto y proyecto experimental fue todo un éxito (Steffen, 2006).

Autores aislados de la década del 2000

Otros autores no se centran en estas limitaciones de carácter pragmático, sino que se refieren ya a los inconvenientes de producción con esta nueva tecnología. Se centran en cuestiones prácticas que afectan al diseñador novel que quiera utilizar fresadora CNC de 3 ejes.

El primero de este tipo de trabajos es el de Davis (2006). Por una parte, menciona que, al ser una fresadora de 3 ejes, sólo puede moverse en X, en Y y en Z, sin tener la capacidad de rotar ni el motor ni la mesa, limitando así los movimientos de corte y consecuentemente el tipo de ensamble a realizar. El segundo problema que describe, en cuanto a la máquina, son los cortes interiores de esquinas, debido a que con una fresa es cilíndrica nunca se podrá hacer un corte a 90° quedando siempre un borde curvo igual al radio de la fresa utilizada. Por ejemplo, en algunas iteraciones de su proyecto, como en la silla 3 o la 4, señala limitaciones concretas que presentan ciertos ensambles, por las razones mencionadas.

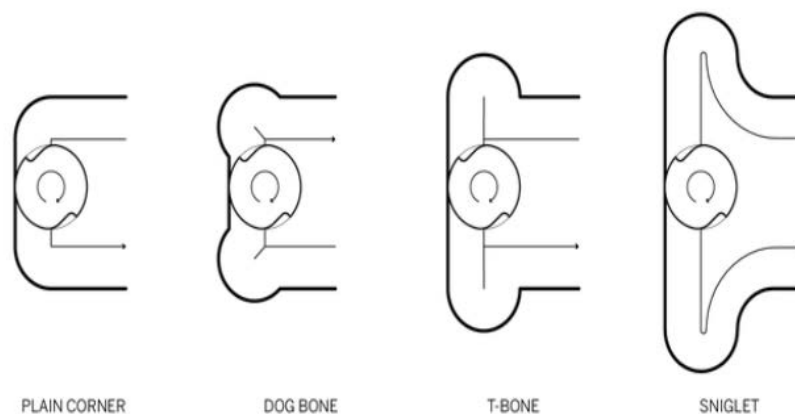
Grupo de Mendel University

Las siguientes menciones a problemas técnicos corresponden a varios de los artículos publicados por el Grupo de investigación de la Universidad de Mendel, en donde advierten tanto en Šimek y Sebera (2010) como en Sebera y Šimek (2010). También aquí se refieren a los problemas de los cortes interiores, señalando algo parecido a lo descrito en Davis (2006). Sugieren que para solventar el error en el interior de líneas que convergen entre 0° y 180°, se utilice el ensamble

mickey mouse ears. El mismo problema es tratado por Filson et al. (2017) y resuelto con el mismo ensamble, pero con distinta nomenclatura (ver imagen pág. 193).

Sin embargo, en Šimek y Konery (2010) dan otra solución que consiste en perforar primero en las esquinas interiores de los cortes para solucionar los redondeos mencionados. Sin embargo, en nuestra opinión, esta propuesta repercute en un mayor tiempo de mecanizado porque requiere el cambiar de fresa.

En la publicación de Šimek et al. (2013) ponen de relieve otras debilidades dejan patente más desventajas de esta técnica: los costes de compra y operación, las mayores exigencias de conocimiento del operador y la menor velocidad de producción en comparación con la producción en serie a gran escala de las diversas máquinas especializadas. En relación con los costes hay que señalar que en la actualidad los precios han bajado considerablemente y que este tipo de planteamiento solo pueden hacerse en términos relativos espacios temporales, lo mismo puede decirse en cuanto a la cualificación de los operadores y mano de obra en general. La última desventaja que detallan estos autores sobre la velocidad de producción merece un comentario que haremos a continuación. Estas máquinas son las más competitivas cuando se introducen diseños con multitud de curvaturas (como por ejemplos el tipo de morfologías orgánicas) y también en diseños personalizados. La razón es que tardan lo mismo en procesar piezas iguales o distintas. Sin embargo, para cortes rectos, se pueden utilizar otras máquinas especializadas, como las de centros de mecanizado, que están destinadas a producciones en masa que sí que son más competitivas. Es decir, depende del tipo de trabajo que se quiera producir.



Distintas formas de solventar redondeos interiores. *Design for CNC*. Filson et al., 2017

Grupo AtFAB de la Universidad de Kentucky (AtFAB at UK)

El Grupo de Investigación de la Universidad de Kentucky no describe ningún inconveniente específico con la técnica, al contrario, en todos sus escritos la muestran como una revolución para el diseño de mobiliario en línea con la opinión del Grupo de Offenbach (C-Lab at HfG). La única debilidad menor podría atribuirse a la mencionada imposibilidad de realizar cortes interiores de ángulos inferiores a 90° (Filson et al., 2017).

Grupo de la Universidad de Purdue

En Uysal et al. (2019) se alude no tanto a debilidades como a cuestiones de ajustes de manejo de las CNC tales como: tiempo de procesamiento, comportamiento térmico, respuesta dinámica,

respuestas del material y otros asociados a la naturaleza del material como la orientación de la veta, quebrado de esquinas o quemado del material durante el corte por recalentamiento, y la incapacidad de cortar y rebajar esquinas interiores. Como se percibe, estas cuestiones tan de detalle se pueden resolver con mayor protagonismo de la ingeniería de materiales.

Este Grupo como todos los demás expertos referenciados inciden en lo que todos percibimos como la única limitación real de esta tecnología que son los redondeos en las esquinas interiores. Para solventar este problema cada diseñador acude a soluciones parcialmente paliativas.

Autores aislados de la década del 2010

Entre los inconvenientes que plantea Saul et al. (2011) el principal es que en el proceso de diseño con tecnología digital el conocimiento y manejo de los programas limita a los usuarios. Focalizan este aspecto porque su desarrollo se basa en un programa que con pocos bocetos es capaz de crear todos los archivos para producir una maqueta.

En *MatchSticks* (Tian et al. 2018), para enfatizar la utilidad de su máquina, como podría esperarse, subrayan debilidades de las fresadoras comunes contrapuestas a las ventajas que para ellos aporta su máquina. La más relevante es la dificultad de acceso de los principiantes al uso de las fresadoras CNC por la complejidad en los programas que en nuestra opinión sobrevaloran. A este respecto ya varios autores han insistido en la conveniencia de simplificar el acceso a un mayor espectro de usuarios. El camino planteado por Tian et al. (2018), como ya se dijo valoramos muy positivamente el avance que proponen estos autores facilitando la fabricación sin que los usuarios deban tener un conocimiento sobre programas de diseño. Atribuimos gran interés a la idea de estos autores de creación de la biblioteca de ensamblés. Como comentamos la posibilidad de volcar en los procesos de diseño con fresadora CNC nos parece una solución para investigar. A este respecto hay varios autores que han mencionado la necesidad en el proceso de diseño a cuestiones parecidas en las que recogen que en fases del proceso de construcción con fabricación digital se requiere del diseño de un modelo digital por parte del usuario, convertir ese modelo hacia una forma susceptible de fabricación (Sass et al. 2006, Vamvakidis 2009 y Cardoso 2010), y finalmente producción por parte de las máquinas del objeto final. Como se ha dicho *MatchSticks* (Tian et al. 2018) permite construir ensamblés de piezas de madera sin tener en cuenta los programas de diseño, pero en nuestra opinión limita mucho a un creador con conocimientos en programas informáticos de diseño puesto que conociendo el sistema de trabajo completo enriquece sobremedida todo el proceso.

Una vez analizadas las publicaciones que recogen valoraciones sobre la utilización de la tecnología digital se puede concluir que el inconveniente más común que aparece en la mayoría, son los redondeos en las esquinas de cortes interiores de rectas que oscilen entre 0 y 180°. Este es un factor que debe tener en cuenta un principiante puesto que va a condicionar muchas partes de su diseño. Otro inconveniente que aparece de manera bastante frecuente es una marcada estética en algunas formas con estos redondeos, dependiendo de lo visible que el diseñador los deje en los ensamblés que proponga. Una vez conocido este factor relevante, un diseñador debe tomar la decisión de diseñar ocultándolo o no. Otra posible debilidad que se menciona en los textos es la necesidad de una ampliación de capacidades técnicas por parte de todas las disciplinas enfocadas a la digitalización. Es decir, la necesidad de conocer varios programas informáticos para poder completar todos los procesos. En ocasiones esta versatilidad de capacidades en un diseñador puede llegar a abrumar a principiantes como apuntan directamente dos de las publicaciones. Pero tal y como se muestra en la obra de Filson et al. (2017) permite que nos acerquemos a un buen diseño del todo con todos los beneficios que conlleva.

3.2. Contenidos para desarrollo industrial

En este epígrafe se analizan todos los aportes encontrados en las publicaciones citadas desde un punto de vista que puedan ser útiles para el sector Industrial de manera que mejoren el conocimiento para la aplicación y desarrollo de la fabricación digital con fresadora de 3 ejes, y en particular los ensambles.

3.2.1. Transferencias al sector industrial

La mayoría de las publicaciones presentadas, si no todas, ayudan a la transferencia del conocimiento. Como afirmara Steffen (2006), incluso investigando casos que pueden ser opciones refutables se contribuye al conocimiento excluyendo la posibilidad de que un tercero inicie un camino que ha sido investigado sin éxito.

A continuación, se abordarán las contribuciones de cada Grupo o autor, específicamente orientadas al sector industrial. En un epígrafe se tratará las maneras de transferir y en el otro de los productos a transferir.

3.2.1.1 Sistema de Transferencia de cada Grupo

La forma básica de divulgación son las publicaciones científicas más o menos especializadas, pero en este como en otros campos del saber existen otras vías importantes como son los diferentes tipos de muestras (ferias, congresos, exposiciones, etc). Estas últimas son a veces más eficaces en términos de transferencia sobre todo de cara al tejido industrial de proximidad.

Grupo de la Universidad de Offenbach (C-Lab at HfG)

Gros y Sulzer (1997) describen una sucesión de varios eventos que sin duda los convierte en el proyecto que mayor cantidad de canales de comunicación ofrece para tratar de divulgar sus adelantos. El análisis de la literatura relacionada con el diseño y los cambios propiciados por la digitalización en los sistemas de producción les preocupa especialmente llegar con fluidez y hacerse entender por los sectores industriales y la sociedad. Su objetivo era una inclusión de todos los gremios posibles que pudieran sentir sus intereses atacados por el advenimiento de las nuevas tecnologías y tratando de presentarlas de una manera positiva. Son varios los autores que a lo largo de los años tratan de introducir la innovación en los sistemas de producción intentando no dejar desaparecer ningún agente (Gros y Sulzer, 1998; Ebnöther 2004, Cormack y Sweet, 2016; Tian et al., 2018; Schwarzmann et al., 2020). Pero es un tema recurrente desde la aparición de las máquinas y que sigue generando problemas en los sectores que va modificando. Por ejemplo, optimizando las posibilidades de la importante industria alemana del mueble para acceder al cambio tecnológico. Entre las varias acciones que ponen en marcha se destacan:

- Presentación de proyectos de investigación complementarios realizados entre profesores y alumnos para diferentes objetivos concretos como producir una línea especial de diseños de muebles con CNC, o producir paquetes de conferencias de acercamiento a la técnica para profesionales
- Impartición de cursos de verano para públicos variados sobre el maridaje del diseño de mobiliario clásico y las técnicas digitales o seminarios para empresas y charlas para mostrar los efectos de la tecnología en el mobiliario artesano
- Organización o participación en exposiciones en ferias de mobiliario
- Recurso a la fundación de una marca basada en la unión de 11 empresas con el *modus operandi* que desarrollan en el proyecto

- Todo ello además de la preparación de un detallado paquete informativo en CDROM sobre los mencionados ensambles, un libro y los 3 artículos en revistas académicas.

Queda patente de esta manera los esfuerzos que realiza este Grupo para difundir y transferir sus aportaciones tecnológicas. Entre los autores estudiados ningún otro presta tal atención a los aspectos de transferencia.

Así mismo otro aspecto que este Grupo cuida especialmente es la docencia como formación de capital humano que incorpore esta novedad tecnológica lo cual consideran una eficaz herramienta de transferencia a medio y largo plazo. Como hemos aludido su forma dialéctica de enseñanza (basada en aprender creando) produce colectivos estudiantiles dispuestos a desarrollar e innovar en su futuro profesional.

Autores aislados de la década del 2000

Ebnöther (2004) menciona su participación en la feria tecnológica Expo2001 llevando un stand con medios de fabricación digital. Los visitantes podían fabricar una silla clásica por piezas que posteriormente podían ensamblar en el propio stand.

En Sass et al. (2006) difunden su investigación mediante un artículo para una Conferencia en la que su audiencia son arquitectos y diseñadores relacionados con herramientas digitales. El objetivo es dar a conocer estas tecnologías a un sector muy acotado del que ocasionalmente pueden surgir colaboraciones.

Con frecuencia sin embargo aportaciones interesantes no se transfieren a otras audiencias, por ejemplo, la Tesis de fin de máster de Davis (2006), documento que valoramos muy positivamente, se quedará en un espacio muy crítico con limitadas posibilidades de ser conocida igualmente que las citadas obras de Vamvakidis (2009) y Cardoso (2010).

Grupo de Mendel University

Los ocho artículos que reseñamos de este Grupo solo han sido difundidos en revistas científicas relacionadas con la tecnología de la madera. La primera publicación al estar recogida en una revista de la propia universidad podría esperarse que tuviera una influencia limitada, sin embargo, al estar recogida la revista en plataformas de prestigio (Scopus y WoS), ha alcanzado una interesante difusión (9 hasta 2022, según las tablas de publicaciones 2.2.).

La segunda y tercera publicación del mismo Grupo, también de 2010 tiene un ámbito más internacional y una posible mayor influencia de futuro puesto que se trata de una Conferencia internacional sobre tecnología de la madera. El artículo de 2013 se realiza en Zagreb para mostrar la tecnología en madera de varios países de Europa del Este como Croacia. Además de las revistas científicas mencionadas, en Šimek y Koreny (2010) se comenta que mostraron su proyecto sobre la *Skeleton Chair* en varias ferias realizadas en la República Checa, en particular las llamadas WoodTec y Mobitex, comentando las reacciones positivas que obtuvieron del sector de innovación tecnológica. La publicación de 2014 es una Convención internacional organizada por una Sociedad de Madera Ciencia y tecnología. La de 2015 se hace en una revista específica sobre Industria de la Madera con acceso abierto e internacional, y está recogida en las plataformas mencionadas más arriba. Estos tres últimos manejan los mismos datos y se dirigen a tres entornos distintos de publicación lo que dará mayor visibilidad. El artículo de 2017 está presentado a una conferencia anual de una Asociación de técnicos relacionados con silvicultura e industria. Finalmente, la publicación de 2018 también es presentada en la conferencia mencionada, pero del año posterior.

Grupo AtFAB de la Universidad de Kentucky (AtFAB at UK)

AtFAB at UK, también realizan varias incursiones a medios diferentes a publicaciones convencionales. En 2011 realizan una exhibición de prototipos en la Word Makerfaire, una exposición sobre la tecnología y la cultura del bricolaje. Como idea original en esta muestra, los autores recopilan *a posteriori* un volumen de respuestas anecdóticas del público asistente. Además, publican un libro (Filson et al. 2017) de carácter divulgativo, que abren para uso general sin ánimo de lucro.

De entre los autores mencionados en *Design for CNC* (Filson et al. 2017) destacamos a continuación algunas transferencias de un autor que permanece activo y que hemos considerado de interés. Se trata de Ronen Kadushin que es un diseñador profesional que aplica con éxito estas tecnologías. Entre los datos recogidos figura ser autor de un manifiesto sobre diseño, *Open Design Manifesto*; también realiza exhibiciones, imparte docencia y conferencias, y produce algunas publicaciones en medios locales; este autor además ha recibido premios, que habrán contribuido a la difusión de contenidos de su obra. Propone una nueva línea de muebles que difunde en su web New Edge Furniture (<https://www.newedgefurniture.com>) y especifica en ella muchas justificaciones sostenibles de la técnica.

Grupo de la Universidad de Purdue

En Haviarova 2011, se aborda la realización de exposiciones y concursos entre estudiantes para facilitar la práctica del trabajo con estas técnicas. Además, describe otras vías para fomentar el uso de las fresadoras CNC de 3 ejes con el fin de establecer otras sinergias entre la docencia y la investigación mediante el desarrollo de productos innovadores como mobiliario de grandes dimensiones, mobiliario ajustable, mobiliario a medida o resolución hipotética de problemas de sostenibilidad de mobiliario.

Otro proyecto de este mismo laboratorio, en este caso con fines humanitarios, consistió en la realización de mobiliario escolar para niños de regiones desfavorecidas del planeta; el proyecto lo ejecuta con la participación de estudiantes graduados en áreas de desarrollo de productos y análisis de sistemas de fabricación.

En las siguientes dos publicaciones del Grupo (Haviarova et al. 2015; Uysal et al. 2019) publican tablas con las capacidades de carga promedio y costes comparados de mobiliario con distintos tipos de ensambles. Los resultados obtenidos de estos análisis contribuyen a facilitar la toma de decisiones entre el diseñador o autor de un producto y la empresa industrial que pudiera interesarse por el mismo.

Autores aislados de la década del 2010

Finalmente, entre las publicaciones aisladas de la década de 2010, en Symeonidou (2018), se recogen los resultados de un taller en el que se experimenta con fabricación digital. No solo aporta referencias sobre experimentación sino también describe métodos eficaces de aprendizaje mediante un taller en el que se puede desarrollar prácticas completas. Este tipo de transferencia nos parece interesante porque puede ser aplicada a nivel local en cualquier entorno donde existan empresas de mobiliario que deseen experimentar una reconversión.

Para finalizar, es necesario destacar la necesidad de conocer, tanto por diseñadores como por inversores en el sector industrial, todas las contribuciones que realizan en este campo en la

medida de lo posible. No tener en cuenta todos estos estudios en cuanto a optimización de procesos y viabilidad, se tiende a crear diseño de objetos que pueden llegar a tener unos costes demasiado elevados y poco competitivos. Debe haber un equilibrio entre los estudios que se centran en lo técnico como los que se centran en lo estético. De lo contrario la fabricación digital se convertirá por exceso de diseño en algo caro de producir. Por lo tanto, es necesario un trabajo colaborativo entre disciplinas ya que los potenciales problemas serían estudiados desde varias perspectivas distintas (Tannert et al., 2008).

3.2.1.2 Beneficios para la industria

Cualquier empresa innovadora puede servirse de las ventajas tecnológicas que proporciona la Fresadora CNC de 3 ejes. Se van a recoger de manera resumida varias de las aportaciones que se suceden en las publicaciones estudiadas con respecto a lo que cada autor considera que su investigación va a contribuir a la industria.

Uno de los aportes comunes de mayor beneficio para el sector Industrial con esta tecnología es la digitalización de los distintos procesos que son necesarios para una producción con fabricación digital. La necesidad de utilizar varias aplicaciones hace posibles conexiones entre diversos programas que van a intercambiar sus datos. Esto propicia poder interrelacionar varios de ellos como: un calculador de costes (materiales, corte de piezas, acabados, etc.) a tiempo real, simulación de esfuerzos de las piezas que se van diseñando o medidas antropométricas básicas para diseños óptimos (Sass et al., 2011); diseño de piezas que minimicen el desperdicio de material (Koo et al., 2017); testado de resistencia de materiales previo a su producción con FEM y mediante programas como DIC (*Digital Image Correlation*) (Šimek et al., 2014, 2015 y 2017) o ANSYS (Tankut et al., 2014). Por otra parte, gracias a la fabricación digital, el uso del ya mencionado prototipado rápido (3.1.2.4.) como herramienta de diseño mediante esta técnica supone un sistema muy competitivo para cualquier empresa (Cardoso, 2010).

Otros beneficios que permite esta digitalización de procesos son las visualizaciones anticipadas del objeto final tanto por fotos y realizad virtual (Gros y Sulzer 1998) como por renderizados virtuales de programas de diseño (Filson et al. 2017). También es de interés para la industria la posibilidad de crear diseños personalizados en masa de alta calidad (Gros 2001, 2005 y 2006; Davis, 2006; Filson y Rohrbacher, 2011a y 2011b), además de las oportunidades tecnológicas que nos ofrecen las CNC para diseño son indudables (Gros 2006; Cardoso 2010; Šimek 2010c, 2014-15-17; Filson y Rohrbacher (2011^a y b). Dichas personalizaciones son variadas como cambiar dimensiones de asientos, respaldo o altura (Ebnöther, 2004; Saul et al., 2011; Filson et al. 2017).

También se recoge en las publicaciones, la importancia de crear un flujo de trabajo digital para controlar mejor todas las fases de proyecto en la industria del diseño de mobiliario Cormack y Sweet (2016) y Filson y Rohrbacher (2011a y 2011b). A medida que va evolucionando la tecnología, internet irrumpe como vía primordial de comunicación, propiciando en el mencionado flujo de trabajo, que gracias a ella se han conseguido realizar sistemas de diseño y construcción en donde intervienen muchos agentes, por ello lo denominan sistema multiagente (Filson y Rohrbacher, 2011a y 2011b). Este sistema se lleva a cabo gracias a las necesarias colaboraciones con la Industria hasta conseguir el archivo de corte perfecto que pudiera ser fresado sin indicaciones por parte de un diseñador, a estos agentes capaces de producir estas piezas los denominan carpinteros digitales (Filson et. al. 2017).

Pero para lograr todo esto, el sector industrial debe saber que para controlar esta tecnología se necesitan profesionales competentes capaces de establecer conexiones de conocimientos transversales, que los del Grupo de la Universidad de Kentucky establecen que esa figura la

pueden suplir los arquitectos o diseñadores. Estas nuevas tecnologías amplían el papel que éstos ejercen por las relaciones que posibilitan el proceso completo de diseño gracias a la mencionada revolución de internet. Tal y como ocurriera en la Bauhaus, AtFAB le da importancia a la figura del arquitecto como agente capacitado para gestionar de forma adecuada todos los gremios que conviven en este sistema. El diseñador pasa de fabricante de objetos a coreógrafo de sistemas (Filson et al. 2011b). Pero para optimizar esos flujos es necesaria también una colaboración entre diversas disciplinas que en muchas ocasiones quedan inconexas. Hay que dotar a estos nuevos perfiles de trabajos cualificados de un completo conocimiento de creación, incluir técnicas de innovación, modelado virtual, prototipado rápido, técnicas de producción y de ensambles (Šimek, 2018) que son capacidades que debería tener cualquier diseñador de mobiliario (Haviarova, 2011). Por ello también la necesidad de dotar a alumnos de diseño de capacidad de trabajo con tecnología CNC que repercutirá en un mejor diseño de productos para cumplir este objetivo (Becerril et al., 2021). Pero para llegar a ese perfil técnico versátil hay que conectar esas disciplinas hasta el momento algo separadas, siendo muy importante la divulgación de estos estudios de manera más transversal a disciplinas como ingeniería de materiales, ingeniería de la computación o diseño estético.

3.2.2. Colaboraciones con el sector Industrial

Cualquier empresa innovadora puede servirse de las ventajas tecnológicas que proporciona la Fresadora CNC de 3 ejes. Es decir, el hecho de que existan máquinas mejores o más evolucionadas para producción en serie mobiliario de cualquier tipo, no excluye la utilidad de una máquina relativamente económica que facilita innovar en el sector de mobiliario. Cabe subrayar que la principal aportación de esta fresadora CNC es facilitar mediante la digitalización un tipo de ensamble de piezas que proporciona por sí mismo una nueva herramienta para construir de forma más eficiente (en coste, horas de trabajo y replicabilidad) y más sostenible.

Como hemos visto hasta ahora, el Grupo de la Universidad de Offenbach abarca un amplio campo de diseño de mobiliario y también es el primero que establece colaboraciones con la empresa. Mantiene sin embargo un cierto proteccionismo con la industria local con la que se van relacionando desde que adquieren la tecnología de esta fresadora, a partir de los trabajos de C.Lab at HfG con Gros al frente. Desde sus inicios surgieron colaboraciones con el sector industrial tanto para transferir la técnica como para corroborar su viabilidad y funcionalidad. Por una parte, el Grupo de Investigación colabora con una Asociación de Profesionales de la Madera para estudiar el diálogo entre esta tecnología digital con la construcción artesanal de mobiliario. Posteriormente recogen experiencias piloto con empresas como la italiana Op top o con la alemana Invido en las que introducen sistemas de personalizaciones en el diseño de muebles. Más adelante también registran la unión del C-Lab universitario con 10 empresas para tratar de desarrollar conjuntamente productos y presentarse a concursos para el fomento de esta industria. Estas colaboraciones con el sector Industrial están descritas en Gros y Sulzer (1997).

Dentro del sistema creado por el Grupo de Investigación de la Universidad de Kentucky (Filson et y Rohrbacher, 2011^a) para la producción de mobiliario con fabricación digital facilitan en sus publicaciones formas de colaboración con la Industria que sirven de modelo como un sistema de comunicación que en sí mismo es transferible.

En diversas etapas del proyecto que se difunde aquí (Filson y Rohrbacher, 2011^a) se detallan las fases sucesivas (diseño de los muebles, flujo de trabajo de intercambio de información entre diseñadores y productores y diseño de la interfaz del programa para los usuarios diseñador, productor, cliente, etc). En el desarrollo del proyecto colaboraron con docenas de fabricantes

independientes que poseían la maquinaria. La conclusión del proyecto es que para poder realizar una línea de productos competitivos es necesaria la colaboración entre distintos agentes del sector industrial. En el conjunto de la obra de esta universidad desde 2011 hasta 2017 consiguen crear una red de comunicación entre los agentes que cristaliza en la propuesta de Bill Young que funda e impulsa una comunidad que conecta distintos propietarios de máquinas CNC en USA llamada *100kgarage* (Filson et al., 2017). Según nuestra experiencia, este modelo de creación de trabajo ha resultado útil para otras regiones del mundo industrializado para la fundación de *startups* o para la conexión entre agentes del sector. Esta base de trabajo es la que se comentaba que han utilizado varias empresas como la mencionada Opendesk (2.11.4).

La experiencia de colaboración con el sector industrial por parte del Grupo de Investigación de la Universidad de Purdue se muestra en Haviarova (2011) donde dan cuenta de de experiencias más enfocadas al mundo de los profesionales en ejercicio. Su departamento *Wood Research Laboratory* WRL, colabora interactivamente con los fabricantes en diversas cuestiones de interés común como:

- Desarrollar nuevos conocimientos para la industria de productos de madera.
- Agregar valor a las materias primas de madera.
- Desarrollar nuevos usos para los residuos y subproductos en madera.
- Fomentar la innovación en madera y productos a base de madera.
- Mejorar la ingeniería de productos de madera y tecnologías de procesamiento.
- Capacitar a expertos para el campo de productos en madera.

El Grupo de Purdue University es posiblemente el principal centro de referencia a nivel mundial para la innovación en muebles de madera.

Para finalizar las menciones expresas sobre colaboraciones con el sector industrial en la literatura seleccionada, en Schwarzman 2020. En este artículo interesa particularmente las opiniones de un carpintero experimentado y su visión sobre la introducción de las tecnologías digitales en su gremio.

3.2.3. Digitalización: modelos productivos eficientes

Como se comprobará en el Capítulo 4 de Sostenibilidad, dicho concepto abarca distintas vertientes. Ya sea por el tipo de material que se utiliza o por la optimización que permite un sistema digitalizado de producción, aparece este concepto en las publicaciones, de forma no tan explícita como se hace en los tiempos más recientes. Reuniendo todas las aportaciones al respecto se comprobará los beneficios producidos mediante la introducción de una tecnología que puede ser responsable con el medio ambiente.

Como se ha ido viendo la referencia a la sostenibilidad es una de las aportaciones que el Grupo de la Universidad de Offenbach quiere enfatizar. Es interesante notar que los autores son pioneros ya que hace 20 años el término no era una referencia habitual como hoy se presenta.

Producción descentralizada

De hecho, en las contribuciones estudiadas en la Tesis, las primeras aproximaciones que se recogen se inician planteando el interés de la producción descentralizada que posibilitaría la fabricación digital. Las publicaciones del Grupo de Investigación de la Universidad de Offenbach (C-Lab at HfG) son las primeras en registrar que la disgregación de este tipo en el tejido industrial

del mobiliario de madera produce menor huella ecológica. Este concepto es mencionado en varias ocasiones en los 3 artículos publicados por ellos (Gros, 2001; Steffen y Gros, 2003; Steffen, 2006).

El Grupo de la Universidad de Kentucky también es partidario de la disgregación (Filson y Rohrbacher, 2010a y 2010b). A este cambio de localización de los productores clásicos, lo denominan la producción de geografía distribuida e incide así en el aspecto sostenible del proyecto puesto que evita un mayor transporte de mercancías. Cuando describen el movimiento de muchos productos hasta que llega al usuario final, afirman que el bajo precio minorista por importar productos implica en la mayoría de los casos un alto impacto ambiental y coste social y cultural (Filson et al. 2017). Entre los autores que aluden al mismo tema está Kadushin (2.11.1) cuando introduce en su nuevo proyecto de mobiliario New Edge Furniture.



Fabricación Digital como sistema de fabricación sostenible. Fuente: Víctor Armas-Crespo, en (<https://twitter.com/VisitorArmandol/status/1520415512932536321>).

Activación de economías locales

Continuado con los beneficios relativos al menor impacto ambiental atribuible al uso de estas técnicas otro más es la regionalización de la producción o activación de economías locales tal como había registrado Steffen y Gros (2005). Adicionalmente estos autores afirman que se obtiene otro beneficio colateral como la mejoría en el entendimiento mutuo entre productor y cliente. Así la descentralización de la producción reduce la importación y exportación de materiales fomentando la expansión de estas economías locales, que como recogen Steffen (2006) y Bietter (1999). Steffen (2006) llega a precisar que se incrementará la competitividad de la producción descentralizada y que por ello es necesario preparar a las regiones para el futuro digital. Es interesante señalar que el apoyo de los autores a la fabricación de proximidad en estas fechas sin embargo es desoída por la evolución de las tendencias en la fabricación clásica que ha llevado la producción a oriente, en particular a China (Geng et al., 2019).

En sintonía con el Grupo de la Universidad de Offenbach, pero sin mencionarlo, el Grupo de la Universidad de Kentucky (AtFAB at UK) también afirma que su proceso de fabricación pasa de un solo fabricante multinacional completo a una red de pequeños fabricantes locales individuales produciéndose beneficios por la descentralización. También justifican que este modelo de trabajo permite interacciones más personalizadas entre consumidores y fabricantes, siendo más eficientes adaptables y receptivos mediante el trato más próximo (Filson et al. 2011^a y 2011^b).

Optimización del material usado

La posibilidad que facilita la técnica digital de previsualizar con antelación cualquier diseño de un mueble, abre otro concepto que se enmarcaría en la preocupación para el medioambiente. Como

relatara Gros (2001), la previsualización por medio de la realidad virtual ya posibilita un ahorro de material que es previsible con antelación. A esta facilidad la denominan Diseño Ligero debido a que son capaces de controlar la cantidad de elementos ahorrando material mediante un configurador de medidas. Toda esta temática de ahorro de material tocaría de lleno gran parte de las investigaciones relativas al campo de la ingeniería de la madera que, como se comprobó ya en los años de publicación de las investigaciones del Grupo de Offebach, existían metodologías de cálculo para el dimensionado de piezas en mobiliario. Con poco más de 10 años de diferencia la Universidad de Kentucky ahorró tiempo y complicaciones gracias a la simulación de sus modelos de muebles en 3D con transformaciones animadas y con definiciones paramétricas.

Actualmente desde las Ciencias de la Computación tratan de solucionar el ahorro de material mientras se proyecta (Koo et al.,2017). Este equipo investiga la forma de minimizar *a priori* la producción de desechos en el proceso de diseño. El enfoque lo evalúan en varios escenarios y demuestran un uso ahorrativo del material que es difícil, si no imposible, de lograr sin soporte computacional.

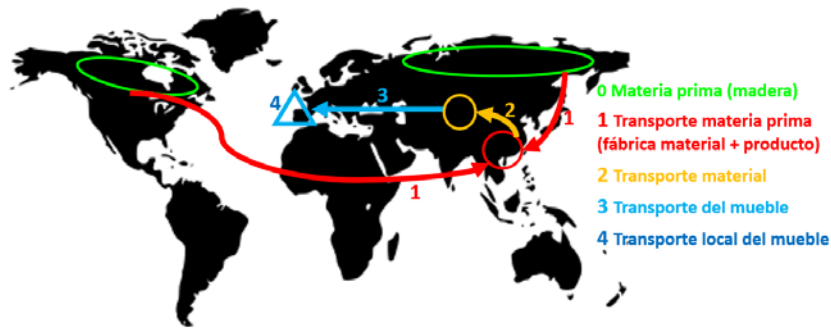
El objetivo de lograr mayor ahorro en la producción mediante la fabricación digital está presente en varias publicaciones de autores y Grupos de Investigación (Ebnöther, 2004; Šimek, 2010abc; Tian et al., 2018; Schwarzmann et al., 2020; y Samboro et al. 2020). Gros (2001) habla de la posibilidad de optimización de piezas gracias a estas técnicas y Sass et al. (2006) se centran más en la posibilidad de disminución de costes en producción, por último, Haviarova et al. (2015) particularizan en la forma de disminuir los costes de mano de obra y citan a Šimek (2010) en este respecto.

Continuando con más aportaciones para reflejar el ahorro de material que proporciona el uso de las técnicas digitales, surgen también los estudios ya mencionados sobre esfuerzos aplicados a los primeros muebles cortados con fresadora CNC de 3 ejes en 2010. Estos autores comienzan a utilizar como método de análisis el de Elementos Finitos (FEM). El objetivo de utilizar FEM es para tratar de disminuir los costes de fabricación de determinados artículos que suelen estar directamente relacionados con la disminución del consumo de materiales ya que históricamente se configuraban muebles con secciones sobredimensionadas (Tankut et al. 2014). Paralelamente, Braun (2020) afirma que un diseñador ha de comprender adecuadamente los diversos sistemas de producción de las máquinas existentes para poder seleccionar la técnica específica que requiere cualquier mueble o producto para ser producido de manera eficiente.

Transporte de datos, no de materiales

El transporte de datos por internet es más rápido y barato que por autopista (Steffen y Gros, 2005). En Šimek et al. (2013) aluden a la posibilidad de encontrar portales de internet con información de productos ya diseñados para ser producidos, simplemente se elige el diseño y se envía a un productor cercano que pueda producirlo (www.ponoko.com). Esto es una de las ideas que planteaba premonitoramente el Grupo de Offebach y que es ahora, quince años después, cuando empieza a ser una realidad.

¿Cuánto viaja un mueble desde la materia prima hasta tu casa?



Lo que viaja un mueble hasta tu casa. Fuente: Víctor Armas-Crespo, en (<https://twitter.com/VisitorArmandol/status/1520415512932536321>).

En Saul et al. (2011) además de mencionar el mismo portal ponoko.com también incluye referencias a empresas parecidas que aportan herramientas alternativas como **instructables.com** y **makezine.com** para construir sus diseños. Fue este el germen que hizo posible el proyecto del Grupo de la Universidad de Kentucky, 6 años después. En otra de las publicaciones encontradas, en Becerril et al. (2021), citan varios autores y empresas relevantes en este campo dando un panorama del uso y alcance en los que se encuentran Šimek, Diatom Studio por *SketchChair*, y Opendesk, de Ian Bennink y otros.

El movimiento de datos por internet es un campo base para el desarrollo del proyecto de la Universidad de Kentucky (Filson 2011^a y 2011^b) puesto que tratan de sentar las bases de un flujo de trabajo entre diseñador, usuario y fabricante que admita una fabricación colaborativa, distribuida y habilitada digitalmente.

Diseño responsable

Continuando con otros tipos de ahorro que fomenta esta tecnología se recogen en Šimek y Koreny (2010) refiriéndose a ahorro energético y de material no reciclables (uniones en metal, plástico, etc). También Braun 2021, discute en relación con coste, la mejor geometría para adaptar a la técnica de fabricación.

Otro factor a tener en cuenta es la viabilidad que esta tecnología facilita para fabricar mobiliario de alta calidad, entendida como máxima longevidad de los productos. Así se trata en Steffen y Gros (2005). Insistiendo en esta visión el Grupo de investigación de la Universidad de Mendel en Šimek y Sebera (2010) y en Sebera y Šimek (2010) afirman una mayor competitividad del producto final con estas técnicas; tanto por la dureza de la unión que permiten, como por la diferencia en tiempo comparando con la realización manual. En Šimek y Koreny (2010) aportan varias razones adicionales para realizar los muebles que serán más duraderos.

En el caso del Grupo de Kentucky consideran que el diseño para CNC tiende a convertirse en potenciador para restablecer la calidad y la integridad que se ha perdido en los productos fabricados en masa (Filson 2018). De nuevo hay que recordar que el Grupo de la Universidad de Offenbach, planteaba con anterioridad la misma idea. En síntesis, todos los autores convergen en que con estas CNCs se puede fabricar formas complejas que reúnan todas las especificaciones deseables de manera más rápida y precisa (Uysal et al. 2019).

Hay otras aportaciones que atienden primordialmente al efecto positivo de vinculación del cliente con el mueble cuando se ha involucrado en el proceso de creación del mismo (Steffen y Gros, 2005). Sass et al (2011), insisten en la idea de que los productos diseñados por los usuarios tienen

el potencial de ser más sostenibles que sus equivalentes producidos en masa porque aquéllos se inclinan a conservarlos por periodos más largos.

Tipos de mobiliarios responsables

Todas las características mencionadas que registran los autores para justificar la menor huella ambiental de fabricar con tecnología digital se encuentran de manera implícita en los tipos de muebles llamados *Flat-pack* o *s* (RTA), entre otros.

El mobiliario *flat pack*, puede tener tanto uniones solo en madera como de otros materiales: la denominación *flat pack* alude simplemente a la forma de empaquetado en cajas planas; la funcionalidad para distribución y almacenamiento de esta presentación conviene a diferentes tipos de mobiliario prefabricado; entre otros los producidos con fresadoras CNC de 3 ejes ya que estos parten de tableros planos.

Dentro de los textos analizados, el término *flat pack* aparece por primera vez con Ebnöther (2004) que solo lo nombra. Davis (2006) se refiere encomiásticamente a los muebles planos como eficientes para su transporte y empaquetado. Pero el concepto como tal como se ha dicho, no llega al concepto de mueble *flat pack*. Se vuelve a mencionar este término como opción práctica en Šimek et al. (2013) y a dar ejemplos como el ya mencionado *Sketchair*, que permite diseñar una silla con la filosofía *flat pack*. Precisamente en Šimek et al. (2013) es en la investigación de las perteneciente al Grupo de Mendel University en donde trata de definir este término pese a que lo había sólo nombrado en sus trabajos anteriores. En este artículo define este tipo de muebles como los producidos o preparados desde el punto de vista de un ensamblaje fácil y rápido, y además comenta que también son llamados RTA. RTA son piezas preparadas para ensamblarse, pero no quiere decir que tengan que ser piezas planas como se afirma en Šimek et al. (2013).

En el proyecto del Grupo de la Universidad de Kentucky no se habla de mobiliario *flat pack* pero sí de la utilización de materiales planos para este tipo de mobiliario. Al igual que en Saul et al. (2011), donde defienden la creación de diseños para ser fabricados con materiales planos beneficiando un transporte eficiente. En Kim 2019, defiende tanto los muebles *flat-pack* por la facilidad de un producto fácil de transportar y de comercializar por internet, como los *Do-It-Yourself* (DIY), por su facilidad para montarlas planteando la eliminación de herramientas.

Otra investigación localizada de manera aislada que persigue que un programa desarrolle la manera de configurar muebles planos desde la disciplina de las Ciencias de la Computación, se recoge en Yan et al. (2021). Crean una herramienta computacional de diseño para posibilitar a usuarios casuales que puedan fácilmente diseñar, fabricar, y ensamblar mobiliario *flat pack* con la garantía de que se pueda producir. Por lo tanto, es una herramienta que ayudaría mucho a diseñadores mientras están configurando su diseño con herramientas digitales. Como se ha comentado, una de las partes que no se ha investigado en este trabajo son precisamente las uniones entre estas piezas.

Otro tipo de mueble responsable es el mencionado *Ready to assemble* (RTA). Son muebles que se construyen a base de piezas que están preparadas y pensadas para ensamblarse fácilmente, y que no se necesita ninguna operación mecánica complicada para que se unan. Un mobiliario *flat pack* y RTA quiere decir que además de tener sus piezas preparadas para ensamblarse, éstas son planas o cortadas en materiales en láminas y que por lo tanto se pueden transportar en embalajes planos y compactos. Puede haber mobiliario *flat pack*, pero sin ser RTA y viceversa. Por ejemplo, normalmente todos los muebles de Ikea son *flat pack* y se les supone que también son RTA puesto que se dispone de todos los elementos necesarios para ello, pero la dificultad en el montaje de los modelos por un usuario medio pondría en duda dicha característica. El concepto RTA que se está

estudiando aquí consiste además en no utilizar kits de materiales distintos a la madera o conectores para poder ser ensamblados, sino que dejando cortes u orificios prediseñados en la madera las piezas puedan encajarse fácilmente entre sí configurando una estructura que soportará las sollicitaciones previstas para las diversas funciones de un mueble.

Los primeros autores que nombran este concepto son del Grupo de la Universidad de Mendel, Šimek y Sebera (2010) y en Sebera y Šimek (2010). En Šimek y Koreny (2010) introduce un matiz nuevo, aseguran que la producción de mobiliario con CNC reduce gasto de material sumado a que su embalaje plano necesita menos espacio para el transporte. En Šimek et al. (2013) afirman que las cualidades mencionadas son adecuadas para un tipo de muebles a un estilo de vida Nómada. Concepto que vuelve a resurgir con la aparición de esta tecnología. En Šimek (2018) volverá a mencionar el mobiliario nómada como una alternativa viable para ese tipo de usuario que por el contrario en este artículo lo nombra casi anecdóticamente. Y en cuanto al caso específico de RTA, lo apoyan ya que no requieren de herramientas complicadas, componentes de unión o colas. Su configuración se basa en una combinación de fricción y presión entre las superficies, que mantienen unida la pieza completa, normalmente se utiliza el principio de uniones machihembradas. Tanto RTA como *flat pack* son vistos como soluciones que evitan las grandes dependencias que en las últimas décadas ha supuesto los conectores en mobiliario puesto que han influido en el diseño, precio y calidad final del producto negativamente, como afirman en Šimek et al. (2014, 2015 y 2017).

En los primeros artículos del Grupo de Mendel mencionaban la predisposición a encolar los ensamblajes y esta es una característica muy importante a tener en cuenta para ser o no considerados muebles RTA, o de manera más precisa muebles RTD (*Ready to Dissassembly*). Es decir que sea fácilmente montable, como en el primer caso, y fácilmente desmontable como en este segundo caso. Con lo cual las uniones no deben ser encoladas para ser reversibles, dato que no tuvieron en cuenta en el primer artículo. Nuevamente en Šimek (2018) vuelve a mencionar la fortaleza del mobiliario *flat pack* y RTA reduciendo costes de producción por la simplificación de procesos de ensamblaje siendo más competitivos que el resto de mobiliario no desmontable. También recoge nuevos conceptos como *non tools required furniture* (NTR *furniture*) muy popular en EE. UU. y también es conocida como *design for CNC manufacturing* como bien se habló de ello en (Haviarova et al. 2006, como se citó en Šimek, 2018), y que este tipo de mobiliario tampoco requiere dispositivos de unión ni herramientas de ensamble como principales características. Se hacen famosos en EE. UU. por su facilidad de transporte, montaje y desmontaje al migrar, en una época en donde muchos trabajadores de ese país se veían forzados a moverse por cuestiones laborales con asiduidad.

En cuanto al Grupo de Investigación de Kentucky, por extraño que parezca, no habla específicamente de los dos tipos de mobiliario mencionados puesto que no cumplen ciertos requisitos, pero sí se comparten algunos conceptos parecidos. Por ejemplo, algunos muebles de este Grupo precisan de elementos metálicos extras para su unión, pero ellos matizan que no son necesarios estructuralmente o que sean éstos los que soporten los esfuerzos máximos. Alegan que son elementos fácilmente extraíbles para que sus muebles se desmonten con facilidad, pero que el esfuerzo físico real de sus estructuras lo soportan los ensamblajes diseñados por ellos. Como comparativa su nivel de compromiso de estos conceptos se asemeja a los de Ikea ya que también precisan de kits de piezas extras para unir sus componentes.

Recogen otro concepto muy extendido en mobiliario DiY *Do-It-Yourself* describiéndolo como una alternativa obvia y autosuficiente que si se une con un conocimiento básico en diseño con CNC se tiene doble impacto positivo (Filson 2018). Como esta tecnología permite compartir los diseños con una red de creadores y fabricantes remotos, respaldan este nuevo paradigma de fabricación.

Dentro del Grupo de la Universidad de Purdue en Uysal et al. (2019), tanto el denominado *Design for Manufacturing* (DFM) como el *Design for Assembly* (DFA), tienen como objetivo tratar de reducir los costes de materiales y mano de obra como una función del diseño y la fabricación optimizados del producto. Los dos conceptos juntos en una metodología integrada son llamados DFMA (*Design For Manufacturing and Assembly*) y presentan aquí otro grupo de autores que han tratado estos conceptos (Ashley 1995; Emmatty y Sarmah 2012; Barbosa y Carvalho 2013; como se citó en Uysal et al. 2019). Toda esta temática de optimización tiene una gran importancia ya que afirman que del 70% al 80% del coste total en un proceso de diseño y fabricación de un mueble se lo lleva la fabricación.

Para terminar con este tipo de muebles planos se comenta en algunos textos sobre tratar de evitar el efecto Ikea en este tipo de piezas, pero en lo que se refiere a montarlas, ya que consideran que, en muchas ocasiones, como se acaba de comentar, son sistemas muy complejos para los usuarios (Filson et al. 2017; Kim, 2019). Lo que sí afirma categóricamente tanto en una de las publicaciones del Grupo de C-Lab at HfG como el de Mendel University es situar a Ikea como el padre de los muebles RTA.

Materiales eficientes

Los materiales planos mencionados son los que posibilitan los tipos de muebles descritos. Normalmente son materiales compuestos de madera, área específica profundizada por las Ciencias de la Tecnología de la Madera que es otra de las vertientes directas de los Grupos Técnicos introducidos en Categoría 1. El Grupo de Mendel University es de los primeros que hablan de materiales compuestos de madera como manera de optimizar los recursos de la madera. En los 3 artículos de 2010 nombran este tipo de material.

El Grupo de la Universidad de Kentucky no habla de materiales compuestos, pero en Filson (2011b) hablan de materiales laminados y sus beneficios tanto sostenibles como técnicos siendo indicado para el uso de CNC ya que es un material disponible en todas partes del mundo civilizado. En Filson et al. (2017) describen más pormenorizadamente sobre el contrachapado como material conformado de manera eficiente siempre y cuando vengan de bosques de gestión sostenible (4.4.2. de esta memoria). En otra parte de los apéndices de Filson et al. (2017) habla sobre los acabados ya que estamos hablando de la madera como material para mobiliario. Tratan de implementar también una conciencia totalmente sostenible de esos productos también tratados en esta memoria (4.4.4.).

Pasando al Grupo de Investigación de la Universidad de Purdue en lo que se refiere a los materiales, en Uysal 2019, nombran (MDF) y contrachapado de abedul báltico de empresas cercanas a Purdue, pero sin entrar en más justificaciones, comentan que son los materiales más utilizados para fabricación de muebles y estructuras de gabinete.

CAPÍTULO 4. SOSTENIBILIDAD

Por razones históricas, que serán obvias para cualquier lector crítico de esta memoria, las referencias catalogadas (Capítulo 2) y discutidas (Capítulo 3) no usan prácticamente el concepto de sostenibilidad como hoy se entiende. Se ha procurado destacar en esos Capítulos (concretamente en 3.2.3.) aspectos claramente relacionados con esta idea que algunos autores han incluido sin recurrir prácticamente al concepto de sostenibilidad en sí mismo. Nuestro propio proceso de estudio y de experimentación realizado materialmente desde 2016, ha ido dando importancia creciente a este aspecto del trabajo.

En los primeros artículos surgían palabras como eficiencia, optimización, materiales compuestos, digitalización de procesos, y naturalmente en alguno aparecía la palabra sostenible. Simultáneamente desde otras fuentes como conferencias, documentales, etc., utilizadas complementariamente a este trabajo y en particular en referencia a los sellos que, en relación con los ensambles, siempre han sido muy tenidos en cuenta en nuestras revisiones críticas, irrumpen casi repentinamente a partir de 2017 en la opinión pública general, como consecuencia específicamente de haber sido asumido por los organismos internacionales el concepto de cambio climático como riesgo y su carácter antropogénico (en el quinto informe del IPCC, Intergovernmental Panel Climate Change) como un elemento que actúa trasladando protagonismo y responsabilidad a la humanidad y a las acciones humanas que tienen repercusión en el citado cambio; informes que pueden observarse en las páginas, <https://www.un.org/en/climatechange/science/key-findings> y <https://www.unep.org/es/resources/informe/sexta-informe-de-evaluacion-del-ipcc-cambio-climatico-2022>, y que estos informes se basan en artículos científicos solventes, que contienen propuestas para remediar o frenar la aceleración del proceso de calentamiento global. Así se definen los Objetivos para el desarrollo sostenible (ODS) <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

En el texto que sigue se hace un relato histórico que permitirá comprender cómo los conceptos de sostenibilidad cobran cuerpo paradigmático en áreas de trabajo como las que se abordan en los objetivos de esta memoria. Y las razones que motivaron su inclusión en el contenido de la Tesis.

Así, en este Capítulo 4 se van a exponer los beneficios que trae la técnica desarrollada con la fresadora CNC de 3 ejes de cara a la sostenibilidad en la fabricación digital de muebles y particularmente gracias al uso de ensambles digitales en lugar del uso de otros procedimientos para unir piezas (uniones reforzadas con colas, uniones con materiales diferentes, algunos plásticos, etc.). Se trata ahora de poner en común y divulgar unas técnicas que favorecen la sostenibilidad: (i) primero a través del uso de ensambles digitales cortados con fresadora CNC de 3 ejes, (ii) usando como materia prima la madera procesada en tableros.

4.1. Señales en la naturaleza

Son muchos los estudios que, a lo largo del último cuarto del siglo XX, se van publicando alrededor de la sostenibilidad, o, quizás mejor, de lo que podríamos llamar insostenibilidad. La realidad es que, en las actividades humanas en general, no se prestaba atención suficiente a estos aspectos o no se asumía como causal el impacto de las acciones humanas en el cambio climático y su influencia en la alteración profunda del planeta. Los avances se han producido como puede seguirse en las referencias siguientes <https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/> y https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/ipcc-guia-resumida-gt3-mitigacion-ar6_tcm30-549165.pdf).

Recomendamos para un resumen de conceptos y datos sobre el cambio climático la reciente actualización de Wikipedia en inglés de la https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_change versión sintética y que recoge los últimos datos de los informes del IPCC. Puede verse las curvas sobre evolución del clima en distintas hipótesis y las frecuencias de algunas anomalías meteorológicas con resultados devastadores. Poco antes de esta sexta revisión del IPCC se dudaba todavía de la solidez de la información científica (Wasko et al., 2021), y sobre todo se cuestionaba por algunos científicos la acción humana como causa de la aceleración abrupta del calentamiento global e incremento parejo del CO₂; sin embargo, en la última edición del informe del IPCC, se contrasta y se afirma que son las acciones humanas las principales causas del cambio y se marcan pautas de remediación de los efectos según diferentes escenarios de gobernanza mundial.

Pero ya, desde principios de 1900 la ciencia física había relacionado el incremento de CO₂ en la atmósfera con el incremento de temperatura (como podemos observar en la Svante Arrhenius, https://en.wikipedia.org/wiki/Svante_Arrhenius) y los estudios sociales en la década de 1960, fueron capaces de relacionar macrodatos, a escala global, con la preocupación por una presumible incapacidad de los recursos del planeta para continuar con el crecimiento acelerado de la población humana y sus pautas de desarrollo tal como se plantearon los asociados del Club de Roma que encargaron el informe sobre los límites del crecimiento a los autores del MIT (Meadows et al., 1972) (https://es.wikipedia.org/wiki/Los_l%C3%ADmites_del_crecimiento) o de empezar a configurar una vanguardia del “movimiento ambientalista” desde el campo científico con la vida y obra, entre otros, del biólogo Barry Commoner (1917-2012) (https://es.wikipedia.org/wiki/Barry_Commoner). En ambos casos al no existir en aquel momento registros científicos fehacientes, se comienza a computar el impacto producido por el desarrollo de la humanidad, sobre predicciones matemáticas a través de los primeros programas informáticos capaces de calcular modelos para ponernos en situación sobre lo que podría pasar en un futuro. Ese fue el caso de ese citado primer informe del Club de Roma. Posiblemente las reflexiones y modelos sobre el agotamiento de los recursos que proponen estos pioneros no tienen el eco suficiente, ya fuera por la falta de confianza en datos o modelos (que efectivamente no fueron muy ajustados) , o ya fuera, porque la sociedad no estaba aún preparada para prestar la suficiente atención a este tipo de asuntos y/o arbitrar una gobernanza mínima para implicar a los países responsables y afectados en velar por un concepto como la salud del planeta y sus condiciones ambientales que aún no tenían suficiente apoyo o percepción.

Puede decirse que hasta finales del siglo pasado no se produce una alarma social suficiente como para promover la atención de los gobiernos a los impactos medioambientales y esto se produce por la convergencia de los conocimientos que se vierten en los informes de organizaciones o programas supranacionales como el programa de Naciones Unidas de Medioambiente PNUMA y los sucesivos informes de la organización Meteorológica Internacional(OMS) (https://en.wikipedia.org/wiki/United_Nations_Climate_Change_conference).

4.2. Permeabilidad del concepto de sostenibilidad a distintos campos prácticos incluyendo el diseño

La Revolución Industrial es un salto en el desarrollo tecnológico de las sociedades avanzadas y una fuente de bienestar para los sectores positivamente afectados. No obstante, la idea del agotamiento de recursos y la alteración antropogénica del medio ambiente cobran carta de naturaleza como problema científico y social a partir del último cuarto del siglo XX. Anteriormente desde principios del siglo XX científicamente se prestaba atención a algunas variables que se detectaban, como se observa en diferentes tipos de aportaciones de vanguardias científicas entre las que destaca la contribución del sueco Svante Arrhenius (1859-1927) https://en.wikipedia.org/wiki/Svante_Arrhenius que fue el primero en utilizar los principios de la química física para estimar hasta qué punto los aumentos en el dióxido de carbono atmosférico son responsables del aumento de la temperatura de la superficie de la Tierra. Su trabajo desempeñó un papel importante en el surgimiento de la ciencia climática moderna. Más aún cuando en la década de 1960, Charles David Keeling (1928-2006) https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_David_Keeling demostró que la cantidad de emisiones de dióxido de carbono en el aire provocadas por el hombre es suficiente para provocar el calentamiento global. Estos avances científicos en alguna medida estimulan la conciencia social y, entre otros aspectos estimulan también movimientos de vanguardia de todo tipo, incluyendo algo nada ajeno como es el cambio estético en el arte que se percibe a partir del Movimiento Moderno. Esto matiza tímidamente aspectos relacionados en distintas manifestaciones culturales y artísticas (Bauhaus). Con todo, anteriormente a la percepción del impacto ambiental del desarrollo socio económico, de finales del siglo XX, de lo que se teorizaba en el plano cultural era, más bien, sobre problemas sociales tras la industrialización y crisis del diseño en las producciones industriales que, por la estandarización de las creaciones estaban perdiendo su esencia (Wick, 1982); pero en general no se incide sobre los efectos nocivos en el medio ambiente, no desde esa óptica, sino únicamente en temas más filosóficos o socioeconómicos.

Congreso Internacional de Arquitectura Moderna – CIAM- (1928-59): evolución conceptual de contenidos estéticos y funcionalidad

Con la revolución industrial, que es uno de los primeros fenómenos importantes que configura nuestra sociedad actual, se producen cambios profundos, como el que genera la emigración del campo a las ciudades en busca de trabajo, que hace que éstas crezcan exponencialmente entorno a las empresas o fábricas que prometían un mundo mejor.

Junto a ello además, a lo largo de todo el siglo XX se va produciendo un gran desarrollo técnico, en un corto espacio de tiempo, como jamás producido antes en la humanidad, como fue el del transporte, con desplazamientos a velocidades por entonces impensables, y que propiciaba este mayor movimiento de la población que, a su vez conllevó una globalización del conocimiento, ayudado también por nuevos procedimientos y técnicas de divulgación y por la universalización de la educación (en los países avanzados), de forma que, poco a poco, el desarrollo del saber, en todos sus campos se hace imparable. Este nuevo mundo también está generando simultáneamente injusticia y oposición a ella en los movimientos democráticos de los países avanzados socioeconómicamente; como veremos cristalizar en desarrollos derivados en arquitectura y diseño que comentaremos más abajo.

Con la Primera (PGM) y Segunda Guerra Mundial (SGM), se producen impactos decisivos de toda índole que provocan el desarrollo del conocimiento y del pensamiento. La sociedad sufre la devastación y el hambre, pero también el estrés de la guerra supone “oportunidades” para la aparición de fenómenos nuevos y desarrollos científicos, y en consecuencia nuevos movimientos

sociales, culturales y artísticos. Así, tras la PGM, una corriente de pensadores y arquitectos relacionados con el llamado Movimiento Moderno, de la que surgió la fundación del Congreso Internacional de Arquitectura Moderna – CIAM- (1928-59). Fue una especie de laboratorio de ideas, en el campo de la arquitectura, [https://es.wikipedia.org/wiki/Funcionalismo \(arquitectura\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Funcionalismo_(arquitectura)) que generó, como debate y proyecto fundamental para el orden urbano, la idea del *Funcionalismo*, como organización del medio físico de las ciudades, cimentado en distintos sectores de la vida cotidiana de los ciudadanos; así, en la nueva proyección de los centros urbanos, cada sector de actividad tendría su función correspondiente, y, por tanto, un diseño arquitectónico focalizado en dichas funciones (profesionales, de vivienda, de movilidad), generalizado para todos los ciudadanos, y configurándose, por consiguiente, como un entorno de mayor sencillez.

Es de destacar la participación en estos congresos del arquitecto y diseñador, también de muebles, el finlandés Alvar Aalto (1898-1976) que fue el único arquitecto de la segunda generación del Movimiento Moderno reconocido como maestro que se equipara así a los grandes Maestros del periodo heroico de este movimiento funcionalista (Le Corbusier 1887-1965, Mies van der Rohe (1886-1969), Walter Gropius (1883-1969) y Frank Lloyd Wright (1867-1959). Este autor en lo que se refiere a la sostenibilidad utiliza los materiales de manera pionera. En Alvar Aalto hay que destacar además su vuelta al uso de la madera que había sido proscrita por la oportunidad del acero acumulado de materiales bélicos y otros. Este recurso de Aalto se entiende bien en su propio entorno ya que precisamente Finlandia no disponía a la sazón de acero y, al contrario, sí disponía de madera procedente de su territorio provisto espontáneamente de grandes extensiones de taiga (bosques boreales de coníferas y algunas otras especies arbóreas como el abedul <https://es.wikipedia.org/wiki/Taiga>). Además, su uso de la madera es ahorrativo (“sostenible”) ya que Alvar Aalto recurre generalmente al contrachapado que proporciona mayor eficiencia; como colofón este maestro introduce una técnica de doblado de la madera y/o del contrachapado que resulta revolucionaria; así consigue prácticamente la misma eficiencia a partir de la madera que se estaba consiguiendo con el acero tubular en centro Europa. El invento alcanzó un impacto positivo en sus colegas y en la sociedad general. En consecuencia, Aalto implanta en arquitectura de interior y exterior, elementos claves en el concepto actual de sostenibilidad: materiales adecuados, técnicas de mejor balance y optimización de carácter regional/local del uso de materias primas.

Estos movimientos funcionales que van siendo introducidos en los Congresos, universidades y otros foros profesionales, sientan las bases de la arquitectura moderna y tienen definitiva repercusión e influencia en beneficio cultural y económico de la sociedad. La dinámica que siguen los Congresos va en el sentido de transformar arquitectura y diseño en expresiones no sólo artísticas sino también como instrumentos integrados con el desarrollo social y también tecnológico. En esto cobra su mayor sentido la calificación de diseño social, que se relaciona con los movimientos democratizadores que antes comentábamos.

Vale la pena destacar que, ya en 1933, en el IV Congreso, se generó la llamada *Carta de Atenas* [https://es.wikipedia.org/wiki/Carta de Atenas](https://es.wikipedia.org/wiki/Carta_de_Atenas) publicada en 1942; con ella se desarrolló el concepto de la arquitectura moderna funcional como modelo vanguardista. Dicho modelo fue acogido de manera muy rápida por arquitectos y urbanistas, aunque con ciertas discrepancias ideológicas o políticas sustentadas, sobre todo, por la apremiante necesidad de reconstrucción arquitectónica tras la Segunda Guerra Mundial.

Desde entonces, a lo largo del siglo XX, y en relación con las diferentes vanguardias focalizadas en la integración social, se va fortaleciendo el diseño social. También surgen así pensadores, que enfrentan el diseño para el consumo con el propio arte o con el desarrollo tecnológico. En este

sentido merece una mención especial Víctor Papanek⁴, uno de los principales impulsores de este concepto, precursor y teórico del concepto del diseño sostenible que nos interesa en esta Tesis. Contribuye a ello su obra seminal en este campo *Design for the real world* (1972) en la que directamente estimula la reflexión entre diseñadores y sociedad en general.

Víctor Papanek, entendió que la actividad de los profesionales relacionados con el diseño debe ser social y ecológicamente responsable, ya que este trabajo artístico y funcional tiene gran repercusión en la vida humana por su incidencia en la cotidianidad individual y colectiva y, en consecuencia, Papanek insiste ya en 1972, en que las producciones se diseñan se deben hacer más sostenibles y duraderas e incluso reciclables.

La obra señalada *Design for the real world* (1972), sigue siendo la guía de mayor impacto sobre el diseño y la más leída de cuantas se han publicado (<https://www.world-architects.com/en/events/victor-papanek-the-politics-of-design>). En ella Papanek hace una llamada expresa a la inclusión, justicia social y la sostenibilidad, como temas de primer orden para el diseño en el momento actual. Tal es su importancia en el campo que, durante 2018 y 2019, el Vitra Design Museum⁵ realizó la primera gran retrospectiva del autor focalizándose en tres de sus facetas: como diseñador, como autor y como activista (<https://www.vitra.com/es-mx/about-vitra/history>).

Otro diseñador pionero en la implantación conceptual de la sostenibilidad como objetivo transversal, fue el diseñador de la universidad de Illinois en Chicago Victor Margolin⁶ (1941-2019) https://en.wikipedia.org/wiki/Victor_Margolin#Further_reading quien en *The Politics of the Artificial* (2002) y otras obras, profundizó en el concepto del diseño social, describiéndolo literalmente como una “*actividad productiva que intenta desarrollar el capital humano y social al mismo tiempo que productos y procesos provechosos*” https://en.wikipedia.org/wiki/Social_design de donde se desprende que el diseñador, con el fin de dar solución a las deficiencias comunitarias globales, debe detectar y prevenir esos problemas existentes, modelando su producción tangible e intangible.

⁴ Victor Josef Papanek (1923-98) es un diseñador y docente americano nacido en Austria, que se convirtió en uno de los más influyentes pioneros del siglo XX sobre diseño de productos, herramientas e infraestructuras, orientado a lo social y ecológico a comienzos de los años 60.

⁵ Los muebles de diseño de la marca Vitra, posee el museo Vitra Design Museum, que es de los más importantes del mundo en muebles de diseño industrial, así como de arquitectura. Se organizan exposiciones temporales sobre diseño interiorista y de muebles, o de arquitectura. Y su propietario, Vitra, ya, desde 1989, está desarrollando su propio parque arquitectónico, aumentando las instalaciones y superficies, en la ciudad de Basilea. Alguno de los arquitectos con construcciones a su nombre son Grimshaw, Álvaro Siza y Tadao Ando.

⁶ Victor Margolin fue un historiador del diseño, investigador y docente americano. Fue profesor de historia del diseño en la universidad de Illinois en Chicago desde 1982 hasta el 2006.

4.3. El principio de los ODS: Naciones Unidas por la sostenibilidad y la concienciación social

Tanto en relación con los aspectos creativos e innovadores del diseño de cualquier tipo, como en los aspectos docentes que se vinculan en esta memoria doctoral, la óptica de la sostenibilidad como concepto transversal no es una opción, sino que la entendemos como una obligación tanto en diseño como en cualquier otra actividad cultural o científica. Los contenidos de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) afectan por principio de gobernanza internacional en cualquier disciplina o actividad humana (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>). La enseñanza universitaria se ve particularmente concernida al respecto; en lo que afecta al diseño se ha justificado ampliamente en las obras de Victor Papanek y Víctor Margolin comentadas en el epígrafe anterior (4.2).

Los ODS se generan históricamente desde la segunda mitad del siglo XX. La evolución histórica puede estudiarse en la página web antedicha. Los que finalmente se describen en el sitio señalado son: 1 Fin de la pobreza, 2 Hambre cero, 3 Salud y bienestar, 4 Educación de calidad, 5 Igualdad de género, 6 Agua limpia y saneamiento, 7 Energía asequible y no contaminante, 8 Trabajo *decente* (justo) y crecimiento económico, 9 Industria, innovación e infraestructura, 10 Reducción de desigualdades, 11 Ciudades y comunidades sostenibles, 12 Producción y consumo responsable, 13 Acción por el clima, 14 Vida submarina, 15 Vida de ecosistemas terrestres, 16 Paz, justicia e instituciones sólidas, 17 Alianzas para lograr los objetivos.

Con estos objetivos se apuesta desde la ONU y otras organizaciones supranacionales por una nueva visión de la educación cuyo principal objetivo es transformar las actitudes de las sociedades humanas y se reconoce el papel primordial de la educación como motor para la consecución de los objetivos de la agenda 2030. Por ello queremos hacer mención expresa al ODS número 4 ya que uno más de los objetivos de esta tesis es difundir unas técnicas dentro del diseño que permiten un sistema de producción más sostenible y que por no disponer todavía de una buena divulgación en textos y programas curriculares, es complicado encontrar a nivel de docencia. Y dentro de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, son principalmente 6 de ellos, (subrayados más arriba) los que están afectados en nuestra Tesis.

Adicionalmente queremos aludir a un texto clásico, y centrado más en producción y ecologismo, que se llama *Cradle to Cradle: Remaking the way we make things* de (2002), del químico-ecologista alemán y exmiembro de la organización mundial Green Peace, de Michael Braungart y del arquitecto-paisajista estadounidense, William McDonough.

Pese a que esta obra ya posee 20 años, para nosotros supuso una aportación de ayuda en docencia para sostenibilidad. Se centra en el diseño de producto, se dan pautas para conseguir atajos que trataran de mitigar o ralentizar efectos negativos de los materiales que se usan, consecuencias sobre el sistema de producción instaurado etc. Pero además la obra puede ser utilizada en relación con todos los conceptos que minimizan la huella ecológica de las distintas fases de extracción, procesamiento, utilización, reciclaje, reutilización. Focalizan los autores en la potenciación de la Regla de las tres erres: Reducir, reutilizar, reciclar que hoy sigue estando plenamente vigente.

4.4. La sostenibilidad en la producción de mobiliario

Se procede aquí a discutir la influencia que tienen algunas de las principales decisiones que se toman para poner en marcha la fabricación de un mueble. En particular para fabricar un mueble más sostenible trabajando con máquinas digitales como la fresadora CNC que permite minimizar la huella ecológica en diferentes criterios. En los epígrafes que se enumeran desde 4.4.1 a 4.4.8 se trata de discutir estas aproximaciones.

Previamente vamos a introducir algunas reflexiones generales sobre las características de la fabricación industrial actual que no solo afectan a la fabricación digital y que afectan a la sostenibilidad. La intención es destacar que, con determinados materiales o procedimientos, y utilizando la fresadora CNC de 3 ejes, algunos efectos negativos de huella ecológica pueden ser mitigados. Y es importante que la sociedad sea consciente de ello en todos sus niveles organizativos. La educación superior y en particular maestros y aprendices han de interiorizarlo para cuanto antes poder trabajar en la consecución de los ODS y con las normas generadas en los últimos tiempos por las organizaciones nacionales y transnacionales.

La *globalización* <https://fr.wikipedia.org/wiki/Mondialisation> (concepto de origen francés, que tiene hoy distintos consensos lexicográficos en varias lenguas) que, en la producción de diseño, como en otros campos industriales, ha propiciado la deslocalización debida a una fragmentación o separación espacial (lo más frecuente por países) de las distintas fases del diseño. Una consecuencia de este tipo de organización globalizada de la actividad es que en nuestro campo suele/puede ocurrir que el diseñador tiene la idea, pero pierde todo el control sobre el proceso posterior de producción, introduciéndose factores externos en la cadena que pueden ir *contaminando* el producto final. Todavía es común diseñar o idear un producto en España y aplicarle una técnica de fabricación más económica, por ejemplo, derivando a Asia la fabricación y, una vez terminado el proceso de producción, traer todas las copias de ese producto nuevamente a Europa. Posiblemente el producto final será más rentable económicamente pero mucho más costoso en relación con su huella ecológica si contabilizamos los costes energéticos del transporte. Adicionalmente esta forma de producción entra en otra contradicción cuando ocurren circunstancias no previstas en el modelo actual de globalización de las cadenas productivas. Sirve de ejemplo la dramática situación de falta de productos o materiales sanitarios que sucedió en los inicios de una pandemia como la del Covid-19. La deslocalización del proceso productivo y la independencia de las fases de fabricación de un producto, cada vez más, deben de considerarse con atención. El marco de la sostenibilidad abarca este tipo de consideraciones y en buena parte justifica replanteamientos de la economía conducentes a desarrollar la industria y capacidad de producción *in situ*; es decir, en el entorno organizativo local o regional. A este respecto se pronuncia la ONU en relación con el ODS 9 <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

Anecdóticamente y sin apoyar una opinión que hoy habría que contextualizar, en tiempos previos a la Bauhaus preocupaba el cambio en la calidad de los productos por la aparición de máquinas, conduciendo, según señaló Carlo Argan, a “[una] pérdida de espiritualidad del modo de hacer artísticos y a una alarmante decadencia de la cultura y del gusto” (Wick, 1982, pg 20).

4.4.1. Madera

Se discuten en este capítulo, aspectos de sostenibilidad relativos a la madera como materia prima. Como se ha mencionado en la introducción general (Capítulo 1.4.2.) la madera, configurada en tableros es el material que se ha utilizado en la Tesis.

Entre las diversas aportaciones de Uysal (2014), precisamente en su Tesis Doctoral, se alude a que la madera es un material natural y renovable, sencillo de encontrar, de extraer y de moldear; siendo, desde tiempos remotos, el principal material para fabricar muebles. Se podría completar que esto es así en los países del planeta donde la madera se produce de forma natural o en cultivos sostenibles. Gracias a los avances en la técnica (Capítulo 2 y Apéndice 1), en la fabricación de muebles se ha pasado de una producción manual a una industrializada en serie. La madera para mobiliario puede ser utilizada directamente o procesada con diferentes técnicas industriales como son las variadas ofertas de tableros como los que se han utilizado en este Trabajo.

La madera, posee un gran número de particularidades físicas, que son interesantes de conocer para poder escoger la más adecuada según los distintos proyectos de mueble. En cuanto a la estructura celular de la madera misma, en sus cualidades influye la dirección de sus fibras u otras células, donde las longitudinales (fibras propiamente dichas) son las dominantes (Hoadley, 2000), siendo más débiles al corte siguiendo su longitud mayor y más fuerte en la dirección perpendicular al crecimiento de la fibra. De esta configuración depende y, por ella se determina, la trabajabilidad o comportamiento de la madera al ser perforada, cortada, cepillada, lijada, moldeada o doblada (Postell, 2012). También estas características dependen de si el material es extraído de árboles de madera dura o de madera blanda, es decir, hay una correlación con las distintas especies arbóreas madereras. Debido a que para trabajar este material con fresadora CNC de 3 ejes es necesario tener los elementos configurados en tableros, no se va a seguir profundizando en las características específicas de la madera y sus especies puesto que al procesar en tablero cambian la mayoría de ellas.

Hay todavía escasas investigaciones que estudien las condicionantes de las maderas para ser usadas con criterios de sostenibilidad en la fabricación digital de mobiliario. A continuación, se comentan dos artículos básicos en este sentido. Se trata de los artículos de Linkosalmi et al. (2016) y de Geng et al. (2019).

El artículo de Linkosalmi et al. (2016) está restringido al ámbito regional de Finlandia, lo cual importa mucho cuando se plantean discusiones en torno a la sostenibilidad (p. ej. Finlandia según sus previsiones, será el primer país en abandonar definitivamente el carbón para producir energía); los propios autores advierten la singularidad local de su país y por otro lado también acusan la dificultad de comparar datos de sostenibilidad a nivel general por lo que los manejados en este trabajo, muestran una relativa falta de homogeneidad. En su descargo, establecen con rotundidad que incluso en el campo científico se está todavía en los inicios de la aplicación de la sostenibilidad como principio por lo cual la dificultad de subordinar los productos y procesos más sostenibles a la actividad económico empresarial es una tarea difícil y por definir en muchos aspectos. A pesar de lo anterior los autores concluyen, de forma general, lo siguiente:

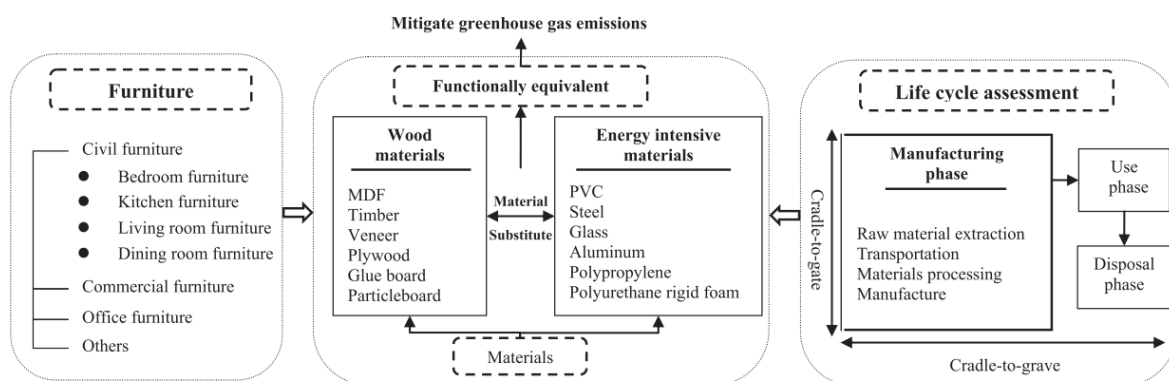
- Las materias primas y los componentes tienen el mayor impacto en las emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (38,4-90,1 por ciento).
- La participación de la logística es baja (0,2-4,8 por ciento) en la fase de producción, pero el transporte de componentes al exterior aumenta esta participación.
- Existe potencial para la mejora de la huella ecológica de los procesos de producción en el proceso de acabado (piezas de metal y de madera).

- La complejidad de la fabricación de mobiliario crea desafíos para la evaluación del ciclo de vida del propio mueble.
- Las fuentes de energía tienen un impacto significativo en las emisiones de GEI de la etapa de producción, el cambio a fuentes de energía renovables y de baja emisión disminuirá las emisiones de GEI de la producción de muebles.
- El almacenamiento de carbono biogénico, como es la madera, reduce significativamente las emisiones de GEI.

Una investigación reciente de Geng et al. (2019) confirma las afirmaciones anteriores y recomienda la sustitución progresiva en el corto y medio plazo de materiales intensivos en la emisión de GEI. Es interesante señalar que el trabajo de Geng está realizado en China que es el principal productor de muebles del mundo y que, aunque manteniendo posiciones contradictorias en 2021, es firmante del acuerdo climático global de París (2016) para reducir sus emisiones de CO₂.

En consecuencia, hasta el momento presente se puede afirmar, aunque con la prudencia necesaria, que hay un consenso amplio en sostener que la madera y o sus derivados se recuperan como el material más recomendable en términos de sostenibilidad comparándolos con otros elementos que puedan ser más baratos o mejor situados en los actuales circuitos del proceso industrial. Del estado actual de las investigaciones y a falta de mejores datos, en lo que se refiere a la fabricación de muebles, parece que por ahora es la madera el material reseñado como el de mejor efecto mitigador frente al cambio climático. A título puramente anecdótico, y aunque es difícil predecir la longevidad del mobiliario de oficina, construidos en materiales diversos no primordialmente en madera, Besch, concluye que la media de servicio de estas piezas es de 12 años (Besch, 2005, como se citó en Linkosalmi et al. 2016). Un parámetro que hay que tener en cuenta en las valoraciones de sostenibilidad es el mantenimiento del mobiliario, porque algunos precisan tanto de limpieza como de aplicar acabados costosos regularmente, cuando otros al contrario no precisan de nada especial. Normalmente, los materiales a base de madera o plástico se incineran al final de su ciclo, y esto contribuiría a sustituir combustible fósil, aunque ambas combustiones emiten gases contaminantes.

Como se verá, los materiales en madera y, sobre todo, aquellos de madera procedente de cultivos arbóreos, son idóneos para tratar de reducir la emisión de GEI. Muchos estudios han respaldado el potencial que tienen los bosques gestionados de forma sostenible, en la mitigación del incremento del CO₂. Según la Asociación Nacional de Mobiliario de China, en 2012 se produjeron 696.49 millones de piezas de mobiliario, cuyo 35,57%, era en madera (Geng et al. 2019), por lo que hay un amplio margen que hace posible contribuir a mitigar los grados de contaminación de forma eficaz.



Marco para evaluar los efectos de sustitución de la madera en mobiliario. Geng et al. 2019.

La unidad de medida utilizada es el kg CO₂eq/kg para cada material. Así es que tenemos que, por ejemplo, para acero, es 2.6; para vidrio, 2.18; para PVC, 4.65; para aluminio, 29.85; y, para madera, 0.29. Y, dentro de los distintos productos derivados de la madera, tenemos los tableros de: contrachapado, 0.745; alistonado, 0.547; partículas aglomeradas, 0.405; y MDF, 1.225.

Por lo tanto, en términos de sostenibilidad, se ve una espectacular diferencia entre usar un tipo de material u otro en cuanto a su producción, siendo el aluminio el material más emisor, y los tableros de partículas, los menos (algo inferior a 75 veces menos contaminantes). Y, dentro de la producción de madera, la más emisiva es MDF. Según estimación propia (<https://twitter.com/VisitorArmandol/status/1520415512932536321>) la cantidad de CO₂ emitida por una silla construida íntegramente en acero (2,6 kg CO₂eq/kg) es equivalente a la cantidad del mismo gas emitido por un automóvil con combustible diésel recorriendo la circunferencia completa del Ecuador del planeta Tierra.



Lo que contamina una silla metálica. Fuente: Víctor Armas-Crespo, en (<https://twitter.com/VisitorArmandol/status/1520415512932536321>).

La European Furniture Manufactures Federation (UEA) constata que, en la producción de mobiliario, un 26% de los materiales que se utilizan son de madera o basados en ella. En cuanto a la propia madera, por una parte, Uysal (2014), afirma que, durante la producción de materias primas, el proceso de fabricación y el de eliminación de los muebles son uno de los principales factores de problemas medioambientales. Pero, Iritani et al. (2015), también consideran que, la etapa de producción del suministro del material y la etapa de distribución de los productos son las que generan mayor contaminación.

Siguiendo con Linkosalmi et al. (2016), cuando el término sostenibilidad no estaba consolidado, el Ecodiseño y la “mentalización” para el mismo que se denomina *Eco-designthinking* son marco de referencia conceptual actuando transversalmente en las actividades que se han desarrollado en esta Tesis, especialmente en las experimentales en relación con la selección de materiales. Estos desarrollos son posibles si se tienen las herramientas necesarias, como es la información precisa en lo referido al impacto medioambiental de los materiales que se usan (Bovea and Vidal, 2004; Çinar, 2005; Bovea and Gallardo, 2006; González-Garsía et al., 2011, 2012; Lanoë et al., 2013; Mirabella et al., 2014, como se citaron en Linkosalmi et al. 2016).

4.4.2. Contrachapado

Hasta ahora hemos hablado de la madera como materia prima y se han esbozado algunas características generales de este material. La madera, sin embargo, a la hora de ser utilizada en la fresadora tiene una serie de limitaciones ya aludidas en el epígrafe anterior, que restringen su manejo. La máquina fresadora requiere que el material tenga el mismo espesor en todos sus puntos y garantizar una superficie lisa y horizontal. Por ello es necesario precisar que en cuanto a las condiciones de humedad en la madera hay variaciones que general diferentes dimensiones (+/- 1 mm) que tanto en tableros como en madera no procesada deben ser consideradas en cada pieza que se corta (Filson et al. 2017).

El contrachapado se ofrece como un material mucho más económico puesto que incrementa el volumen en relación con las piezas de madera. Sin embargo, en cuanto a su producción el contrachapado es un producto industrial y no un producto forestal siendo por tanto menos sostenible en este aspecto. Aunque no hay estudios precisos puede suponerse que usar madera virgen o usar contrachapado en términos generales compensan ventajas e inconvenientes y la elección puede ser tomada en función de otras características del mueble que se busca. La propia evolución tecnológica de las formas de obtener y procesar la madera para contrachapado ofrece nuevas soluciones a la carta. Y tampoco puede olvidarse que la conservación de la biodiversidad es un aspecto que hay que tener en cuenta en el caso de las maderas nobles y las de especies amenazadas o protegidas se preservan mejor manteniendo los contrachapados que explotando de manera extensa directamente la madera.

Principalmente por estas razones se consideran los contrachapados, una de estas configuraciones de materiales ideales para trabajar con este tipo de maquinaria CNC, como se ha indicado en las fuentes bibliográficas recogidas en el Capítulo 2.

4.4.3. Adhesivos

Otro componente que es necesario analizar, son los adhesivos que se utilizan para la configuración del tablero. Dejamos a un lado las uniones entre piezas por estos métodos, ya que no entran en las premisas de esta Tesis, pero que corresponden en su mayoría a los mismos productos. Los primeros adhesivos que surgen son de origen vegetal y animal. Debido al desarrollo tecnológico en el siglo XX, los adhesivos para madera pasan de ser, polímeros orgánicos naturales, a polímeros sintéticos más duraderos, fuertes y resistentes al agua, debido a que se le añadieron materiales químicos activos e inertes, que propiciaban estas propiedades solventes y específicas, que ayudan al control de la penetración del adhesivo en las fibras de la madera y a su humectabilidad.

Profundizando en este componente, para poder unir materiales compuestos de madera, se requieren resinas adhesivas que se terminan de endurecer con el calor, tales como: melamina urea formaldehído (MUF), fenol-formaldehído (PF) o urea-formaldehído (UF). Las PF se suelen utilizar para tableros aglomerados de baja emisión de formaldehído, tableros de virutas orientadas (OSB) y tableros contrachapados, ya que entre sus características destacan una alta fortaleza ante resistencia tanto en ambientes secos como húmedos y son más resistentes a las altas temperaturas y al envejecimiento químico. El resto de los adhesivos mencionados se utilizan para otros tratamientos y productos. Es importante diferenciar entre adhesivos curados, como los señalados, y los que no lo están, puesto que son dañinos para la salud y requieren precauciones de seguridad. Así y todo, las resinas UF y PF citadas, pueden liberar, en ciertas condiciones de

humedad y calor, bajas concentraciones de gas formaldehído que, en espacios interiores, pueden provocar inflamación, irritación y, a largo plazo, resultar cancerígenos (Postell, 2012).

Debido a estos descubrimientos posteriores, se ha ido investigando para formular otras alternativas para nuevos adhesivos, de emisión ultra baja, conocidos como ULEF, y los adhesivos NAF, sin formaldehído y, en su lugar, Isocianato, poli acetato de vinilo o soja. Curiosamente durante la década de 1970 se utilizaban, de forma generalizada, adhesivos de base biológica que, al reemplazarse por otros más resistentes, con el tiempo se ha descubierto la nocividad de estos que eran más resistentes (Postell, 2012). Actualmente, en esta búsqueda de mayor sostenibilidad medioambiental, se vuelve a mostrar un interés en el desarrollo de adhesivos de base biológica, surgiendo resinas a base de proteína de soja que consiguen durabilidades parecidas a las PF, o también sistemas derivados de unos compuestos fenólicos naturales y presentes en la corteza de algunos árboles (Ross, 2010), como los presentes en la lignina o taninos.

4.4.4. Acabados

Conviene advertir que el acabado es otra de las fases menos sostenibles de la producción de un mueble, como ya se vio más arriba en Linkosalmi et al. (2016). Los acabados se encargan de proteger las superficies de la madera y de ahí depende en parte la longevidad del mismo. En el acabado es importante el secado y también la aplicación de productos superficiales aislantes. El secado en sí mismo es que un proceso muy demandante de energía, pero es igualmente crítico de cara a la sostenibilidad tener en cuenta las características de los productos aislantes que se aplican.

En este último aspecto es relevante saber con certeza si los compuestos presentes en cualquier producto de acabado pueden liberar al aire unas sustancias contaminantes llamadas VOC, o compuestos orgánicos volátiles. La atmósfera de un espacio interior suele ser cálido y húmedo, beneficiando así la evaporación de estas sustancias químicas orgánicas, constituidas a base de carbono, de origen natural o sintético. Se encuentran presentes, sobre todo, en los acabados que, una vez secadas y curadas las superficies, comienzan a reaccionar en las condiciones mencionadas, resultandos contaminantes para el aire y medio ambiente en general, y perjudicando la salud cuando estos espacios son cerrados (Postell, 2012; Ross, 2010). Estos efectos se toman en consideración, desde 1990 cuando, ya descubiertos por el desarrollo de la química ambiental, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos, establece la Ley del Nuevo Aire Limpio, que exige a las empresas reducir la cantidad de VOC en sus producciones. Como consecuencia de ello, se dejaron de producir muchos de los acabados tradicionales. Se están reformulando manufacturas que contienen más sólidos, aditivos no tradicionales, nuevos solventes y cosolventes que forman películas en la superficie de la madera que no penetran en el material (Ross, 2010); todo ello con el objetivo de producir nulas o bajas emisiones de VOC. En nuestro trabajo con la fresadora, buscando los productos más sostenibles, se han utilizado todos los descritos en las referencias bibliográficas utilizadas en cada uno de los ensayos (ver Apéndice 1). Normalmente y en particular en nuestros primeros experimentos se utilizaron productos de base biológica o simplemente acuosa, siempre tratando de evitar los compuestos orgánicos volátiles (VOC). Alternativamente en los últimos tiempos continuando con la búsqueda de los materiales más sostenibles se está ensayado, con aparentes resultados positivos un tratamiento a base de jabón, elaborado para nuestra experimentación por la Dra. Marta Muñoz del departamento de materiales de la URJC.

4.4.5. Regulaciones

Otra cuestión que debe tenerse en cuenta, a la hora de la elección del material, o, de la configuración del mueble, son las regulaciones y certificados medioambientales. Con el objetivo de prolongar la vida útil y permitir las mejores opciones de retirada y desechado, las regulaciones medioambientales, buscan la competitividad y calidad de los productos. Entre ellas se encuentran:

- Normativas ISO. Entre ellas, la ISO 14040 se relaciona con regulaciones ambientales y las huellas de carbono relativas al análisis de ciclo de vida de un producto (LCA).
- Directiva 1999/13/CE, relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles por el uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones, que pueden contaminar las aguas y la atmósfera. Esta Directiva fue modificada por la Directiva 2004/42/CE, relativa a la limitación de las emisiones de COV debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas pinturas y barnices y en los productos de renovación del acabado de vehículos. Finalmente, aquella Directiva 1999/13/CE, fue derogada por la Directiva 2010/75/UE, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (previsión y control integrados de la contaminación).
- Forest Law Enforcement Governance and Trade (FLEGT). Plan de Acción de aplicación de las leyes de gobernanza y comercio forestal. Es emitida por la UE desde 2003 como instrumento de lucha contra la tala ilegal y el comercio de madera obtenida ilegalmente.
- Reglamento UE 995/2010, de 20 de octubre de 2010, por el que se establecen las obligaciones de los agentes que comercializan madera y productos de la madera. Reglamento de la Madera de la UE, que exige a los fabricantes desde 2013, a demostrar que su madera o productos de madera no han sido extraídas mediante prácticas de aprovechamiento ilegal, mediante las Declaraciones Ambientales de Producto o DAP, que evalúan el impacto medioambiental total del producto o material.

Estas normas europeas tienen su transposición en normas españolas, y son las siguientes:

- Real Decreto 1088/2015, de 4 de diciembre, para asegurar la legalidad de la comercialización de madera y productos de la madera. Para la aplicación en España del Reglamento EUTR. Contiene la información mínima de la declaración responsable que deben cumplimentar y comunicar anualmente los agentes que comercialicen madera o sus productos derivados, y se presenta antes del 31 de marzo de cada año. Y para su coordinación en toda España, está el Plan Nacional de Control de la Legalidad de la Madera Comercializada, de 20 de junio de 2022.
- Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes (modificada por la Ley 21/2015, de 20 de julio), para que en los procedimientos de contratación pública se adopten las medidas oportunas para evitar la adquisición de madera y productos derivados, procedentes de talas ilegales de terceros países, y favorecer la adquisición procedente de los bosques certificados.

El sistema de protección medioambiental creado es el del ecoetiquetado, para informar y proteger a un consumidor, certificando que un producto es ambientalmente eficiente, de calidad y seguro. Si bien, como quiera que en la década de 1980 comenzaron a surgir numerosas etiquetas privadas como forma de dar solidez al producto, para evitar fraudes, se pusieron en marcha, programas nacionales de etiquetado. Y los tres objetivos principales de estas etiquetas son: (1) animar a las empresas a innovar y mejorar medioambientalmente sus productos, ofreciéndoles el reconocimiento oficial de la excelencia de los mismos, por parte de un tercero. (2) Proporcionar a los consumidores información fiable sobre los beneficios ambientales de los productos, con el fin de sensibilizarlos y promover un consumo de productos más respetuosos con el medioambiente. (3) Y mejorar, en definitiva, la sostenibilidad de los productos y los patrones de consumo (Iraldo et al., 2020).

Actualmente existen en todo el mundo más de 50 sistemas de certificación forestal. Uno de los sellos más comunes a nivel mundial, y de España, por su presencia mayoritaria en el mercado, es el conocido por las iniciales en inglés PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification) <https://pefc.org/> es el Programa para el Reconocimiento de Certificación Forestal. Como bien se describe en su propio material divulgativo, es el sistema de certificación forestal privado más implantado en el mundo a escala global. Como organización no gubernamental sin ánimo de lucro, trabaja para asegurar una sostenibilidad forestal con perspectiva local que genere beneficios en todos los sentidos.



Trabajan para asegurar que los bosques sean gestionados de forma responsable y que su multitud de funciones estén protegidas para generaciones presentes y futuras. Para poder cumplirlo, cuentan con la colaboración de propietarios y empresas del sector forestal, que apuestan, por la certificación de la gestión sostenible de sus bosques, y de la cadena de custodia de sus industrias; ambos, contribuyen al desarrollo del sector.

Actualmente, en España, hay cerca de 2,5 millones de hectáreas de bosques certificados PEFC, de un total de 14,5 millones de hectáreas de zonas arboladas y que integran más de 44.000 propietarios y gestores. A nivel mundial, hay 325 millones de hectáreas, y el 75% de todos los bosques certificados a nivel internacional, están certificados con el sistema PEFC. Los valores que persigue esta alianza están los siguientes:



El siguiente sello relevante, a nivel mundial, es el Forest Stewardship Council o, FSC <https://es.fsc.org/es-es> Una organización no gubernamental, independiente, que también promueve la gestión responsable de los bosques del mundo, y cuyo programa de certificación forestal es el más conocido, con más de 113 millones de hectáreas de bosques distribuidos en 79 países. Este sello permite rastrear el bosque certificado del que proviene el producto, la sostenibilidad y credibilidad de la cadena de suministro, y el cumplimiento de los estándares FSC en la gestión responsable de las tierras forestales, en términos medioambientales, sociales y económicos (Ross, 2010; Uysal, 2014). Este sello está destinado a materiales de la madera y sus derivados, como contrachapado y el papel, y de otros derivados forestales, pudiendo ser estampado en productos que los utilicen. También verifican que no se dañe el buen funcionamiento de los procesos de los ecosistemas naturales, como biodiversidad, agua, suelo, carbono y ocio.

FSC y PEFC persiguen el mismo objetivo, y su diferencia principal es que PEFC es promovido por el sector privado y, el FSC, por Greenpeace y World Wide Fund for Nature (WWF). Ambas son compatibles con otras normas de sistemas de gestión.



- El Sustainable Forestry Initiative, o SFI, <https://forests.org/> es otro de los sellos importantes a nivel mundial, pero solo certifica terrenos en los Estados Unidos y Canadá. En 2005, PEFC reconoció el estándar SFI. El programa certifica más de 115 millones de hectáreas de bosques en Estados Unidos y Canadá evaluando la planificación, procedimientos y procesos que tienen lugar en el bosque, así como las operaciones de procesado de la madera.

Por todo lo descrito, cuando se compra una madera con este tipo de sellos, estaremos contribuyendo a conseguir unos objetivos de sostenibilidad contrastados puesto que están verificados mediante dichos certificados. Por lo tanto, de no solicitar estos sellos no se cumplirían los estándares de sostenibilidad que se pretenden. Y, en caso de no tenerlo, querrá decir que esa madera no ha sido manufacturada bajo estándares específicos que se han de exigir para trabajar con un producto sostenible. Comprando una madera de un proveedor cualquiera, sin sellos, se puede estar incurriendo en ilegalidades o sufriendo riesgos como el de la mala calidad de la madera por manufactura sin procesos de calidad, posible violación sobre derechos de trabajo justo en el lugar de manufactura o recogida de materia prima; talas ilegales en bosques no controlados, destruir la biodiversidad de bosques, etc. En consecuencia, sea como diseñador o sea como consumidor de un producto de madera, se debería ser responsable exigiendo que dicho producto tenga esas garantías mínimas, contribuyéndose con ello, como un eslabón más, de la cadena del diseño a una mayor sostenibilidad.

Tras conocer los beneficios que, en cuanto a sostenibilidad, proporciona el uso de la madera con sellos de calidad, se va a contrastar, a su vez, esa sostenibilidad en el uso de las CNC. En el Capítulo 2 se enumeraron varios beneficios técnicos y de otras índoles sobre el uso de este tipo de tecnología; ahora se centrará en los beneficios más relacionados con este capítulo de la sostenibilidad y optimización de recursos.

4.4.6. Optimización de recursos

La digitalización de procesos repercute, directamente, en una optimización de recursos, pudiendo controlar cualquier parámetro que no se ajuste a unos estándares sostenibles. El mero hecho de tener el control digital, de manera localizada en cada fase, supone en sí una seguridad en el diseño, ya que cualquier error posible durante toda la cadena de creación es fácilmente subsanable en el momento y esto beneficia una producción eficaz. Además, con estos procesos digitales controlados, se es susceptible de implementar posibles mejoras, en cualquier momento de la manufactura, en el que se produzca una evolución en el diseño; ello sin complicados problemas de reajustes en los complejos sistemas industrializados de grandes producciones (Kumar et al., 2009). Esta optimización en las operaciones de fabricación se ha convertido en una necesidad apremiante para la sostenibilidad (Chandel et al., 2022), pero necesitan ser controladas y gestionadas por un operador experto (Lotti et al., 2019) y esta memoria quiere contribuir a la enseñanza del CNC como técnica de diseño para lograr ese conocimiento. En este tipo de tecnología, las morfologías curvas son tan fáciles de cortar como las que sean más ortogonales. Las estructuras tridimensionales complejas, son relativamente fáciles de producir, y el número de etapas en la maquinaria, que requieran la intervención de un operario, se reducen drásticamente (Tannert et al., 2008).

La evolución tecnológica de las máquinas de procesamiento de madera, han beneficiado esa posibilidad de crear uniones sólo en madera, de forma muy económica, y repercutiendo así en la creación de uniones entre piezas de manera más sostenible. Como bien apunta Tannert et al. (2008), utilizando las máquinas con procesadores automatizados, las uniones en madera pueden fácilmente ser procesadas a gran velocidad, configurando unos componentes de alta precisión y de alta calidad en sus cortes. Esta precisión y rapidez en el trabajo, que propicia esta tecnología, influye directamente en el tiempo de uso de las máquinas mientras trabajan, que, a su vez, inciden en el menor consumo de energía, que lo hace más responsable.

Así mismo, esta alta calidad repercute notoriamente en la longevidad del producto final, pues si sus componentes están bien calculados, en cuanto a resistencias, y el proceso de producción

totalmente fiel a lo estipulado en el proyecto, se supone que sería más complicado o menos previsible que un componente fallase. Y, en el caso de producirse un fallo o rotura en un componente por su uso, sería fácilmente replicable y reemplazable para su reparación, debido a que todas sus etapas de producción están controladas, en lugar de deshacerse del producto entero y al ser todos sus componentes fácilmente reciclables, se podría pedir al diseñador o fabricante local la pieza concreta dañada para su reemplazo. De nuevo, con estas opciones tecnológicas novedosas se posibilita el ahorrar costes extras ambientales, como se ha mencionado.

4.4.7. Sostenibilidad en el diseño

La industrialización democratiza el uso de mobiliario. La estandarización, gracias a la tecnología, trae consigo mayor cantidad de muebles que llegan a la mayoría de la población. Sin embargo, para economizar en los procesos, introducen elementos de unión entre piezas que pueden venir con deficiencias en sus componentes que acortan su vida útil. Esto supone que se pierden grandes cantidades de madera en los muebles que se desechan, además de sus componentes de unión contaminantes, que van a parar a los vertederos.

Por lo tanto, y pese a que la madera es un material que, como ya se ha comprobado, cumple con los estándares más altos en cuanto a sostenibilidad, su eliminación puede llegar a ser un desafío ecológico si no se trata este problema de su vida útil y su desecho de manera adecuada.

Hay que tener en cuenta que, un mueble de madera tiene una vida útil aproximada de entre 5 y 12 años, y que son necesarios 13 años para que se degrade en un vertedero (Haviarova et al. 2015). Por estas razones, ya hemos visto, en el apartado del ecoetiquetado, cómo surgen normas que tratan de paliar todos estos problemas de sostenibilidad. Primero, con la utilización de materiales adecuados; segundo, por obligar a utilizar mejores calidades y competitividad en los productos, de forma que se alargue su vida útil y mejorar las opciones de desecho al final de ella. Pero es igual de importante, tanto este cambio en entidades, como en el papel que toman los diseñadores que conciben estos productos, pues ellos pueden reducir este impacto, proyectándolo para ello, desde la concepción de esos diseños. Y se incluye, así, conciencia medioambiental, como ya llevaba tiempo anunciando Papanek, junto con el consumo crítico por parte de los consumidores, quienes deberían demandar más seguridad, sostenibilidad e impacto medioambiental (Uysal, 2014), y no solo consideraciones en el precio marca, disponibilidad y singularidad del producto.

Ya lo afirmaba Papanek (1972), hace cuatro décadas, o, Margolín (2002) hace dos, pero Fleming (2010), mediante ciertas investigaciones, asegura, que el 70% del impacto total de un producto, es determinado en la fase de diseño. Por ello, la importancia de implementar estrategias de diseño, alineadas con el medioambiente, en las primeras fases de ideación de cada producto; lo mismo que diseñar opciones de una segunda vida, y de fin de vida útil, para reducir su impacto medioambiental (Uysal, 2014).

Teniendo en cuenta la escala y lugar geográfico de un proyecto para creación de mobiliario, como le ocurrió al equipo de Purdue University, para mobiliario en Escuelas del tercer mundo, llegaron a afirmar que, para minimizar aún más, otros posibles impactos negativos en un entorno que se va a amueblar a gran escala, se deben considerar e introducir, factores como el contexto, la cultura y el conocimiento; así como también, el cómo se utilizan los recursos, cómo se vive, qué se necesita para vivir, estética y usabilidad, para poder producir, en conjunto, un mobiliario útil, con un diseño atemporal, duradero y adaptable; con gran longevidad en la medida de lo posible, y que se pueda producir de manera económica y con una huella medioambiental baja, así como que

enfatiche las acciones de reutilizar, mantener, desmontar fácilmente, reparar y reciclar (Uysal, 2014). Poco se habrá reflexionado si, aunque con la mejor intención, se lleva a estas escuelas remotas, pupitres de última generación, puesto que, simplemente, si dichas escuelas no son espacios estancos, podrían pudrirse por humedad ambiental en un corto periodo de tiempo. Dichos muebles, ya defectuosos, acabarían desechados en cualquier entorno biológico, habiendo introducido otro problema añadido mediante materiales contaminantes de última generación.

4.4.8. Conceptos y estrategias de diseño sostenible

Dada la necesidad de cambiar las estrategias y metodologías en el diseño, van surgiendo corrientes de pensamiento que tratan de introducir un cuerpo de doctrina a las pautas de comportamiento responsable en el diseño desde otros ámbitos. La mayoría de los conceptos que se van a describir ya han sido citados en la relación comentada de los artículos y en la discusión del Capítulo 3. Ahora se analizan someramente en su repercusión en cuanto a la sostenibilidad.

10% del mobiliario se recicla

80-90% del mobiliario se incinera

El *Design for Environment* (DfE) trata de disminuir el impacto de todo el proceso de producción de un producto, además enfatiza en el estudio de las etapas y el fin de vida útil.

En particular con respecto a la gestión de los desechos, el 10% del mobiliario es reciclado mientras que del 80% al 90% es incinerado (Uysal, 2014). También la elección de opciones que conlleven el menor impacto medioambiental posible del fin de vida útil, como podría ser la reutilización, ante el desechado a vertedero y, la refabricación para reutilización. A esta etapa final de un producto se le denomina *End of Life* (EoL). Los llamados *design for manufacturing* (DFM) y *design for assembly* (DFA), han adquirido popularidad en los últimos años, debido a que tratan de eliminar desperdicios, a través de su integración durante el diseño y sus procesos (Boothroyd, 1994; Meeker & Rousmaniere, 1996).

Reducir el número de componentes de un mueble lo hace más sostenible.

Estos dos procesos se han integrado como una única metodología, llamada DFMA. Según Demeter y Matyusz (2011), en cualquier

industria, minimizar la cantidad de piezas sin comprometer el rendimiento del producto, es una buena manera de reducir el inventario, que es la fase clave de transformación hacia una empresa más ágil. Pero también, reducir el número de componentes implica, además, que se beneficie la sostenibilidad del producto al minimizar el número de operaciones de configurado.

Otro concepto muy relacionado es el *Design for Disassembly* (DfD) (Bogue, 2007; como se citó en Uysal, 2014), que introduce otra característica, y es que dichas uniones sean susceptibles de desensamblarse. Que estas piezas puedan ser desmontadas fácilmente para reutilizar las piezas y materiales, reciclarlas o refabricarlas en nuevos productos, que es uno de sus fines, en lugar de que acaben en vertederos. Por ello, plantear uniones reversibles, como lo serían estos ensambles digitales en madera, resulta una de las opciones que cumpliría con los requisitos propuestos de sostenibilidad. En definitiva, según Uysal (2014), el mobiliario que implementa criterios del DfD, tratará de seleccionar ensambles y uniones adecuadas, que sean fáciles de desmontar, visibles y accesibles; diseñar anteponiendo componentes estandarizados, modulares, partes robustas con pesos reducidos; seleccionando y utilizando el material primando los reciclados, la menor cantidad posible, y eliminar en la mayor medida que se pueda, los componentes tóxicos o peligrosos. El mismo autor, Uysal, presenta en su Tesis, ya mencionada, una serie de opciones para los productos en la fase denominada EoL, en las que entran en juego las citadas consideraciones de

diseño para el medioambiente (Reutilizar, reparar, reciclado primario, reciclado secundario, incinerar y desechado en vertedero).



Productos sostenibles = Madera certificada + ensambles digitales de madera

Mobiliario sostenible mediante madera certificada y ensambles digitales de madera. Fuente: Víctor Armas-Crespo, en (<https://twitter.com/VisitorArmandol/status/1520415512932536321>).

CAPÍTULO 5. PROPUESTAS

5.1. Propuestas de carácter general

- 1.- Someter a publicación la revisión titulada “Digital wood joints in 3-axis CNC milling machine furniture manufacture: A review”, que contiene parcialmente resultados de esta memoria.
- 2.- Publicación de una guía en español al servicio de la docencia sobre la fabricación digital de mobiliario recogiendo los datos del Capítulo 2 y 3.

5.2. Propuestas para la docencia

Como consecuencia del estudio de las investigaciones previas sobre el tema de la fabricación de mobiliario cortado con fresadoras CNC de 3 ejes que se contienen (Capítulo 2 y Apéndice 1) y de nuestra experiencia mostrada (en el Capítulo 2.5. y Apéndice 2), nuestra propuesta docente gira en torno a dos ejes: Eje 1, que comprenda la enseñanza de un programa de lecciones básicas cuyos contenidos se atenga al proyecto planteado (temas del programa de la asignatura o propuestas para seminarios o workshops ofertados, o cualquier otro). Y el Eje 2, que gire en torno al trabajo práctico cuya estructura será la de un taller como los contenidos en Cardoso (2006) y de Symeonidou (2018).

Eje 1: El proyecto docente completo debe ser bien conocido por el docente y por los alumnos, aprendices u otros usuarios, y las competencias y capacidades que se pretende transmitir y adquirir respectivamente por uno y otros han de ser aceptadas por ambas partes y compartidas como proyecto común. No es procedente desarrollar aquí ningún tipo de programa porque lo que se pretende ahora es proponer un marco válido para cualquier nivel de formación.

Eje 2: La práctica se ejecuta mediante el desarrollo de un taller acorde con el programa formulado en el Eje 1. Lo normal es que este taller conduzca a la presentación de un prototipo físico a escala real. Esta propuesta ha sido contrastada para el caso del proyecto de prácticas para la asignatura de Diseño de Mobiliario del Grado en Diseño Integral y Gestión de la Imagen que se imparte en la URJC. En el Capítulo 2.5. se puede apreciar el éxito de la propuesta.

Esta propuesta para Docencia pretende involucrar a los docentes en la organización y configuración de talleres experimentales “multiusos”, para cumplir con la enseñanza reglada o para ofrecer a cualquier cliente externo la docencia o transferencia que demande. Los talleres experimentales son un buen instrumento para la integración del método de “Aprender Haciendo”, como instrucción eficaz en diseño, que va a permitir al alumno o usuario adquirir las capacidades necesarias para producir con este tipo de tecnología (Becerril et al., 2021).

5.3. Propuestas para la investigación

1.- Profundizar en la práctica docente (talleres) expuesta en el apartado anterior para evaluar su efectividad contrastando datos sobre resultados comparados según diferentes parámetros. Se pretende desarrollar un modelo de profundización y explotación de los resultados docentes como Symeonidou (2018) basada en *Engaging in the Scholarship of Teaching and Learning: A Guide to the Process, and How to Develop a Project from Start to Finish* (Bishop-Clark, C and Dietz-Uhler, 2012).

En nuestro caso concreto, el objetivo sería el comprobar si la propuesta para docencia presentada fomenta realmente que los aprendices de diseñadores de mobiliario integran las herramientas de fabricación digital de manera adecuada, y que, realmente, se conviertan en herramientas de trabajo útiles para su formación y procesos de diseño. Por lo tanto, esta propuesta para investigación consiste en la configuración de un estudio que permitiera evaluar la propuesta docente. Posiblemente se requiera el concurso especialista en la propia URJC o en otros centros.

2.- Creación de plataformas o programas informáticos capaces de aunar las necesidades formuladas en Cormack y Sweet (2016) colaborando para establecer puentes entre la experiencia de manejo real de la fresadora, con las facilidades computacionales avanzadas. En particular establecer una conexión directa entre un programa de diseño dado y el programa de resistencia de materiales ANSYS o entre el programa de diseño y el de cálculo de información sobre la huella de carbono. La conexión con Grupos de Investigación con experiencia en Ciencias de la Computación se vislumbra como el camino más eficiente.

3.- Búsqueda de resultados originales en cuanto a los tratamientos de acabados superficiales sostenibles. La propuesta consiste en sistematizar metódicamente para varios parámetros los resultados obtenidos en los primeros materiales jabonosos de acabados que hemos utilizado en nuestra experimentación; este material fue proporcionado por la Dra. Marta Muñoz Hernández del Área de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales de la URJC que sería colaboradora necesaria en esta investigación.

5.4. Propuesta para transferencia

Producción de talleres sobre temas específicos tanto para poner al servicio de la transferencia de información desde la universidad hacia sectores sociales interesados (por ejemplo, para semanas de la ciencia), como para ejecución de proyectos privados dentro del artículo 60 de la ley orgánica de universidades (LOSU). En este último sentido ya se tiene constancia del interés de dos empresas para impartición de nuestros talleres: Centro Integrado de Formación Profesional Microsistemas© y Laboratorio Biomimético©.

5.5. Propuestas para la industria

1.- Dentro de las posibilidades que da el artículo 60 de la LOSU se establecerán contactos ofertando a empresas de materiales laminados compuestos de madera la contrastación de las propiedades de sus nuevos tableros en experimentación para el uso por fresadoras CNC.

2.-Proponer un tipo de taller experimental de corta duración, planteando una demostración de construcción de un mueble (como un taburete o silla de pequeñas dimensiones) con la fresadora CNC de 3 ejes en el mismo lugar de la exposición (feria o instalaciones de la propia empresa).

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

Conclusiones generales de la memoria doctoral

1. Se ha adquirido una formación solvente en carpintería digital de forma que se es capaz de resolver innovadoramente, con tecnología digital, ideas de diseño de mobiliario fundamentalmente resolviendo el problema técnico más crítico que son los ensambles.
2. Se ha realizado una revisión crítica de las referencias y experiencias previas en materia de ensambles y ensamblajes que pueden localizarse en la literatura y documentación académica desde las primeras publicaciones en 1997 hasta 2022. La ordenación funcional de las referencias está agrupada en la memoria de manera que cada aspecto pueda profundizarse por parte de un interesado de manera sencilla.
3. Se ha realizado una puesta al día de todos los tipos de ensambles tecnológicamente consolidados o que, según la exhaustiva revisión ejecutada, han resultado los más adecuados para sostener el diseño de un mueble tanto desde el punto de vista de las condiciones tecnológicas como del soporte tecnológico para las decisiones estéticas. Ambos aspectos en relación con las posibilidades de investigación y desarrollo industrial, de carácter local, en materia de ensamblaje.
4. Mediante el propio ejercicio de ejecución práctica, se ha adquirido experiencia solvente, capaz de mejorar las soluciones disponibles, mediante el manejo de la máquina.
5. Se ha logrado una docencia innovadora y participativa que ha situado al estudiante como aprendiz y como creador de diseños y formándose así, en las competencias que definían sus programas docentes, como carpintero digital que traduce sus propias ideas.
6. Se está en disposición de colaborar en el enriquecimiento del tejido industrial local con soluciones innovadoras asequibles (por precio) facilitando también al entorno local un capital humano competente y estimulado. Es decir, la Tesis faculta para realizar, desde la universidad, una transferencia viable de las técnicas y metodologías digitales para la industria de la madera o para cualquier otra. Tenemos ahora el *know how* para colaborar en la construcción de un amplio espacio innovador local en el diseño de productos.
7. Se han podido formular una serie de propuestas concretas para ser abordadas en el corto plazo tanto en publicaciones como en iniciativas para innovación docente, para la investigación y para la transferencia en el sector de formación profesional y docente.
8. El contexto y objetivos de la Tesis recogen las tendencias formuladas en los ODS afectados. Se aportan datos para programas y planteamientos docentes de futuro a la luz de la regulación nacional y trasnacional sobre sostenibilidad.

GLOSARIO

- ARP**. *Additive Rapid Prototyping*. Creación de un prototipo con maquinaria aditiva rápida como impresoras 3D.
- AtFAB at UK**. Nominación del Grupo de Investigación de la Universidad de Kentucky (UK). Debe su nombre a la línea de mobiliario personalizable diseño para ser descargado como archivo digital y ser fabricado en cualquier localización por cualquiera. Proyecto fundado por Anne Filson y Gary Rohrbacher.
- Autoencaje, autoensamblable**. Piezas firmemente unidas entre sí por una parte que encaja en otra.
- CAD**. *Computer Aided Design*. Diseño asistido por computadora. Programas que crean modelos informáticos por parámetros geométricos.
- CAM**. *Computer Aided Manufacturing*. Fabricación asistida por computadora. Programas informáticos que usan las máquinas para realizar los trabajos de producción.
- Categoría 1**: Investigaciones basadas en disciplinas técnicas de Ingeniería de la madera.
- Categoría 2**: Investigaciones relacionadas con metodologías pedagógicas para docencia.
- Categoría 3**: Investigaciones basadas en el diseño como disciplina proveniente de humanidades.
- Categoría 4**: Investigaciones basadas en disciplinas de las Ciencias de la Computación
- C-Furniture**. Línea de muebles desarrollada por *C-Lab*
- C-Lab**. Nominación del Grupo de Investigación de la Universidad de Offenbach. Proyecto fundado por Jochen Gros y Friedrich Sulzer.
- CNC**. Control Numérico por Computadora. Sistema que convierte un diseño en una computadora en instrucciones que se envían a una herramienta automatizada.
- Código G**. Lenguaje de programación que integra las acciones que deben realizar las máquinas CNC para que trabajen.
- Creative Commons**. (EN) conjunto de licencias que permiten compartir su trabajo con derechos de autor.
- Democratización**. Extensión de algo a un gran número de personas.
- DfD**. *Design for Disassembly*. Diseño desarrollado para desmontarse fácilmente.
- DfE**. *Design for Environment*. Diseño desarrollado para prevenir la contaminación del medio.
- DFM**. *Design for Manufacturing*. Diseño desarrollado para ser fabricado con maquinaria específica pudiendo ser CNC optimizando así su proceso y viabilidad de producción. Tratan de eliminar desperdicios durante la fase de diseño y sus procesos.
- DFMA**. *Design for manufacture and assembly*. Diseño desarrollado para fabricarse y ensamblarse fácilmente. Tratan de eliminar desperdicios durante la fase de diseño y sus procesos.
- Diseño Abierto**. *Open Design*. Desarrollo de productos mediante el uso de información compartida públicamente.
- DIY**. *Do-It-Yourself*. Actividad de crear o hacer cosas para uno mismo en lugar de comprarlas.
- Ensamble**. Unión de varios elementos especialmente con piezas de madera.
- EoL**. *End of Life product*. Producto al final de su ciclo de vida.
- Ergonomía**. Ciencia aplicada del diseño de equipos para adaptarse a las necesidades humanas.
- Fab lab**. Laboratorio de fabricación digital. Lugar de aprendizaje e innovación con tecnología avanzada accesible a cualquier persona.
- Fabricación digital**. Diseñar en una computadora con la intención de fabricar ese diseño en una máquina específica controlada por computadora. CAD+CAM
- FEA**. *Finite Element Analysis*. Análisis por elementos finitos. Método numérico para soluciones de ecuaciones. También se puede referir como FEM
- FEM**. *Finite Element Method*. Método de los elementos finitos. También se puede referir como FEA.
- Flat-pack**. Muebles que se empaquetan y transportan de cajas planas que requiere del montaje por parte del cliente. Normalmente son sencillos de montar y pueden necesitar de herramientas.

- Fresadora.** Máquina compuesta de un cabezal que rota con una fresa y que con su movimiento sustrae material. Dispone de una mesa de apoyo del material en el que se mecaniza.
- Maker.** Es una subcultura contemporánea que representa una extensión de DiY, basada en la tecnología.
- MDF.** *Medium Density Fiber.* Tableros de madera reconstruida obtenida descomponiendo residuos de madera y aplicando alta temperatura y presión para configurarla en paneles.
- Mobiliario nómada.** Desmontables con diseños sencillos para ser fáciles de transportar.
- NTR furniture.** *Non-Tools Required.* Diseño basado en producirse con tecnología CNC en el que no se requiere ninguna herramienta para montarse y generalmente sin conectores extras.
- OSB.** *Oriented Strand Board.* Tablero de virutas orientadas. Capas formadas por virutas o astillas de madera (entre 80 y 100 mm) en la misma dirección y su contigua en la perpendicular.
- Plug-in.** Aplicación o complemento a un software que añade funcionalidades extras y mejoras específicas al funcionamiento general del programa.
- Rapid Prototyping.** Creación rápida de prototipos con técnicas que utilizan datos de diseño tridimensionales asistidos por ordenador.
- Revit.** Software de modelado de información de construcción.
- Rhinoceros.** Software para modelado en tres dimensiones basado en curvas NURBS.
- RTA.** *Ready to Assembly.* Mobiliario que requiere un ensamblaje por parte del cliente
- SRP.** *Sutractive Rapid Prototyping.* Creación de un prototipo con maquinaria sustractiva rápida como fresadoras CNC.
- UK.** University of Kentucky. Universidad de Kentucky.

BIBLIOGRAFÍA

- Becerril Mendoza, V., Rosas Burgos, K., & Albárran, P. L. (2021). El Diseño de mobiliario de madera fabricado por router CNC. *Actas de Diseño*, 37, 249–253.
- Boothroyd, G. (1994). *Product design for manufacture and assembly*. 26(July), 505–520.
- Braun, M. (2021). *Simply Wood, Design of All-Wood Furniture Joints*. Linnaeus University.
- Braungart, M., & McDonough, W. (2002). *CRADLE TO CRADLE: Remaking the Way We Make Things*. RODALE PRESS.
- Buchanan, R., & Buchanan, R. (2001). Design Research and the New Learning Published by : The MIT Press Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/1511916> and the New Learning. *Design Issues*, 17(4), 3–23.
- Cardoso, E. (2010). A contribuição da prototipagem com emprego de fresadora CNC no processo de design de produto. In Softcover (Ed.), *Sigradi 2010. XIV Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital. Disrupción, modelación y construcción: diálogos cambiantes* (pp. 58–61). Universidad de Los Andes.
- Chandel, R. S., Kumar, R., & Kapoor, J. (2022). Proceedings Sustainability aspects of machining operations : A summary of concepts. *Materials Today: Proceedings*, 50, 716–727. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.624>
- Cormack, J., & Sweet, K. S. (2016). Parametrically Fabricated Joints: Creating a Digital Workflow. *XX Congreso de La Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital-SIGraDi 2016*, 412–417. <https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2016-805>
- Davis, N. R. (2006). *Design of a CNC Routed Sheet Good Chair*. Massachusetts Institute of Technology.
- Demeter, K., & Matyusz, Z. (2011). The impact of lean practices on inventory turnover. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 154–163.
- Ebnöther, I. (2004). *SkinChair*. ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- Filson, A., & Rohrbacher, G. (2011a). Design intercalated: The AtFAB project. *International Journal of Design Science and Technology*, 18(2), 81–93.
- Filson, A., & Rohrbacher, G. (2011b). Design Offered Up : Control and Open Outcomes in a Digitally Enabled Design Process. In Y. Luo (Ed.), *8th International Conference on Cooperative Design, Visualization and Engineering* (pp. 7–13). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23734-8_2
- Filson, A., Rohrbacher, G., & Kaziunas France, A. (2017). *Design for CNC: Furniture Projects and Fabrication Technique* (P. Di Justo (ed.)). Maker Media.
- Fleming, E. D. (2010). Ritsy: Flat-Pack Furniture for the Urban Nomad. *Interior Design Program: Theses*, 1.
- Geng, A., Ning, Z., Zhang, H., & Yang, H. (2019). Quantifying the climate change mitigation potential of China's furniture sector: Wood substitution benefits on emission reduction. *Ecological Indicators*, 103(159), 363–372. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.036>
- Grič, M., Joščák, P., Tarvainen, I., Ryönänkoski, H., Lagaña, R., Langová, N., & Andor, T. (2017). Mechanical properties of furniture self-locking frame joints. *BioResources*, 12(3), 5525–

5538. <https://doi.org/10.15376/biores.12.3.5525-5538>

- Gros, J., & Sulzer, F. (1997). *50 Digital Wood Joints (CD rom)*. Editions dds.
- Gros, J., & Sulzer, F. (2001). *Furniture Industry Has to Reconsider all Products – Call it Customization Design*. 1–8.
- Haviarova, E. (2011). *Approach to furniture design education at Purdue University*. 43(73), 36–43.
- Haviarova, E., Uysal, M., Tasdemir, C., & Gazo, R. (2015). Determining Tension and Compression Strength and Basic Manufacturing Feasibility of CNC Router-cut Joints. *5th International Scientific Conference on Hardwood Processing*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hoadley, R. B. (2000). *Understanding wood: a craftsman's guide to wood technology*. Taunton press.
- Iraldo, F., Griesshammer, R., & Kahlenborn, W. (2020). The future of ecolabels. In *The International Journal of Life Cycle Assessment* (Vol. 25, Issue 5, pp. 833–839). Springer.
- Iritani, D. R., Silva, D. A. L., Saavedra, Y. M. B., Grael, P. F. F., & Ometto, A. R. (2015). Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry. *Journal of Cleaner Production*, 96, 308–318.
- Kim, J. (2019). *Assembly furniture*. University of Iowa.
- Koo, B., Hergel, J., Lefebvre, S., & Mitra, N. J. (2017). Towards Zero-Waste Furniture Design. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 23(12), 2627–2640. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2016.2633519>
- Kumar, S., Vichare, P., Nassehi, A., Dhokia, V. G., & Newman, S. T. (2009). Design and implementation of machine tool static error feedback model. *2009 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 660–664.
- Langová, N., Grič, M., Milch, J., & Šmidriaková, M. (2017). Experimental and theoretical analysis of impact of shape selected type of self-locking joints on their mechanical properties. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 59(1), 113–120. <https://doi.org/10.17423/afx.2017.59.1.11>
- Langova, N., Joscak, P., & Gric, M. (2013). Strength properties of self-backing furniture joints with shape adapted for the production by CNC technology. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Forestry and Wood Technology*, 83.
- Linkosalmi, L., Husgafvel, R., Fomkin, A., Junnikkala, H., Witikkala, T., Kairi, M., & Dahl, O. (2016). Main factors influencing greenhouse gas emissions of wood-based furniture industry in Finland. *Journal of Cleaner Production*, 113, 596–605. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.091>
- Lotti, G., Villani, V., Battilani, N., & Fantuzzi, C. (2019). machines interaction for CNC machines interaction for CNC machines. *ScienceDirect; IFAC PapersOnLine*, 52(19), 31–36. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.080>
- Malone, S., & Davidow, W. (1992). *The Virtual Corporation: Structuring and Revitalizing the*

- Corporation for the 21st Century* (Harper Paperbacks (ed.)).
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & William W., B. I. (1972). *The Limits to Growth*. Potomac Associates – Universe Books.
- Meeker, D. G., & Rousmaniere, A. (1996). DFMA and its role in the integrated product development process. *Massachusetts Institute of Technology*. <http://web.mit.edu/meeker/Public/DFMAandIPDP.pdf>
- Papanek, V. J. (1972). *Design for the Real World: Human Ecology and Social Change* (1^o). Pantheon Books.
- Piller, F. T. (1998). *Kundenindividuelle Massenproduktion, die Wettbewerbsstrategie der Zukunft*. Hanser.
- Pine, B. J. (1993). *Mass Customization, The New Frontier in Business Competition*. Harvard Business School Press.
- Piore, M., & Sabel, C. F. (1984). *The Second Industrial Divide: Possibilities for Prosperity*. Basic Books.
- Postell, C. (2012). *FURNITURE DESIGN* (2^o). JOHN WILEY & SONS INC.
- Ross, R. J. (2010). *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material (Centennial Edition)*. Forest products Laboratory. United States Department of Agriculture.
- Samboro, M. Y. A., & Kuswanto, D. (2020). Snap-Fit Joinery System Using Pinewood Material Elasticity Properties. *Journal of Engineering and Technological Science*, 52(6), 798–804. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2020.52.6.2>
- Sass, L., Michaud, D., & Cardoso, D. (2007). Materializing a Design with Plywood. *ECAADe 25*, 629–636.
- Saul, G., Lau, M., Mitani, J., & Igarashi, T. (2011). SketchChair : An All-in-one Chair Design System for End Users. *Proceedings of the Fifth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, 73–80. <https://doi.org/10.1145/1935701.1935717>
- Schwarzmann, W. (2020). Traditional Knowledge on Modern Milling Robots. *ECAADe 38: Anthropologic, Architecture and Fabrication in the Cognitive Age, 2*, 597–604.
- Sebera, V., & Šimek, M. (2010). Finite element analysis of dovetail joint made with the use of CNC technology. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 58(5), 321–328. <https://doi.org/10.11118/actaun201058050321>
- Šimek, M. (2018). Experimental development of wood products. *11th International Scientific Conference; WoodEMA 2018; Increasing the Use of Wood in the Global Bio-Economy*, 253–258.
- Šimek, M. (2017). Furniture testing for higher competitiveness, better quality and design. *10th International Scientific Conference WoodEMA 2017; More Wood, Better Management, Increasing Effectiveness: Starting Points and Perspective.*, 106–113.
- Šimek, M., Dlauhy, Z., Sebera, V., Novák, V., & Koreny, A. (2015). *Determination of Displacement in a Loaded Wooden Chair by Using Digital Image Correlation* (Vol. 66, Issue

2, pp. 129–136). <https://doi.org/10.5552/drind.2015.1411>

- Šimek, M., & Koreny, A. (2010). Chair design for CNC manufacturing – Skeleton Chair. *International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe- Timber Committee.*, WS75 (1-6).
- Šimek, M., Koreny, A., Dlauhy, Z., & Mihailovic, S. (2013). “Possibilities of CNC Manufacturing with Regard to Furniture Design.” *24 Th International Scientific Conference; Wood Is Good - User Oriented Material*, 157–165.
- Šimek, M., Koreny, A., Sebera, V., Tippner, J., & Dlauhy, Z. (2014). Development of Ready-to-Assemble Furniture Constructions. In S. of W. S. and Technology (Ed.), *57th SWST International Convention; 7th Wood Structure and Properties Conference; 6th European Hardwood Conference Technical University in Zvolen* (pp. 836–846). Technical University in Zvolen.
- Šimek, M., & Sebera, V. (2010). Traditional Furniture Joinery from the Point of View of Advanced Technologies. *International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe- Timber Committee.*, ws-74 (1-9).
- Steffen, D. (2003). *C_Moebel, Digitale Machart und gestalterische Eigenart* (Anabas Ver).
- Steffen, D. (2006). Use-Inspired Basic Research : Improved Understanding and Innovative Products - a Case Study. *Design Research Society International Conference*, 0326 (1-12).
- Steffen, D., & Gros, J. (2003). *Technofactory versus Mini-Plants: Potentials for a decentralized sustainable furniture production*. 13.
- Symeonidou, I. (2018). Furniture Design with Digital Media. A participative educational experiment of digital craftsmanship. *ECAADe 36: Computing for a Better Tomorrow*, 2(September), 417–426.
- Tankut, N., Tankut, A. N., & Zor, M. (2014). Finite Element Analysis of Wood Materials. *Drvna Industrija*, 65(2), 159–171. <https://doi.org/10.5552/drind.2014.1254>
- Tannert, T., Schmidt, D., Arquitectura, E. De, Mayor, U., & Lam, F. (2008). CNC Timber Processing in Research and Teaching. *The 51st International Convention Pf Society of Wood Science and Technology, May*, paper WS-52 (1-9).
- Tian, R., Stermann, S., Chiou, E., Warner, J., & Paulos, E. (2018). MatchSticks : Woodworking through Improvisational Digital Fabrication. *CHI 2018*, 1–12.
- Uysal, M. (2014). Furniture Design and Product Development Principles Considering End-of-life Options and Design for Environment Strategies. *Purdue E-Pubs*, 1–120.
- Uysal, M., Tasdemir, C., Haviarova, E., & Gazo, R. (2019). Manufacturing feasibility analysis and load carrying capacity of computer numerical control cut joints with interlocking assembly feature. *BioResources*, 14(1), 1525–1544. <https://doi.org/10.15376/biores.14.1.1525-1544>
- Vamvakidis, S. (2009). Légumes Urbaines : Digital Modeling Transformations + Prototype Fabrication Based on the Egg Crate Construction Method. *ECAADe 27: Computation: The New Realm of Architectural Design*, 313–322.

- Wasko, C., Sharma, A., & Pui, A. (2021). Linking temperature to catastrophe damages from hydrologic and meteorological extremes. *Journal of Hydrology*, 602, 126731. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126731>
- Wick, R. (1982). *Pedagogía de la Bauhaus*. Alianza Forma.
- Yan, W., Zhao, D., & Mehta, A. (2021). Fabrication-aware Design for Furniture with Planar Pieces. *Computer Graphics Forum*, 32(2 PART3), 317–326. <https://doi.org/10.1017/xxxx>

APÉNDICE 1: Materiales adicionales

A1.1. (1998-2006) C-Lab at HfG Group. Germany

A1.1.1. #1. (1997) 50 Digital Wood Joints

# 1 1997	50 Digital Wood Joints	Gros, Jochen Sulzer, Friedrich	C-Lab at HfG Germany
-------------	------------------------	-----------------------------------	-------------------------

Gros, J., & Sulzer, F. (1998) . *50 Digital Wood Joints*. Stuttgart, Germany: Deutsche Verlags-Anstalt DVA.

En el marco de un contexto en ebullición sobre el tema que nos ocupa y a pleno rendimiento se publica, en 1997, *50 digital Wood joints*, título que recibe el trabajo más relevante de este proyecto, que recoge un gran número de casos prácticos que utilizarán posteriormente como base muchos de los investigadores futuros. Entre otras aportaciones muestran 50 ensambles digitales en madera, junto con aplicaciones prácticas en muebles diseñados íntegramente para producirse con fresadora CNC.

Uno de sus éxitos es además la publicación de todos los archivos vectorizados en distintas extensiones para ser abiertos en varios programas de modelado digital. Explican también la maquinaria y el software utilizado, así como una pequeña guía para poder fresar de manera autónoma. Tanto los escenarios propuestos como el mobiliario o las uniones en madera en los que trabajaron no eran destinados para soluciones patentadas preparadas para poner en el mercado, sino que pretendían ser una inspiración para el futuro enfoque digital, y como veremos en otras publicaciones de otras universidades, ha resultado ser verdaderamente la inspiración esperada.

A1.1.2. #2. (2001) Furniture Industry has to reconsider all products – Call it Customization Design

# 2 2001	Furniture industry has to reconsider all products–call it customization design	Gros, Jochen	C-Lab at HfG Germany
-------------	--	--------------	-------------------------

Gros, J. (2001). Furniture industry has to reconsider all products–call it customization design. In *World Congress on Mass Customization and Personalization, HKUST, Hong Kong University of Science and Technology*, Vol. 1, 1-8.

La siguiente publicación, y primero de sus tres artículos, corresponde a “*Furniture industry has to reconsider all products – Call it Customisation Design*”, en el año 2001. Se recuerda que este trabajo fue publicado en las Actas del Primer Congreso de Personalización en Masa, en Hong Kong; de ahí la introducción de ciertos conceptos al hilo de este encuentro. Pese a que ya se han expuesto de manera conjunta muchos de los temas se completarán con alguna información en cada artículo.

En éste en concreto, ponen en conocimiento de la comunidad científica las primeras reflexiones teóricas, desarrollos y conclusiones que iban surgiendo hasta el momento durante el proyecto. Los conceptos principales que comienzan a barajar son los mencionados anteriormente sobre la Personalización en Masa y el rediseño de los productos en los que el equipo había profundizado. En el caso del mobiliario, puesto que se están centrando en todo momento en este sector, apuntan la necesidad de investigar sobre las uniones de forma para que se innove en el sector.

Como manera de materializar estos conceptos incluye varias de las iniciativas que se habían tomado hasta ese momento, como el mencionado *C_Lab*, con objetivos como el desarrollo de esos ensambles digitales de madera con el propósito de desarrollar mobiliario compatible con CNC.

Todo esto englobado en el núcleo central de la investigación que es la producción de diseños de manera sostenible. Hay que recalcar cómo en esas fechas tan tempranas ya se menciona este concepto, al que se dedica un capítulo aparte en esta Tesis, no obstante, se referenciará o se nombrará en la mayoría de los trabajos aquí expuestos.

Para poder aplicar los conceptos mencionados, Gros alude a la necesidad de un cambio de estilo orientado a las posibilidades y condiciones de la producción digital puesto que, todo lo diseñado hasta ahora sigue las formas de la producción industrializada. Estas nuevas maneras de producir demandan nuevos diseños y objetos. Llevado al campo de mobiliario afirman que las uniones constituyen un punto de especial relevancia, en lo que coincidirán con otros autores que se mencionarán, cuando proceda, en esta Tesis. Este interés en las uniones es lo que les incita a crear y publicar los mencionados 50 ensambles digitales que constituye el fruto directo de las investigaciones habidas durante el evento sobre ensambles japoneses y europeos, y que posteriormente rediseñaron los alumnos del *C_Lab* para ser susceptibles de producir con CNC de 3 ejes. Entre los ejemplos de muebles con algunos de los ensambles rediseñados que muestra el artículo destaca la ya mencionada nueva versión del taburete de Max Bill, que denominaron *C-Stool*, de 1993.

Como otros autores, Gros no sería menos y menciona a Ikea para, en este caso, elogiar su sistema de auto ensambles, como concepto que podría ser replicable también para este tipo de ensambles. Al contrario de lo que ocurriría con las instrucciones de montaje de Ikea, con este tipo de mobiliario que proponen, su montaje sería casi intuitivo, y además se podrían valer de la tecnología mediante realidad virtual que ya entonces se mencionaba.

El hecho de crear este tipo de mobiliario los lleva a pensar en el posible ahorro de material que conllevaría diseñar con esta tecnología, ya que es posible visualizarlo y planificarlo con antelación gracias a la digitalización. Lo denominan Diseño Ligero debido a su capacidad de controlar la cantidad de elementos, ahorrando material mediante un configurador de medidas. Toda esta temática de ahorro de material tocaría de lleno gran parte de las investigaciones relativas al campo de la ingeniería de la madera. Como se comprobará, ya en esta época existían metodologías científicas para el dimensionado de piezas en mobiliario, pero según se irá comprobando, se trata de una disciplina que no era consultada por los autores de Categoría 3. De haberlo hecho se hubieran creado sinergias muy interesantes entre las dos disciplinas.

En cuanto a las visiones futuras que plantea este artículo, pasan por dos cuestiones como son el futuro de las fábricas y los procesos de diseño. Para esto explican el concepto al que ya venían prestando atención con anterioridad que denominan Tecnofactorías como centros de procesado y producción con distintas CNCs. Estarían a mitad entre una carpintería y una fábrica, de manera que se descentralizara la producción mobiliaria. Se refieren también en el documento a las experiencias piloto que habían tenido con otras empresas privadas como con la italiana Op top o con la alemana Invido, mencionadas anteriormente. Se disponía de algunos diseños restringidos, con limitadas formas de personalización que, tras la visualización virtualizada, era posible enviar en 48 horas.

En 1998 explican que *C_Lab* se une con unas diez empresas constituyendo *NewCraft* como una colaboración entre la Universidad y la empresa privada para desarrollar productos y concursos con la finalidad de fomentar esta industria. En esos años, aluden en el artículo, que entre el 15% y el 20% de las carpinterías tenían CNC. Por ello se necesitaba una cooperación para el uso de esta nueva infraestructura por parte del antiguo gremio de la carpintería. Crecía así la idea de descentralización de manera que creían que era mejor tener dos ordenadores con CNC en varios lugares que múltiples máquinas en un mismo lugar que centralizaran la producción.

Para todo este nuevo panorama y ayudados de toda la base teórica mencionada, describen y acuñan nuevas terminologías para la estructura de estas nuevas empresas y perfiles que surgirían tras la implantación de esta maquinaria de trabajo:

Cliente como co-diseñador, es una forma de involucrar al cliente en la personalización de algunos diseños preestablecidos como puede ser el material, el color o el acabado. No obstante, indican que, consultados ciertos expertos en máquetin creen que el cliente no está capacitado o motivado. Es lo que denominan *Design it yourself* en comparación con otro concepto en mobiliario anterior a estas fechas y del que se hablará más adelante, *Do-it-Yourself*.

Forma adecuada: sería el resultado de que un diseñador tuviera contacto directo con su cliente para personalizar su diseño obteniendo retroalimentaciones continuas. La figura clásica del diseñador desaparecería según ellos.

Explorador: una persona que no crea nada nuevo, sino que trabaja sobre formas y técnicas preestablecidas sobre los productos para corroborar que son construibles. De esta manera todos los productos son versiones.

Consultor de diseño: contratado por horas por el cliente ya que necesitará ayuda profesional para configurar sus productos.

Publicistas de producto: No realiza diseños sino productos virtuales de manera global y se modifica individualmente por clientes locales.

Cabe mencionar que mucha de esta terminología y las figuras explicadas se volverán a tratar con el otro Grupo de Investigación, catalogado también en la disciplina del Diseño, pues existe gran similitud entre sus proyectos. El Grupo AtFAB at UK, con poco más de diez años de diferencia, escribe sobre figuras similares, de ahí el interés comparativo.

A1.1.3. #3. (2003) C_Moebel

# 3 2003	C-Moebel - Digitale Machart und gestalterische Eigenart	Steffen, Dagmar	Gros, Jochen Eisermann, Jan	C-Lab at HfG Germany
-------------	---	-----------------	--------------------------------	-------------------------

Steffen, D., Gros, J., & Eisermann, J. (2003) (Buchanan & Buchanan, 2001). *C-Moebel - Digitale Machart und gestalterische Eigenart*. Frankfurt am Main, Germany: Anabas.

El libro *C_Moebel*, 2003, resume y refleja las discusiones y desarrollos previos desde la publicación del proyecto de *C_Lab*. unos diez años atrás. Recoge las aportaciones de los diferentes profesionales mencionados como carpinteros, diseñadores, profesores y estudiantes, considerando las posibilidades del diseño orientado a la producción de muebles, para que las ventajas de la tecnología CNC puedan ser efectivas hacia nuevas formas y nuevas conexiones. Está dirigido a quienes se dedican al diseño de muebles e interiores, en particular a los interesados en herramientas digitales de diseño, fabricación y venta de muebles. Pretenden demostrar cómo estas herramientas asistidas por ordenador, además de las tecnologías digitales de la información y la comunicación, podían favorecer, ya entonces, un estilo de producción que denominaron Producción en Masa a Medida. Se entendía como producción descentralizada, flexible e individualizada de piezas únicas y de pequeñas series, a precios competitivos.

Además de los fundamentos teóricos, el libro presenta los resultados prácticos del proyecto interdisciplinario conocidos hasta ese momento. Sin duda alguna, ha sido un inconveniente que este libro, que recopila la mayoría de los escritos y publicaciones hasta aquí estudiadas, no haya

sido traducido del alemán, lo cual ha restado relevancia para un indudable éxito en la comunidad internacional.

A1.1.4. #4. (2003) Technofactory versus Mini-Plants: Potentials for a decentralized sustainable furniture production

# 4 2003	Technofactory versus Mini-Plants: Potentials for a decentralized sustainable furniture production	Steffen, Dagmar Gros, Jochen	C-Lab at HfG Germany
-------------	---	---------------------------------	-------------------------

Steffen, D., & Gros, J. (2003). Technofactory versus Mini-Plants: Potentials for a decentralized sustainable furniture production. In *MCPC03: The 2nd International Conference on Mass Customization and Personalization*, 6-8.

Comentan cómo el mercado alemán del mueble ha quedado dominado por el negocio industrial, en perjuicio del mueble artesano que va decreciendo durante el siglo XX al no poder competir con éste. La aparición de las CNC y las tecnologías digitales se contempla como una oportunidad para los artesanos ya que disponen de una tecnología suficiente y comparable a la que posee la industria, de tal manera que serían capaces de competir con la individualización del producto. Afirman que la mediana y pequeña empresa podrían reconquistar el mercado, pues entre el 10 y el 20% de las carpinterías poseen esta tecnología.

Citan la publicación de su libro *C_Moebel* como ensayo experimental que fortalece dicha posición en el experto mercado de negocios, compitiendo con proveedores industriales. Ofrecen su experiencia como guía que recoge dos años de resultados en el sector mediante el proyecto *C_Furniture*, llevado a cabo por C-Lab. Queda plasmada una estrategia contrastada de producción en masa a través de una red CAD/CAM de soportes para carpintería, y una nueva competencia que incluye a productores artesanos. Dicha competencia se basa en el arte de la personalización con nuevas tecnologías. Citan también en este documento a NewCraft y la que evidencian la mencionada colaboración con empresas con experiencia en CNC que tienen el propósito de establecer una segunda manera de producir con mayor calidad, basada en CAD/CAM para la realización de muebles a medida, con precios competitivos, como beneficio adicional a sus negocios tradicionales. Lo describen como una nueva forma de trabajo artesanal digitalizado que respeta el diseño y la producción con un nuevo planteamiento de comunicación con el cliente y canales de distribución.

El escenario de esta producción virtual reflejaría el cambio estructural que propicia la tecnología con el ejemplo de producción de mobiliario. Abarca la cadena de proceso completa desde el desarrollo del producto y la comunicación con el consumidor hasta la producción y distribución. La implementación de toda esta tecnología en las empresas afirma que beneficiaría la regionalización de la producción ya que la proximidad mejora el entendimiento mutuo. Esto es algo prometedor ya que, en expresión suya, te sitúa en los deseos del consumidor. Con el concepto de proximidad comenzaban a darle importancia en esas fechas a las economías locales, contrariamente a lo que sucedería años después centralizando las producciones en oriente.

Nuevamente pasan a describir en el trabajo otras figuras que nacen de estas nuevas empresas tecnológicas, ampliando las que se describieron en el artículo anterior:

Productos virtuales: elementos de mobiliario ya testados y construibles por CNC que un cliente vería virtualmente a través de distintas fotos. Serían archivos preparados para el corte con fresadora. Son muebles definidos por un programa de producción digital que se configura en otro lugar del mundo según las necesidades del usuario como color, tamaño o acabado, y se envía por internet. Añaden el transporte de datos por internet como factor de la sostenibilidad del proyecto, más rápido y más barato que por autopista.

Publicador de producto: sería un directorio electrónico con toda la colección de productos virtuales. Un intermediario entre lo que ofrece el diseñador y sus diseños, y la demanda de diseño de pequeños y medianos productores.

Tecnofactoría: como ya se mencionó, sería el lugar provisto con una CNC que sería el sitio donde se cortan y producen los productos virtuales que ha visto el cliente. Descentralizadores.

Galería de productos: sería una combinación entre esa presencia digital de los diseños y una galería local para que el cliente viera ejemplos de materiales, acabados o cualquier consulta práctica al respecto; al no necesitar lugares de almacenaje puede situarse dentro de las ciudades. Requiere menos espacio de exhibición y menos margen que una tienda tradicional. Pueden estar vinculados a una tecnofábrica y así ofrecer las ventajas de vender fuera del lugar de trabajo.

Cliente como codiseñador: a lo ya descrito en el anterior artículo se citan dos conceptos como “Prosumidor” y “Co productor” que provienen de Toffler (1980) y Davidow y Malone (1992) respectivamente.

Los enfoques expuestos por Steffen y Gros, hacia una empresa que se encamina a lo digital, van de la mano de una demanda ecológica y de un desarrollo sostenible local. Se podrían extraer cuatro puntos que sustentan las ventajas de producir con fabricación digital que aporta este artículo:

- Mediante la idea de la descentralización de la producción tratan de reducir la importación y exportación de materiales, fomentando la expansión de las economías locales. Referencian a Bietter (1999) como defensor de esta idea.
- Es posible fabricar mobiliario de alta calidad personalizado y con servicios conectados que añaden valor estético y práctico por más tiempo.
- Además de una alta calidad en la producción y en los materiales usados, se tiene la posibilidad de reparar cualquier pieza dañada por lo que se aumenta la durabilidad o vida útil de los muebles.
- Otro hecho que propicia esto último es la posibilidad de personalización o co-diseño que permite que el cliente se involucre en el proceso de creación fortaleciendo su vínculo con el mueble.

Por todo lo expuesto queda valorada en justa medida la publicación de *C_Moebel*, centrada en investigar para una producción futura. Desarrollan una colección virtual de mobiliario a través del mencionado directorio electrónico organizada en dos fases. Un primer desarrollo de principios de construcción y formas básicas, y en segundo lugar la personalización de los muebles pudiendo elegir tamaños, materiales, colores, acabados o grabados superficiales con CNC. La optimización de los diseños para ser producidos con esta tecnología fue posible gracias a la cooperación de la citada asociación *NewCraft*, que estaba a cargo de la producción a medida y distribución.

Al igual que lo enfatizaron en el artículo anterior, en éste también afirman que para que sea factible construir con estas nuevas tecnologías, es de vital importancia los ensamblajes digitales en madera, ya que consideran que son uniones integradas elementales, así como uniones constructivas de diseño. Esta importancia de los ensamblajes como unidad elemental de construcción de mobiliario, con un sentido entre estructural y estético, se verá más adelante que el Grupo AtFAB at UK, también lo subraya. En los artículos de Categoría 1, relativos a la ingeniería de materiales, también se afirma que son los puntos más importantes para la resistencia estructural, según se irá documentando en cada ocasión. Siguiendo con el artículo de Steffen y

Gros, además de los ensamblados también señalan algo a tener en cuenta para construir un mueble: el doblado o plegado de algunas piezas para constituir estructuras.

Destacan que todos estos muebles rediseñados para ser construidos por CNC es posible configurarlos vía internet, algo muy novedoso y en pleno auge en esas fechas. Los 20 modelos que desarrollaron sería posible verlos en fotografías y como realidad virtual, de manera que los clientes van eligiendo posibles variantes para crear su propio mueble. Obtienen el precio de lo configurado y se le da la orden a *NewCraft* para su construcción.

Es interesante incidir en que hasta ese momento la fabricación de muebles se llevaba a cabo a través de un catálogo de fotos con diversas configuraciones que se mostraban al cliente, y tras la configuración del vendedor se obtenía el diseño final con su precio. Todo este proceso gracias a internet, C-Lab lo proponía automatizado, otra de las aportaciones posibles con la digitalización, algo impensable con anterioridad de esta multifuncionalidad. Además, como los centros de producción se encontrarían relativamente cerca del cliente sería posible consultarles con un trato directo, ganando en comunicación acerca de algunas partes virtuales del proceso.

Una vez se introduce esta tecnología, es interesante diferenciar entre varias figuras que se formarían en el negocio del mobiliario como las carpinterías, las tecnofactorías y las miniplantas, nombradas en el título de este artículo. Las miniplantas fomentarían la descentralización y se focalizaría exclusivamente en producir a medida su colección y con contacto directo con el cliente, dándole también servicio durante el ciclo de vida del producto. Toda la fabricación estaría llevada por dos trabajadores y un asistente de ventas. Si se asocian en franquicias piensan que funcionaría mejor, con más servicios como el desarrollo de productos, componentes de fabricación, etc. Las miniplantas establecerían comercio de negocio cruzado, abierto a diversos materiales y tecnología. Las carpinterías estarían enraizadas a su tradición artesana manteniendo el valor añadido de su experiencia, pero con la capacidad de procesar alta tecnología. Afirman los autores que lo más obvio, y de mucho interés, sería establecer una cooperación y red de trabajo que aunara varios mercados bajo el mismo techo en una tecnofábrica.

Por todo esto, al fabricante de muebles no solo se le requeriría competencia artesanal sino también como artista artesano con competencias de CNC. Otra idea que plantean es la Integración de las CNC como herramienta de Arte y diseño. Estos planteamientos novedosos requieren formar a estos nuevos carpinteros digitales para que adquieran las competencias mencionadas; no solo bastaría con la máquina, se precisaría formación.

Pero como todo proyecto tiene sus fortalezas y debilidades también tratan de mostrarlas para un mejor conocimiento entendimiento del proyecto. Se reflejan resumidas en los siguientes puntos.

- La colección de *NewCraft* no generó suficiente demanda que permitiera lanzar una producción razonable seriada. Por ello aluden a una posible solución con la realización de un plan adicional de máquetin.
- Algo que facilitaría las ventas, dicen, sería asociar los establecimientos de Galería de productos con las Tecnofábricas.
- Mayor actividad en el Publicador de productos de manera que haya un responsable de la colección para introducir nuevos productos, actualizarlos, mantener los contactos con los diseñadores o tratar los derechos de autor de los diseños.
- En Para esta transición de la personalización en masa, la industria perdería los beneficios de la eficiencia de producir en masa.
- Posible aumento del coste del producto ya que en ocasiones no es producto final sino un desarrollo de diferentes variantes planificadas.

- Al ser productos hechos a medida presentan más complejidad para producir.
- Esta manera de producir no se simplifica entregando un producto de la fábrica a la tienda, sino que hay que contar con el cliente.
- El negocio podría cambiar completamente la manera de producir, el márketing y los servicios hacia el cliente.
- Si al principio la demanda es baja, con pedidos de pequeñas cantidades, el cálculo no debería estar basado en ese número de pedidos sino orientado en los números de producción general.
- Uno de los grandes problemas que encuentran es generar un número mínimo de encargos para lo que sería necesario realizar márketing y *branding* adecuado.
- Este tipo de producción personalizada, pero de manera masificada también sería factible, debido a que no es previsible que haya una demanda en masa en un lugar específico o región, ya que 5, 10 o 50 pedidos sería racional. Es decir, se repartirían las producciones de los pedidos por la geografía según demanda que responderían las tecnofábricas más cercanas.
- Produciría mayores beneficios situar los establecimientos de galerías de productos en el centro de las ciudades porque atraería mayor atención, aunque también implique más esfuerzo. Añaden que las tiendas normales suelen añadir un 300% de coste por exponer en sus espacios.

En un proyecto tanta envergadura como el que se está analizando resulta de gran ayuda para investigadores la inclusión de los inconvenientes que exponen, según sus propias apreciaciones. Aporta un valor adicional al trabajo.

A1.1.5. #7. (2006) Use-Inspired Basic Research: Improved Understanding and Innovative Products - a Case Study

# 7 2006	Use-Inspired Basic Research: Improved Understanding and Innovative Products - a Case Study	Steffen, Dagmar	C-Lab at HfG Germany
-------------	--	-----------------	-------------------------

Steffen, D. (2006) Use-Inspired Basic Research: Improved Understanding and Innovative Products - a Case Study, in Friedman, K., Love, T., Côte-Real, E. and Rust, C. (eds.), *Wonderground - DRS International Conference 2006*, 1-4 November, Lisbon, Portugal.

Como se comentó en el resumen, la mayoría de las explicaciones de base e hitos seguidos ya se han explicado con los anteriores trabajos por lo que se incidirá en nuevas informaciones o en puntos de vista algo más completos por su mayor reflexividad.

Entre ellas es remarcable su insistencia en la trascendencia de los cambios económicos y culturales que traerán las tecnologías digitales mencionadas, comparables a los ocurridos en las grandes transformaciones de los siglos XIX y XX. No obstante, como se comentará más adelante, algunos de los cambios anunciados como inminentes, todavía hoy, transcurridos más de 20 años, no se han producido. Gros, quien se encuentra citado en la mayoría del texto, calificaba como un reto tecnológico y económico la introducción de las ventajas de la producción digital, lo cual persiste como tal, es decir, sin una completa instauración. Tampoco son palpables aún las serias consecuencias para el diseño industrial que auguraba.

Esta transición de modelo afirma Steffen, es comparable históricamente a lo sucedido con la artesanía y la industrialización a principios del siglo XX, pero ahora acuña esta transición como el paso entre lo industrial y lo post industrial. Si antaño se adaptaron los diseños a la industrialización, ahora se adaptarían los diseños industrializados a la post industrialización.

Gracias a estas herramientas digitales, Gros manifiesta que fomentarían la personalización de productos hechos en pequeñas series a medida.

Nuevamente se vuelve a enfatizar en este artículo la importancia que hay que prestarles a los ensambles para producir mobiliario con CNC. De ahí lo remarcable de la tarea de estudiar y modificar los ensambles tradicionales europeos y japoneses de forma que se pudieran producir en una sola pasada de fresa en una CNC de 3 ejes. También dice Steffen que estos ensambles digitales de madera reemplazan ajustes especiales, reducen coste de producción y facilitan el montaje de mobiliario; y tratadas como juntas integradas, se convierten tanto en elementos constructivos como en características formales del diseño, como ya se mencionó anteriormente. Estas últimas son relevantes puesto que van a definir, en rasgos generales, la estética tanto de los ensambles en sí mismos como de ciertas piezas que se producen con esta tecnología.

Se verá que muchos de los trabajos estudiados tratan de tomar como un valor añadido el reflejo en el diseño de un mueble de la técnica utilizada de corte. No obstante, en ocasiones, resulta excesivamente patente, pues quizás no se ha logrado integrar este inconveniente que condiciona la estética de manera adecuada en los diseños. Es éste el primer autor que da una pincelada a este respecto. Observando los muebles que exponen, hay en ellos ciertos ensambles con unas formas tan predominantes que llegan a condicionar la estética general del mueble, de manera muy marcada. Esto constituye uno de los puntos débiles de esta tecnología, pues muchos autores no logran integrar tales limitaciones, de manera adecuada, en sus proyectos, sin que el ensamble tome excesivo protagonismo estético. Toda esta cuestión es discutida por varios autores y se ponen en relación en el epígrafe 3.1.2.

Otro principio para construir muebles con esta técnica, que se mencionó en el artículo anterior, es la técnica del doblado o plegado, profundizando un poco más en su forma de configuración. En este caso Steffen menciona que los tableros llevan un recubrimiento flexible en una cara, para que fresando por la cara inversa, y con una fresa en forma de V, sin llegar a tocar el recubrimiento, actúe como unión cuando se doblan ambos planos.



Cómoda con superficie fresada con diseño del escultor Frank Reinecke

Una vez ya estaban en marcha las primeras empresas que comenzaban a personalizar en masa, ofrecían solo variaciones superficiales sin un trato simbólico ni pluralidad real. Para fundamentar esto Gros propone o acuña el *New Art-n-Craft* o Nuevo Artes y Oficios con la finalidad de crear formas auténticas de productos diferenciados e individualizados. Como ejemplo se experimentó con la realización de una cómoda decorada con un relieve del escultor Frank Reinecke de manera que se escaneó una foto simplificada a blancos y negros, vectorizando sus formas en un archivo

.dxf para que pudiera ser manipulado por los programas CAM de la CNC. Convirtiendo estos blancos y negros en llenos y vacíos se fresó la superficie del mueble.

Con ejemplos como este Gros proclama la hipótesis de que las herramientas digitales, por primera vez en la industria, incrementarán la competitividad de la producción descentralizada del mercado de la carpintería. Y afirma que los movimientos artísticos pasados como el *Arts and Crafts* en el siglo XIX, el *HadiCraft* de la década de 1970 y el *New Design* de la de 1980, perdieron su auge por su inferior productividad.

Gracias a estas nuevas técnicas, y tras análisis profundos ya mencionados, en economía regional, ecología, trabajo social y aspectos históricos del diseño, queda probado, según Steffen, que el cambio tecnológico está al unísono con las demandas ecológicas y con las metas para un desarrollo sostenible. Por ello alude a la necesidad de preparar a las regiones para el futuro ya que habrá un incremento del ciclo económico local produciéndose menos importaciones y exportaciones de materiales.

Además, la mencionada descentralización que propicia el uso de este modelo de producción de mobiliario afirma Steffen que ofrece una perspectiva significativa en la sociedad, en particular a la clase trabajadora de estos sectores tan mermados en las últimas décadas. Esta nueva forma de mercado contribuye a soluciones que son necesarias y urgentes en un país como Alemania que, recuerda Steffen, tiene en ese momento mucho desempleo.

Con toda esta perspectiva, este mismo autor pasa a mencionar todo lo relativo a *C_Lab* y *NewCraft* como caso práctico con sus consecuencias y reflexiones que ya se mencionaban en los anteriores artículos. Por medio de este sistema, además de una nueva manera de proyectar productos, se va a contribuir y a propiciar la necesidad de crear trabajos cualificados y un desarrollo sostenible regional. Como ya se ha mencionado *C_Lab* es el fruto de una investigación aplicada y de un diseño experimental en el que Steffen recoge de manera extensa algunas ideas que ya se han mencionado y otras nuevas que las complementan. Resumidas de forma muy conceptual son ellas:

- *C_Lab* acompaña una investigación que se centra en un problema descubierto en una clase general de productos o situaciones con la finalidad de buscar principios o reglas.
- Focalizan la cuestión de los efectos concretos de las tecnologías digitales en el diseño de mobiliario.
- Con base en la tecnología digital y los principios descritos en la literatura económica, entre las diferentes hipótesis se propuso el diseño de ensambles de madera para CNC. El siguiente paso fue transferirlo al diseño de mobiliario experimental.
- Gros y *C_Lab* desarrollan objetos que incluían dichas hipótesis y así serán considerados como un componente de la investigación del diseño.
- Según Michael Biggs (2002) el diseño avanza usando texto y objetos, de manera que no solo escribiendo ni solo ejecutando es suficiente para representar un concepto completo. Por lo que justifica todos los ámbitos producidos a lo largo del proyecto.
- El rol del producto en el contexto del diseño sirve como prueba hipotética para verificarlo o para desaprobarlo. En cualquiera de los dos casos incluso siendo refutado contribuyen al conocimiento.
- Las cualidades formativas específicas de una nueva tecnología deben ser interpretadas creativamente en base al conocimiento previo. Sin esta interpretación por parte del diseñador la tecnología solo sería vista como

fabricación racionalizada. Hay muchos ejemplos en los que hay empresas que solo utilizan lo digital como optimización de procesos sin explotar otras vertientes.

- La hipótesis de C_Lab comienza como algo explícito. La coherencia del diseño fue claramente definido al principio y redefinido posteriormente si era necesario.

Una vez que Steffen describe todos los pormenores de la investigación también quiere reflejar algunos de los inconvenientes que se reflejaron tras la puesta en marcha del experimento ya que no todo fue un éxito.

- Pese a que dice que el proyecto piloto de NewCraft tuvo fallos, afirma que tuvo éxito como producto experimental, no como productos competitivos.
- Se comprobó que el desconocimiento o falta de experiencia en el mercado fue un obstáculo.
- Pese a que se diera el experimento por fallido daba por válida la tesis sobre la producción de mobiliario regionalizado. De hecho, remarca que a raíz del proyecto habían surgido varias empresas tipo tecnofábricas.
- También recoge que el poco éxito de NewCraft se debe a varios factores provenientes de campos aledaños, interferencias y componentes que no favorecieron en cuestiones prácticas, como los publicadores de producto o las galerías de producto que eran prácticamente inexistentes.

Para finalizar, Steffen hace referencia a unos conceptos del autor Strokes (1997) que establece la relación de investigar cooperar y no oponer. Para ello usa el llamado Cuadrante Pasteur:

- Cuadrante de Bohr, llamado investigación pura básica: una investigación solo por la búsqueda del entendimiento sin pensar en el uso práctico.
- Cuadrante Edison, Investigación pura aplicada: guiada solo por las metas sin análisis general de un campo científico o de un fenómeno.
- Cuadrante Pasteur, investigación básica inspirada: investigación que extiende las fronteras del entendimiento inspiradas en la condición de uso.

A1.2. Década 2000. Investigaciones aisladas

A1.2.1. #5. (2004) SkinChair

# 5 2004	SkinChair	Ebnöther, If	ETH Zurich Switzerland
-------------	-----------	--------------	---------------------------

Ebnöther, I. (2004) *SkinChair*. Diplomarbeit NDS Architektur, ETH Zürich.

Estudio analítico del trabajo:

Este trabajo, fechado en 2004, documenta una exploración sobre las posibilidades tecnológicas que ofrecen las máquinas CNC a los diseñadores de aquella época. Se centró en el concepto denominado prototipado rápido para el desarrollo de un diseño a escala 1:1. Este término se utiliza frecuentemente en fabricación digital, de lo cual se hablará en sucesivos trabajos, pero básicamente consiste en que gracias a la tecnología digital es posible fabricar cualquier objeto rápidamente para obtener una primera aproximación real a lo que se ha diseñado virtualmente. En el Capítulo 3 se relacionarán todas las investigaciones que implementan este término como método de trabajo (3.1.2.4.).

Las herramientas disponibles en esta Escuela Técnica para el desarrollo del proyecto eran: software basado en internet para creación de geometrías llamado *Flash-Fronted*; un programa vectorial para generar las partes automatizadas llamado *Solidworks*; un programa generador de trayectorias de corte o código G, para posibilitar su lectura por el programa de la fresadora denominado *Surfcam*, y la fresadora *Precix 3 axis* para producir el prototipo a escala 1:1. Hay que recalcar que C-Lab también nombra y describe mínimamente las herramientas técnicas mencionadas, como los programas CAD y CAM utilizados en sus investigaciones en el citado CD-Rom *50 digital Wood joints*. Lo relativo al desarrollo de software pertenece a la temática de Ciencias de la Computación, pero aquí Ebnöther, siendo diseñador, solo los nombra sin entrar en detalles de programación, puesto que no es su materia de estudio. En cuanto al recién nombrado código G, corresponde a los códigos de acciones que necesitan seguir los programas de mecanizado de las fresadoras.

La idea del trabajo surge de un TFG, en 1998, del propio autor, para conseguir el grado de Diseño con la idea novedosa en ese momento de producir una silla en minutos. Se pretendía llevar un stand en la Expo2001, con los medios mencionados, para que los visitantes pudieran tener una silla a su medida. Ellos mismos ensamblarían sus piezas para crear dicho mueble tratando de exponer técnicas de vanguardia.

Interesa la manera en que Ebnöther se enfrenta a resolver un problema con las técnicas del momento, con todos los inconvenientes que ello conlleva y se centra en documentarlo. La idea parte de la dificultad y elevado coste de realizar un molde para una posterior lámina de metal que adquiriera su forma por presión. Gracias a la facilidad de realizar prototipados rápidos con esta técnica de corte, Ebnöther lo resuelve. Dicho concepto se pone en relación con más autores en el Capítulo 3. Además, Ebnöther estaba interesado en crear una silla que no necesitara de herramientas para su montaje. Para configurar todo el proyecto tomó en cuenta varios diseños y estrategias de trabajo que le fueran útiles con las técnicas de aquel momento. Tomó *Lockheed*, de Mark Newson, como referencia para la materialización de la silueta con chapa. De *Ply*, de Jasper Morrison y *La Legerra*, las morfologías y configuración estructural por costillas simplificadas. De *Topos*, de Mark Naden, como muestra de costillas individuales orgánicas. De *Puzzle*, de David Kawecki (1999) se interesaron por su detalle de uniones entre sus piezas y como mueble *flat pack*. Este concepto del que se hablará más adelante y se pondrá en relación con otros autores en el

Capítulo 3, consiste en un tipo de mobiliario que se construye por piezas que vienen embaladas en cajas planas y que la producción de piezas con fresadora CNC es idónea para ello. Otras referencias que se toman para el proyecto provienen de la web UntoThisLast cuyo sistema de trabajo digital se fundamenta en una base de datos de diseños probados que se pueden manufacturar sin postprocesado. Esta empresa mencionada se abordará durante las investigaciones de AtFAB at UK, puesto que tienen un enfoque de trabajo muy relacionados. De *M Table*, de Gramazio-Kohler Architekten, un sistema experimental para producción de mobiliario, basado en configuración de un mueble mediante una base preestablecida de parámetros, con dimensiones, formas y posiciones, configurados a través de un móvil típico de la época, como lo fueron los famosos Nokia. Con todo lo expuesto en cuanto a referencias y técnicas digitales se configura el proyecto.

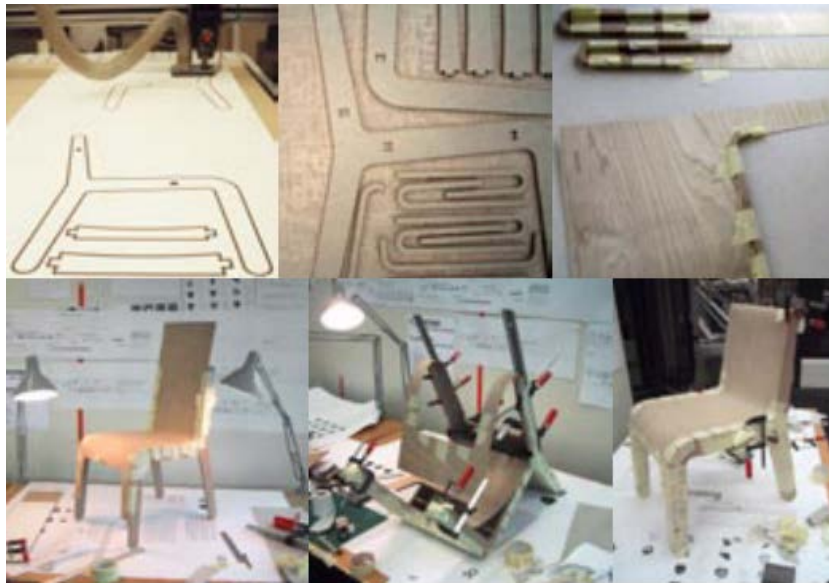
El interfaz del programa utilizado muestra un menú base para ir configurando un prototipo del que se puede visualizar sus transformaciones mediante una animación. Siempre se mantiene un sistema constructivo de siluetas o costillas en los extremos que quedarán envueltas por una chapa flexible que generará la forma. Solo se permite la visualización de las posibilidades configuradas sin poder cambiar el diseño. En la segunda fase se interactúa algo más pudiendo modificar parámetros dimensionales en el respaldo, asiento o altura, manteniendo siempre la misma estructura.

La tercera fase consiste en enviar los parámetros configurados como archivo de texto por correo electrónico a un productor con tecnología CNC. El transporte de datos por internet es mencionado por varios autores que se relacionarán en el Capítulo 3. Estos parámetros que viajan por la red son recibidos por el productor e introducidos en otro programa de vectorizado. Los programas de vectorizado son aquellos que posicionan los dibujos y demás elementos que se definan en un diseño, de manera que todos sus puntos estén localizados, referenciados y relacionados por coordenadas específicas; son conocidos también como programas CAD (*Computer-Aided Design*). Las trayectorias de corte con sus coordenadas, también denominado Código G, son generadas por programas CAM (*Computer-Aided Manufacturing*) para que finalmente las máquinas CNC los interpreten y se produzcan los movimientos controlados.

Una vez recibidos los datos mencionados por el productor o especialista utiliza el programa *Solidworks*, para generar la geometría ya que es un modelador totalmente paramétrico que permite cambios en medidas. Además, viene con una función matemática que desdoblaba la lámina o superficie que se genera alrededor de la silla que denominan como piel. Otra apreciación técnica de Ebnöther es la necesidad de definir bien las relaciones entre las piezas para obtener modelos muy simples de manera que se eviten resultados inesperados por los programas CAD. Debido a lo primitivo de los programas CAD de aquel momento, era necesario contar con programadores, en la medida de lo posible, puesto que los programas podrían dar soluciones con piezas problemáticas que provocarían errores. Había que controlar que los resultados que da el programa son soluciones viables en la realidad. El diseñador debe entender perfectamente los resultados de los programas para adelantarse a posibles fallos al convertirse en herramientas de experimentación por sus posibilidades nunca vistas antes. Por lo tanto, se va constatando esa necesidad de un perfil de diseñador o técnico cualificado digital que citaba ya C-Lab, que va emergiendo a medida que la técnica avanza.

Habrán más autores y grupos que mencionen esta necesidad de formación digital específica por parte de los nuevos diseñadores, como Mendel University, AtFAB at UK o Becerril et al. Subyace en el trabajo de Ebnöther pero no lo menciona específicamente. En base a esto, él aconseja trabajar con modelos de prototipado muy simples, o modelos finales en donde todo está definido previamente. Otra circunstancia muy común en estos años es la necesidad de tener ordenadores

potentes y rápidos, pues como comenta Ebnöther en ese momento, cualquier cambio en la relación de medidas de la silla puede llevar unos 20 segundos al programa para calcularlo. Hoy en día, la evolución de la técnica propicia que estas ecuaciones matemáticas se calculen en décimas de segundo y con relaciones mucho más complicadas.



Diversas etapas del proceso de producción de *SkinChair*. If Ebnöther, 2004.

Una vez se han dibujado en programas CAD todas las partes de la silla *SkinChair*, se crean las trayectorias de corte mencionadas con los programas CAM. Por lo tanto, *Surfcam* genera el código G que leerá la CNC para cortar las piezas. El material para las costillas estructurales de la silla son tableros MDF, y para la piel se cortó una chapa de 0,6 mm de madera contrachapada para aeromodelismo. Las iniciales MDF provienen de *Medium Density Fiber* para tableros muy utilizados para ser cortados por CNC, no siendo indicados, sin embargo, para piezas o ensambles que precisen de altas resistencias. Por otra parte, este material elegido en forma de chapa de madera, lo alaba el autor por su calidad estética, pero también comenta como inconveniente su vulnerabilidad contra punzonamientos.

Como conclusiones a la realización de este proyecto, Ebnöther valida el uso y posibilidades futuras de estas técnicas que han sido usadas para la realización de un prototipo, y adelanta o presupone que sería un gran logro poder producirlo directamente. Comenta que está interesado en la profundización del uso de las técnicas digitales, tanto por su versatilidad en la producción, como por las fuentes de inspiración para el encuentro de morfologías en diseño. Refiriéndose a las limitaciones que presentan las máquinas a la hora de producir le induce a reflexionar, en ese momento, que el diseño es el resultado de los configuradores de productos. Para él sería mucho más interesante si hubiera un elemento de sorpresa en el proceso de diseño. Pero el problema que plantea esta libertad de formas es que no se sabe con seguridad si podrían ser construidas con CNC las morfologías resultantes, como él mismo ya apuntó. De hecho, refiere que es algo que estaba sucediendo en aquel momento a diseñadores que trabajaban rompiendo métodos para el desarrollo de morfologías. Tales afirmaciones serán objeto de crítica en el mundo del diseño; hay diseñadores que se dejan absorber por el resultado de la máquina de manera que es ella quien domina al diseñador, y no al contrario. Sin duda, este debate sobre quién domina a quién continuará suscitando opiniones y literatura que excede del ámbito de esta Tesis doctoral.

Conviene añadir que, en lo concerniente a nuestro trabajo, se echa en falta la carencia de precisión sobre los problemas que se hubiesen presentado con los ensambles en madera pues, en general,

se han pasado por alto. Pudiera explicarse tal omisión por el nivel académico que correspondería a un trabajo de fin de máster. Ello en nada obsta, como ya se ha mencionado, su indudable interés como uno de los primeros trabajos académicos que documentan la materialización de un objeto virtual a mundo físico, tras el equipo de C-Lab at HfG.

A1.2.2. #6. (2006) Design of a CNC Routed Sheet Good Chair

# 6 2006	Design of a CNC Routed Sheet Good Chair	Davis, Noel R.	MIT USA
-------------	---	----------------	------------

Davis, N. R. (2006). *Design of a CNC routed sheet good chair*. Bachelor of Science in Art and Design Thesis, Massachusetts Institute of Technology.

Estudio analítico del trabajo:

Este trabajo profundiza en varias materias de interés práctico para la creación de una silla con CNC. Los temas sobre la iteración de su diseño de silla, datos prácticos para el fresado, desarrollo de ensamblajes y material en cuanto a su sostenibilidad, son aquéllos en los que se intensificará la información, mientras que en las fases de ergonomía o temas estructurales ésta será más resumida.

El proyecto se plantea para ser producido sólo con la fresadora CNC de 3 ejes, sin cambios de fresa, y con uniones de piezas que no requieran de sistemas adicionales de colas o tornillerías. Estas premisas sobre uniones entre piezas coinciden con las de esta Tesis. Es decir, un tipo de ensamblaje característico como lo es la caja y espiga, que consiste en que una pieza tenga un saliente o macho y la otra un vacío o hueco hembra donde se encaja el macho a presión. Cuando Davis opta por no usar sistemas adicionales de unión no se debe a ninguna vertiente específica como podría ser la sostenibilidad; quizás su motivación fuera simplemente poder construirlo en una sola máquina sin depender de otras. Aporta otros datos prácticos de interés para la producción como es la superficie de material necesario de 1,1 m² en 12 mm de espesor, con un tiempo de corte de 1,5 horas. Para su montaje, con el uso de una maza, indica que se necesita media hora, por lo que finalmente sumaría un tiempo de producción de 2 horas. El material es contrachapado de abedul cuyo precio total para una silla es de 16 dólares. El confort del diseño lo consigue mediante geometrías que abrazan a la morfología del cuerpo e introduciendo la capacidad de varias posiciones confortables de asiento. Pocas publicaciones aportan estos datos recogidos por Davis, que son cruciales para usuarios noveles a la hora de producir. Normalmente lo hacen los trabajos clasificados en Categoría 1 en donde incluyen análisis de viabilidad donde se precisan los parámetros mencionados aquí y otros más técnicos. En docencia de diseño de mobiliario lo ideal sería que tanto la parte estética como la optimización del tiempo de corte de las piezas estuviera equilibrado.

Entre las motivaciones del proyecto está la de poder construir algo a escala real ya que durante la formación de un arquitecto suele ser algo utópico; dicha motivación se verá en más autores que se relacionarán en el Capítulo 3. Además, a lo largo de la historia numerosos arquitectos han diseñado muebles que se han convertido en iconos del diseño tan reconocidos y relevantes como sus edificios. Otras motivaciones de Davis pasan por utilizar el mínimo material posible por los problemas globales que se generan como los medioambientales y económicos. Aunque no se desarrollan estos temas es interesante que al menos Davis los refleje, pues otros autores ni los mencionan.

El proceso de diseño que se ha seguido tiene una interesante metodología mediante el desarrollo de su forma, variando distintos estados de afinamiento e iteraciones de ocho sillas. Desde un punto de vista pedagógico resulta útil para comprender un proceso de diseño, el seguimiento y

estudio de cada una de esas etapas que, como se mencionó en la introducción, guarda mucha relación con el proceso de aprendizaje *Design Thinking*. Tanto el *Design Thinking* como la iteración son conceptos sobre procesos de aprendizaje se verán relacionados con todos los autores que lo tratan en el Capítulo 3. La iteración final se presenta como el producto de sus estudios y toma de decisiones. Va explicando cada uno de los cambios que va incluyendo en cada una de las referencias de sillas de diseñadores y arquitectos relevantes, transformando todos los ejemplos para ser cortados con fresadora. De la misma manera que lo hicieron C-Lab con los ensambles japoneses y europeos tradicionales, rediseñados para ser cortados con fresadora.

Tras el estudio de las ocho iteraciones es posible establecer relaciones con otras publicaciones. En la quinta, estudia un sistema estructural mediante una sucesión y repetición de secciones que recuerdan al trabajo que se estudiará de Symeonidou (2018). En la sexta, implementa las siluetas laterales en el diseño que es el mismo sistema mencionado en el trabajo de Ebnöther (2004). En la iteración séptima se producen dos cambios que se pueden relacionar con otros trabajos. Por una parte, la referencia a la silla del diseñador Gio Ponti que es la misma que toma C-Lab, reflejada en el libro C-Moebel, y que también citarán otros autores. El otro cambio introducido en esta iteración es la optimización de las piezas que se diseñan en relación con las zonas de estrés de las piezas variando su sección o cantidad de material donde sea necesario. Como ocurre en todos los estudios de Categoría 3 no existen justificaciones técnicas contrastadas para tales decisiones. Se profundizará más adelante, pero en esas fechas, ya existían métodos científicos para calcular dicha optimización de piezas que no fueron consultados, quedando así patente la desconexión entre ambas disciplinas. Finalmente, en la iteración octava introduce la ergonomía para mejorar la comodidad de la silla permitiendo tres posiciones confortables. Debido a que es una investigación desde un perfil de formación arquitectónica se tiene muy en cuenta al usuario por lo que Davis introduce sus propias medidas corporales para configurarla. También introduce las explicaciones relativas a cómo solucionar las tres posiciones que plantea, modificando ciertas medias del diseño.

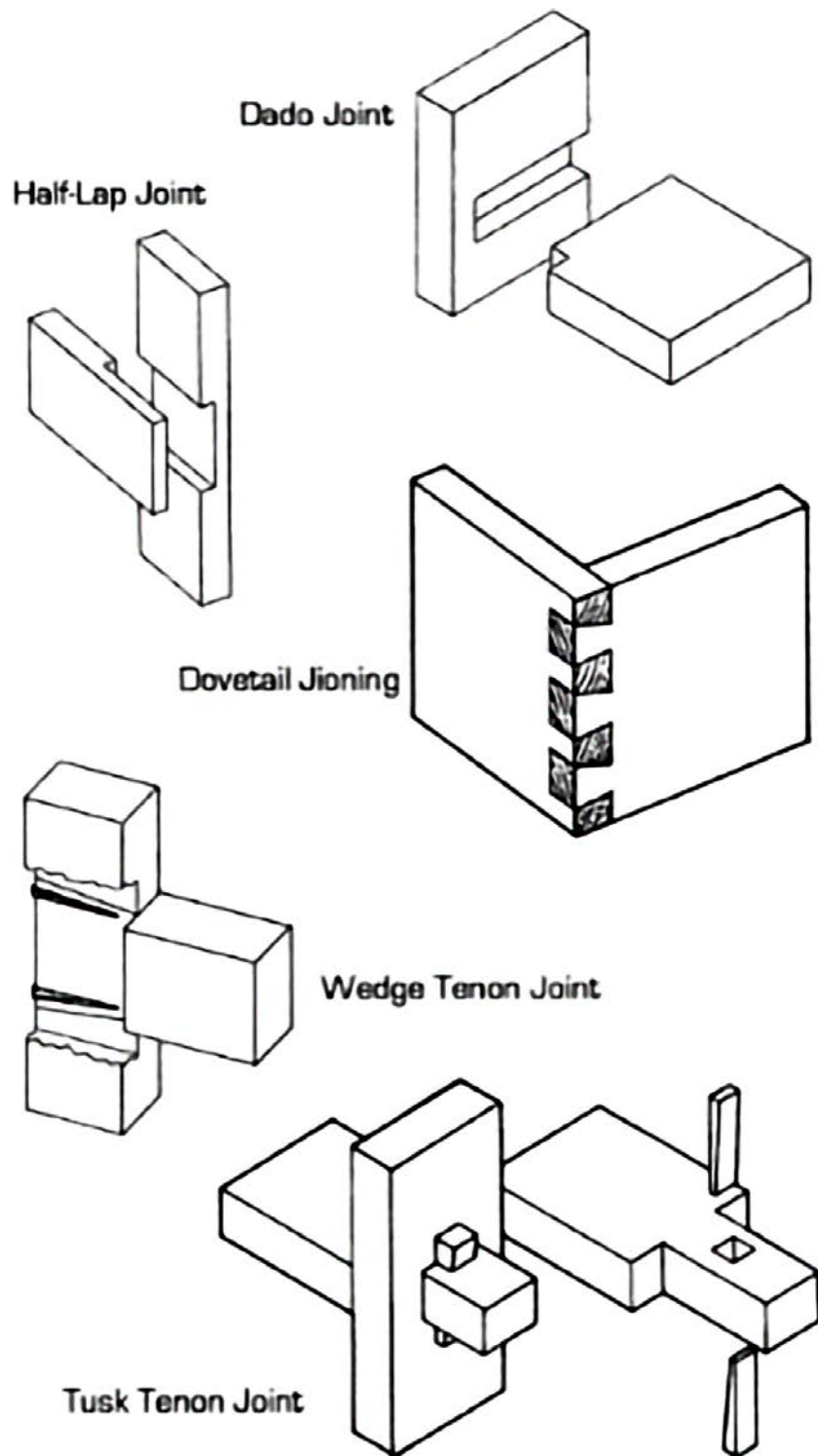
Una vez estudiado el sistema de trabajo y cómo ha llegado hasta el modelo final mediante cambios e iteraciones, se recogen también partes más técnicas con respecto al sistema de corte con fresadora CNC. Por ello describe, algunas particularidades del uso de la fresadora de tres ejes, tipos de uniones específicas introducidas en cada iteración, tipo de estructuras estudiadas, material utilizado y algunas conclusiones. Todas estas aportaciones técnicas sobre este sistema de corte son ampliadas de forma significativa por parte de AtFAB at UK con el libro de Filson et al. (2017) como se verá más adelante.

Pese a que la fresadora es capaz de hacer funciones como rebajar superficies de los tableros o marcar contornos, indica que ha querido utilizar sólo la función de corte tanto para simplificar las funciones como para utilizar un tipo de fresa. De esta manera pretende también simplificar los procesos sin incrementar el uso de sofisticadas herramientas. AtFAB at UK alude a la misma simplificación a la hora de producir digitalmente, al igual que otros autores que se relacionarán en el Capítulo 3. En cuanto a las fresas utilizadas, para las sillas 1 y 2, para corte de foam, utilizó una fresa de base plana de 1/2 pulgada de diámetro (1,27 cm, equivalencia a fresas europeas 12 mm) mientras que para las sillas 3 a 8 utilizó una fresa de base plana de 1/8 de pulgada (3,175mm, equivalente a fresa europea de 3 mm). En este tipo de máquinas no es relevante si se trata de cortes rectos o curvos ya que consumen el mismo tiempo. Pero sí resultan remarcables otras cuestiones a tener en cuenta con respecto a las limitaciones de la máquina que describe Davis, como las limitaciones de los tres ejes y la problemática de realizar cortes interiores en sus esquinas. Todo ello se relaciona en el Capítulo 3 junto con otros autores. Además, estas limitaciones influyen directamente en la estética de cualquier mueble cortado con fresadora CNC que, en el caso de Davis, lo incluye y analiza como identidad intrínsecamente ligada a la máquina que lo produce. Estos redondeos tan marcados son comentados también por diversos autores que

se relacionarán en el Capítulo 3 y que, como se verá preocupa más a los estudios de Categoría 3 que a los de Categoría 1.

Otro punto interesante que nos presenta Davis en su trabajo y que toca de lleno con esta Tesis es el de las uniones. Para él toman un papel relevante pero no profundiza en ello ni justifica el uso idóneo de cada uno de los ensambles que presenta, con la contundencia que sí verifica con comprobaciones empíricas, los trabajos de Categoría 1. Así y todo, es de interés estudiar cómo Davis se detiene a explicar las razones por las que va introduciendo en cada iteración, cambios en los tipos de ensambles según su posibilidad de realizarlos con fresadora, y de que realmente sirvan como uniones adecuadas entre piezas. Indica que existen algunas herramientas tradicionales especializadas en realizar un solo tipo de ensamble, ya que lo interesante de una CNC es poder aunar en una sola máquina diversos ensambles. Dicha afirmación también es mencionada en otro trabajo recogido al final de este capítulo, en Otras publicaciones, pero que no está introducido en la Tabla 1; es de Tian et al. (2018).

Para comenzar con los ensambles, en las dos primeras iteraciones simplemente usa como unión la cola. A partir de la tercera es cuando realmente surgen uniones por ensamble y es en esta iteración cuando se introduce el término, *Dado Joint* que podríamos traducir como de ranura y lengüeta. Este ensamble, como los siguientes que se van a nombrar, no son más que una adaptación de ensambles tradicionales a su realización con fresadora, unos mejor adaptados que otros, según se irá viendo. En el caso del ensamble de lengüeta y ranura es pertinente su realización con fresadora ya que consiste en ranurar, hacer una ranura, en el material con un fondo plano y con lados perpendiculares. La fresa realiza pasadas paralelas hasta conseguir la dimensión deseada, que será el canto del material que encajaría en la ranura. La dureza de la unión depende de lo ajustadas que estén las piezas además de la cola que se aplique. En la iteración 3 se presenta el problema de las uniones con lengüetas en varios ángulos no siendo posible realizarlas con esta fresadora. Por ello, en el paso a la iteración 4 solo utiliza uniones a 90°, que resulta más procedente. Esta unión que introduce es *Half-lap joint* o unión a media madera que utiliza en los listones de refuerzo, pero dependen mucho de la cola. También se usó para las patas el otro ensamble denominado mortice *and tenon* o caja y espiga. No obstante, la limitación de no poder hacer cortes interiores a 90° dificulta la realización de la caja en donde se introduce la espiga. Por lo que hay que diseñar semicírculos en las cuatro esquinas de la caja y en los hombros de la espiga para un correcto acople de las piezas. Este tipo de redondeos son acuñados de forma precisa por AtFAB at UK en su libro *Design for CNC* (Filson et al. 2017), según la posición específica de los semicírculos. Son éstos los responsables de las marcadas estéticas de algunos muebles a los que Davis se refiere como elementos de diseño en la unión, que revelan el proceso de cómo fueron realizados. El simple hecho de necesitar justificar las formas de estos redondeos lo posiciona como Categoría 3, puesto que para un trabajo de Categoría 1 ni se plantearía.



Ensamblen en *Design of a CNC Routed Sheet Good Chair*. Davis, 2006.

La silla cinco no posee ensambles como tal sino unas espigas cilíndricas pasantes, mismo sistema que se ha comentado y que se verá en la investigación de Symeonidou (2018). En la silla seis se desarrolló un ranurado en la espiga para que, introduciendo una cuña mediante golpe, se pueda conseguir que el ranurado se expanda, aumentando la fuerza de fricción entre ambas y resultando una unión fuerte en su conjunto. Este movimiento elástico de salientes lo estudian Samboro et al. (2020) y se trata de otra de las publicaciones del final de este capítulo que no se encuentran en la Tabla 1.

En las sillas finales, 7 y 8, las variaciones en cuanto a la caja y espiga se posicionan jerárquicamente, de manera más larga, y dobles para las patas. Espigas con doble cuña se incluyen en la parte superior e inferior del marco para sujetarlo, y caja y espiga simple, en la unión intermedia. En los listones del asiento y respaldo se usa caja y espiga simple ya que hay una mayor frecuencia (se repiten con mayor frecuencia); las cuñas solo se implementan en los finales para mantener el marco en su lugar, mientras que las intermedias son simples.

Otro de los puntos que introduce Davis durante el proceso de iteración de su silla es el relativo (son relativas) a la estructura que va configurando. De manera intuitiva y no contrastada, va aumentando o disminuyendo las secciones de los perfiles según solicitaciones de esfuerzos imaginarias lógicas. Como se acaba de señalar en lo referido a los ensambles, también las estructuras y la optimización de sus piezas es posible dimensionarlas con metodología específica, consensuada, propias de los trabajos de Categoría 1. Davis aquí vierte de manera intuitiva sus conocimientos como arquitecto y los aplica a un mueble, pero no existe el contraste que requeriría la Categoría 1. Muchas de las afirmaciones intuitivas como longitudes de espigas para ganar en esfuerzos, aumentos de la sección del material en ciertas partes, etc., ya era posible su cálculo empírico por ingenieros de la madera. Conexiones con esta disciplina habría sido muy enriquecedor o por lo menos plantearlo como vía.

Davis recoge varias aportaciones que relacionan esta herramienta de trabajo con un menor impacto medioambiental, lo cual la convierte en un valor añadido como diseño producido con estas técnicas. Algunas de estas cuestiones también serán recogidas en el Capítulo 4 sobre sostenibilidad en general, y en el Capítulo 3.2.3 relacionado con otros autores. El interés en la sostenibilidad comienza pues a tener relevancia en investigación; incluso Davis matiza la importancia de la selección de un material respetuoso, y la configuración de un diseño en el que se intente que sus partes consigan un uso de ese material lo más eficientemente posible, ajustando sus piezas a los tamaños estandarizados, para ahorrar en costes. En sus últimas iteraciones utiliza numerosas piezas de pequeñas dimensiones para conseguir este propósito, posicionando los marcos laterales en el centro del tablero, y los 23 listones optimizando la superficie.

Davis también explica el uso eficiente de materiales y herramientas mediante referencias como los Shakers por una simplicidad, ante todo, los Eames como abanderados del uso de estos materiales eficientes, o más recientemente Kawecki, con la creación de una silla por corte láser sobre este tipo de material con el diseño de su *Puzzle chair*, que también citó Ebnöther. Davis manifiesta que pretende con su trabajo contribuir al desarrollo del uso de las máquinas CNC y de materiales en láminas para construir formas tridimensionales, en este caso, mobiliario.

De esos materiales en lámina utiliza el contrachapado de abedul, que lo prefiere por su alta calidad y facilidad de adquisición, indicando además que presenta una apariencia muy profesional sin necesidad de aplicar acabados complicados; no obstante, no lo **acredita** de manera más científica, con estudios que ya aportaba en esa fecha la ingeniería de la madera. Tampoco presenta nudos que distorsionen el aspecto, además de que su consistencia permite gran precisión en los cortes de los ensambles resistentes.

Otro de los beneficios es su estabilidad por la multidireccionalidad que le proporcionan las chapas, más resistente que una madera estándar, optimizando aún más el material. Añade que existen estudios que demuestran el uso eficiente de la madera de un árbol con este método, aunque no cita ninguno. Adquiriendo finas chapas de madera y posicionándolas alternativamente según la dirección de la veta, produce grandes tableros de madera, estructuralmente multidireccionales, extraídos de pequeños árboles y con poco deshecho. Este proceso de construcción demuestra ser

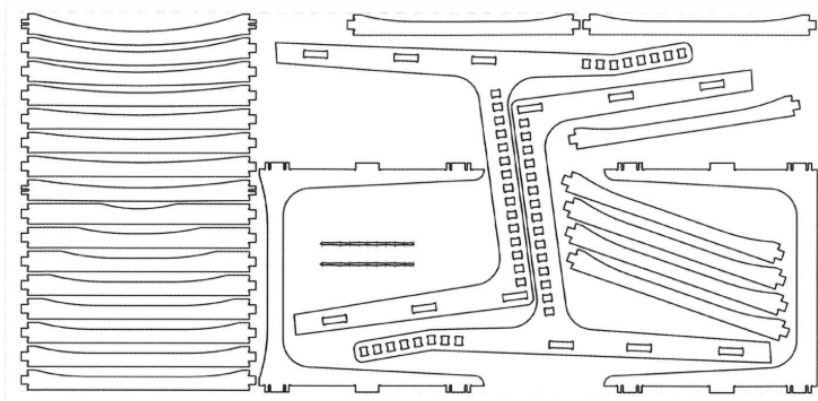
una opción muy respetuosa con el medio ambiente pudiendo implementar otras calidades de madera con nudos más bajas sin disminuir en exceso sus resistencias.

Davis afirma que todos los tipos de contrachapado introducen colas que contienen componentes tóxicos que dañan el medio, pero hoy en día, casi 20 años más tarde, existen colas cuyas fórmulas prácticamente no contienen tales componentes tóxicos. Pese a que el contrachapado de abedul fue el material del que se partió, por sus beneficios ya descritos, también se hicieron pruebas en OSB⁷ que como el contrachapado utiliza colas para su configuración. En el caso del OSB sería un tipo de tablero algo más sostenible ya que se constituye con virutas de restos de aserraderos y de construcción, en vez de chapas sacadas de árboles recién cortados como en el caso del contrachapado, y por lo que no se requiere material virgen. Por el contrario, OSB es más débil y menos estable dimensionalmente que el contrachapado, aunque tras cortar la silla 8 también en este material, se obtuvieron resultados satisfactorios. Se hizo asimismo una prueba en contrachapado de abedul, rechapado con una hoja, teñido en rojo para incrementar la longevidad del material. Con esta iteración la silla adquiriría una apariencia diferente a la original.

Al final del trabajo enumera unas conclusiones generales en las que deja nuevamente patente la pertenencia de estos trabajos a la Categoría 3 ya que remite a la importancia del contexto para el que se diseña: por una parte, atendiendo a las funciones principales que tuvo en cuenta como comer, estudiar y leer o sentarse; y por otra, tratando de combinar la economía con la calidad del diseño. Tras citar algunos autores de diseños icónicos como Thonet o Charles Eames, que cambiaron en varios aspectos el diseño de mobiliario, Davis se sitúa en una posición menos ambiciosa.

Concluye en un apéndice final del trabajo una justificación de sus diseños a través de autores que ha seleccionado que justifican su propuesta que se aconseja consultar en el caso de estar interesados en esta parte más teórica e humanista de su investigación.

Concluye en un apéndice final del texto, con una justificación de sus diseños, a través de autores que ha seleccionado que avalan su propuesta. Se aconseja consultarlos en caso de estar interesados en esta parte más teórica y humanista de su investigación.



Archivo final para el corte de las piezas del prototipo resultante. CNC Routed Sheet Good Chair. Davis, 2006.

⁷ De las siglas en inglés Oriented Strand Board, tableros de fibras orientadas.

A1.2.3. #8. (2007) Materializing a design with plywood

# 8 2007	Materializing a Design with Plywood	Sass, Lawrence	Michaud, Dennis Cardoso, Daniel	MIT USA
-------------	-------------------------------------	----------------	------------------------------------	------------

Sass, L., Michaud, D.J., & Cardoso, D. (2007). Materializing a Design with Plywood. *Proceedings of the 25th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe)*, 26-29 September, Frankfurt, Germany.

Estudio analítico del trabajo:

Este estudio presenta maquetas a escala que exploran la relación entre el diseñado modelado en CAD y la fabricación digital con láminas de contrachapado. También se constata que, tras la aparición de la fabricación digital, la fabricación de productos manufacturados desde barcos hasta instrumentos musicales, etc han dejado de realizarse con herramientas manuales para cambiar a herramientas controladas por ordenador o CNC. Una de las principales limitaciones de la realización de trabajos manuales con madera son los costes, impredecibles, debido principalmente a las grandes variaciones del precio de la mano de obra según regiones. Implementar la digitalización es una manera de controlar y equilibrar estos costes de forma más precisa. Se estudiará y se analizarán otros autores, como los de Mendel University, que ven en la digitalización una forma de optimización de los trabajos manuales, lo cual puede plantear alguna controversia; no obstante, resulta evidente que abarata y proporciona mayor control a ciertos trabajos. Asimismo, introducen referencias a algunas incursiones de otros autores.

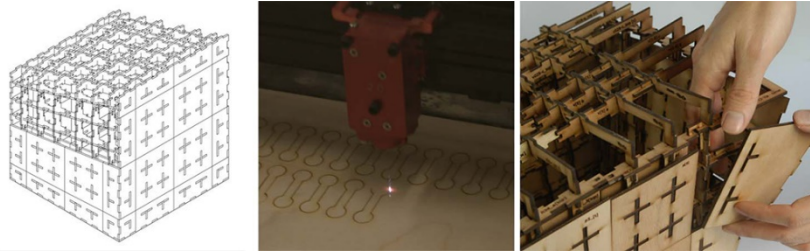
Este equipo trata de estructurar un sistema de trabajo para el concepto de materializar un diseño. Consta de un proceso de cuatro pasos, que se enumeran y relacionan en el Capítulo 3, en Esquemas de trabajo que mejoran el proceso de aprendizaje, al igual que otros esquemas que se mencionarán en sus correspondientes apartados.

Este proceso por pasos que describen los autores constituye una manera pedagógica e instructiva de exponer a los estudiantes que comienzan con esta tecnología las secuencias necesarias que se habrán de configurar, partiendo de una forma tridimensional hasta obtener un objeto construible con CNC. Pasos previos para hacer entender la conversión de la forma virtual en forma física tangible. Uno de los problemas principales que deriva de dicha conversión es que el modelo digital difiere del físico una vez montado, porque no se suelen tener en cuenta los elementos de unión entre piezas, por cierto, muy relevantes, pero que tienden a obviarse debido a diferentes problemas. Es importante tener en cuenta que el diseño virtual permite crear innumerables formas que, en ocasiones, no son posibles o no son reales por su inmaterialidad. No todo lo que permite el dibujo digital es factible a la hora de materializarlo en construcción real. Hay que tener muy claro el material con el que se va a fabricar, su resistencia, su tamaño, sus posibilidades de corte de la máquina a utilizar, etc., ya que una vez producidas sus piezas es casi imposible corregir o enmendar posibles fallos no previstos.

De ahí la utilidad de este trabajo que explora maneras de subdividir una forma inicial concebida en un diseño para fabricación digital, asegurando su ensamblaje manual. Las soluciones propuestas permitirán que los diseñadores puedan sistematizar la materialización de un diseño rápido con reglas estructuradas. Según los autores, para este acercamiento es necesario cumplir con tres funciones que reducirán la complejidad del sistema. Estas funciones guardan relación con alguna propuesta metodológica de producción que se estudiará en el grupo de Purdue University (Haviarova, 2011). Para caracterizar estos componentes los autores plantean dos tipos: Objetos de Superficie y Sistema Estructural. A su vez, en el caso del Sistema Estructural lo dividen en: Capas Laterales, Capas Bilaterales y Estratificación Lateral Múltiple.

Debido a la importancia que suponen las uniones este trabajo también se adentra en proponer algunas soluciones entre las que se mencionan tres tipos: Conexión de Borde (a), Conexión perpendicular (b) y Conexión Lateral (c). Sus correspondientes esquemas de trabajo que se han ido enumerando, se encuentran relacionados en el mencionado Capítulo 3.

Se muestran en el estudio ejemplos e imágenes de conexiones testadas cortadas con láser a escala inferior. Indican una relación entre el número de superficies de unión, el área o superficie de material sólido y la tensión entre dos superficies. Se exploró el sistema de capas bilaterales y tres tipos de acoples; sus uniones fueron por fricción, sin utilizar ningún adhesivo líquido y las tolerancias fueron las mismas para todas. Partieron de modelos en forma de cubos ortogonales, que en algún caso no fue ortogonal, y es ahí donde se fueron complicando las maquetas.



Materializing process, a construction model, laser cutting and physical assembly. Sass et al., 2006.

Una vez finalizada la parte práctica manifiestan que las maquetas finales fueron más complicadas de generar de lo que se preveía; fueron generadas en CAD y con dificultades de corte en los acoples. Además, apuntan que es vital una concordancia en el alineamiento de acople de las piezas macho y hembra. Con ello hubo muchos problemas, pues, al manipular las piezas, el alineamiento entre lo virtual y lo físico no se mantenía, complicando consecuentemente la labor de montaje. Desde la observación concluyeron en la dificultad de materializar algunas formas virtuales, según el número de divisiones que se realicen. Esto se debe a que la variación en la forma requiere un nuevo aprendizaje para saber materializarlo. En resumen, afirman que la exploración de la forma y en la materialización requieren diferentes procesos de estudio.

Una pregunta que se plantean es si los estudios sobre el aprendizaje de ambos tipos de forma podrían plantearse como un aprendizaje integrado con los estudios de modelos físicos. Un segundo problema en el estudio de cada caja que mencionan lo constituye el tiempo, y los esfuerzos necesarios para el modelado repetitivo de descripciones sólidas en CAD. El problema con el modelado repetitivo se les hizo cada vez más complejo a medida que crecía el número de componentes en cada modelo. El objetivo planteado era encontrar un método rápido de materialización de un diseño y entender la complejidad en su construcción.

En definitiva, con el método propuesto para dar forma a un objeto sólido mediante la repetición de un modelo se constata su mayor complejidad a medida que va creciendo en número de componentes, no resultando en consecuencia un sistema óptimo. Se crean demasiadas piezas a ensamblar que, a medida que se manipulan, se pueden ir deformando no quedando alineados. Pese a que es una forma de materializar volúmenes sólidos complejos no es un método rápido. Por lo tanto, no puede considerarse una metodología apropiada; no obstante, al quedar documentada, se simplifica el camino a otros autores que se planteen soluciones parecidas, ahorrándose su tiempo de búsqueda.

A1.2.4. #9. (2009) Légumes Urbaines: Digital Modeling Transformations + Prototype Fabrication Based on the Egg Crate Construction Method

# 9 2009	Légumes Urbaines: Digital Modeling Transformations + Prototype Fabrication Based on the Egg Crate Construction Method	Vamvakidis, Simos	NTUA Greece
-------------	---	-------------------	----------------

Vamvakidis, S. (2009). Légumes Urbaines: Digital Modeling Transformations + Prototype Fabrication Based on the Egg Crate Construction Method. *Computation: The New Realm of Architectural Design - 27th eCAADe Conference Proceedings*, 313-322, 16-19 September, Istanbul, Turkey.

Estudio analítico del trabajo:

Vamvakidis inicia con los precedentes de este método que denomina *the egg crate* o caja de huevos; estructuralmente lo asemeja al sistema *monocoque*. Etimológicamente, del griego “mono” o simple, y del francés “coque” o armazón, con este término designa una técnica constructiva que consiste en soportar la carga estructural mediante el uso de la piel externa de un objeto, en lugar de (usar) un marco interno o de una armadura, que luego se cubre con una piel que no soporta carga. Apunta que la primera vez que se utilizó este sistema ampliamente fue en los años 30 del pasado siglo en aviación. Trae otros precedentes contemporáneos que han utilizado la misma técnica para justificar su uso en el campo del diseño. Simplemente consiste en poner una matriz de elementos estructurales en horizontal y vertical.

Los mencionados precedentes son: unas estanterías realizadas en MDF para la librería *Loewey* en París, de Jakob y MacFarlane de 2001; el pabellón [C]space en Bedford Square en Londres, construido en paneles de cemento y diseñado por los estudiantes de la “A.A” de Londres; la “Architectural Association School of Architecture”, también conocida como “AA School of Architecture”, que es la escuela independiente de arquitectura más antigua del Reino Unido, y una de las más prestigiosas y con mayor competitividad del mundo. Otro proyecto con este tipo de configuración que se menciona es *Metropol Parasol*, que en el momento de la publicación de este trabajo era un proyecto aún por materializar, y es la famosa plaza elevada en Sevilla del arquitecto Jurgen H. Mayer. Desde un punto de vista más cercano a lo arquitectónico, también a lo estético, por medio de este método Vamvakidis, quiere enfatizar en la calidad formal, ambiental y de atmósfera que se consigue en los espacios que con él se configuran. Este punto de vista sobre cómo plantearse un proyecto en su distribución de espacios relacionados con el ser humano se percibe claramente desde un planteamiento humanista alejándose de las soluciones puntuales que suelen plantear las disciplinas de Categoría 1 estudiadas.



“Loewey” bookshop by architects Jakob & Macfarlane, Paris, France. En Vamvakidis, 2009.



“[C] space”: Ephemeral structure designed by students of the AA DRL, (first placed in) London, UK. En Vamvakidis, 2009.

Para la parte del modelado digital de la caja de huevo, a lo que también se llama *Form finding*, “encontrando la forma”, se probó la realización con varios programas informáticos como AutoCAD, 3ds Max, Sketch Up, Maya y Rhinoceros, que son los programas de mayor uso por diseñadores y arquitectos. La conclusión de Vamvakidis, es que con Rhinoceros o Maya se obtiene una mayor libertad a la hora de configurar la forma general. Explica la manera de trocear o convertir una morfología complicada en distintos planos de manera que observando los ejemplos gráficos no resulta difícil entender la metodología. Actualmente, y como se comentó en los anteriores trabajos, los programas mencionados tienen herramientas integradas específicas que no existían en antiguas versiones de éstos, con lo que se facilita este sistema de troceado. Es un caso parecido al trabajo, “SkinChair” (Ebnother, 2004) en el que se utilizó específicamente Solidworks por tener una herramienta automática de despliegado de una superficie.

Al final se va a obtener una especie de puzle en 3D por medio de planos que encajan unos con otros mediante el acople *half cut joint*, o ensamble a mitad de corte. En una ocasión, configuró un

objeto con ciertas complejidades y le aplicó ese troceado para tratar de materializarlo. Realizó diversos prototipos de varios tamaños y materiales para ver su comportamiento. Concluyó que siempre es interesante testar primero lo que se va investigando antes de materializar un elemento a escala 1:1. Los primeros ejemplos a escala inferior le fueron útiles para estudiar posibles problemas previos que se le podrían presentar como, el orden de montaje de las piezas, la comprobación del encaje de las uniones, la estabilidad, peso, impacto visual, así como la verificación de su auto portabilidad una vez montado.

Como puede verse, la fabricación digital permite conocer con antelación múltiples problemas antes de realizar trabajos de cuya viabilidad no se está seguro.

Hay varias cuestiones generales a las que conduce esta publicación. Una de las más interesantes es la posibilidad de utilizar una técnica de encaje entre piezas, que es común y que puede aplicarse a proyectos de distinta escala. Sería ésta la mencionada anteriormente, el ajuste a mitad de corte entre un miembro vertical y otro horizontal *half-cut*. Con un espesor específico es posible producir estructuras autoportantes, desde un simple taburete hasta proyectos complicados como el ejemplo que menciona de “Serpentine Pavillion”, de los famosos arquitectos portugueses Alvaro Siza y Souto de Moura. Manifiesta Vamvakidis que para grandes estructuras sería necesario configurar piezas más pequeñas, de manera que quepan tanto en la máquina que las va a cortar como en el tamaño en el que un fabricante produce el material de corte.

Otra de las posibilidades que aporta esta tecnología, según Vamvakidis, es la de fabricar en masa, a bajo coste, piezas personalizadas de proyectos sofisticados, en poco tiempo, debido a las técnicas de fabricación de prototipado, como las de corte láser o fresado por control numérico. Dependiendo de la escala del proyecto, esta técnica de construcción simplifica mucho los procesos; como el gran puzle 3D mencionado, que puede ensamblarse siguiendo unos pasos específicos. Las piezas de material pueden fácilmente apilarse unas sobre otras para facilitar el transporte y luego ser montadas en cualquier parte del mundo. Aquí no se plantea, pero como ya apuntó C-Lab, es preferible que “los datos” viajen hasta ese lugar del mundo en el que se producirán las piezas.

Otra conclusión derivada de este método es que, usando menos cantidad de secciones se puede introducir mayor espesor de material en el caso de la madera, que para láminas de aluminio o acero que podrían ser más delgadas. Economizar en material significaría disminuir el número de secciones. Sería lógico pensar que el sistema de la caja de huevos podría convertirse en algo monótono y caro, por la cantidad repetitiva de material, sin embargo, lo considera como problema secundario otorgándole al elemento principal la importancia de una estructura icónica o de ambiente vanguardista. En cuanto a éste es indiscutible el juego que produce la luz sobre las secciones, como consideración muy importante para él.

Nuevamente hacen mención a uno de los problemas básicos, que es el referente a las uniones que mantienen los planos verticales y horizontales en su sitio, que en prototipos pequeños no habría problema, pero que a gran escala, dependiendo de cada proyecto, habría que aumentar el número de uniones, lo cual complicaría todo el sistema. Menciona otra herramienta muy difundida actualmente entre diseñadores de morfologías complejas. Se trata del uso de programas paramétricos como el Grasshopper que simplifica enormemente todo el proceso de este sistema. Grasshopper es un lenguaje de programación visual desarrollado por David Rutten en Robert McNeill & Associates (empresa de Rhinoceros). Es un plug-in (programa que se le introduce a otro para realizar comandos extras) para Rhinoceros. Es utilizado principalmente para programar algoritmos generativos de geometrías 3D complejas, entre otras.

Vamvakidis se encuentra seducido por los resultados morfológicos de este tipo de generación de formas y trata de justificarlas afirmando que, solo observando cualquiera de ellas se crearía un impacto visual que provocaría discusiones en el contexto cultural de este gesto arquitectónico. Rememora formas tanto góticas, como formas de arquitecturas o artefactos característicos de Gaudí o incluso huesos humanos. Todo esto desencadenaría a su juicio discusiones que van mucho más allá de la forma, el modelado digital o la fabricación de prototipos, demostrando que la arquitectura está altamente conectada con la producción cultural de una época.

Comentarios analíticos

Analizando el trabajo de Sass et al., Vamvakidis, dirige su experimentación hacia otro enfoque para tratar de conseguir un resultado más satisfactorio. Lo divide en dos áreas, por una parte, investiga las posibilidades arquitectónicas y estructurales que posee este método; y por otra los intercambios producidos entre el mundo matemático, en forma de modelado digital, y el ámbito material en forma de fabricación de prototipos materiales. Nuevamente estamos en un trabajo con Clasificación 2, cuyo interés para esta Tesis es analizar la manera de enfrentarse a la materialización de morfologías complicadas, con cavidades variables, a través de tecnología CNC. Se considera que este método es susceptible de replicar para docencia y fácilmente comprensible para quienes se adentran en este campo.

El caso de Sass se queda en una experimentación sin mucho resultado práctico, salvo el de evitar que otros investigadores se internen en el mismo sentido, pues de antemano sabrían que el resultado no los llevaría a construcciones satisfactorias, según las conclusiones comentadas. Es interesante ver la evolución o enfoques en estos dos trabajos. El primero se queda en una fase que explota menos las posibilidades que dan los programas digitales, mientras que este segundo lo dirige, de forma interesante, a la producción de objetos complejos tridimensionales. Al publicarse ambos en *eCAADe* llama la atención que Vamvakidis no cite a Sass et al., dada la similitud de la temática. En numerosas ocasiones se ha percibido que los trabajos de categoría 3, profundizan menos en la búsqueda exhaustiva de referentes, como sí ocurre en los de la Categoría 1.

A1.2.5 #10. (2010) A contribuição da prototipagem com emprego de fresadora CNC no processo de design de produto

# 10 2010	A contribuição da prototipagem com emprego de fresadora CNC no processo de design de produto	Cardoso, Eduardo	UFRGS Brasil
--------------	--	------------------	-----------------

Cardoso, E. (2010). A contribuição da prototipagem com emprego de fresadora CNC no processo de design de produto. *XIV Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital. Disrupción, modelación y construcción: diálogos cambiantes*, 58-61, Colombia: Universidad de los Andes.

Estudio analítico del trabajo:

El taller de este profesor tiene objetivos parecidos a los que se pretende alcanzar en esta Tesis: incentivar y posibilitar, a través de la práctica, la inserción de las tecnologías de fabricación digital como herramienta para la actividad docente y proyectual en diseño, además de capacitar al estudiante para el diseño, planificación y ejecución de modelos tridimensionales. También afirma que a través de ellas se prevé la resolución de problemas formales, funcionales, conceptuales y metodológicos y su adecuación técnica, estructural, tecnológica y económica en la elaboración de un proyecto de mobiliario.

También busca desarrollar el pensamiento analítico crítico a través de reflexiones teórico-críticas sobre propuestas de solución relacionadas con la práctica de los profesionales del diseño. Manifiesta además que en esos años la investigación sobre diseño y desarrollo de productos ha sido muy intensa, reconociendo que el diseño de productos es una de las áreas donde las empresas podían obtener ventajas competitivas. Por lo tanto, las tecnologías de modelado y prototipado digital que presenta Cardoso, tanto virtual como físicamente, cobran especial relevancia en el proceso de desarrollo de productos, como también lo afirma Volpato (2007, como se citó en Cardoso, 2010). Además, también indica Cardoso que implementando la fabricación digital mediante el uso de fresadoras CNC como herramienta de desarrollo de productos tiene la capacidad de materializar ideas con las máxima rapidez y fiabilidad.

La manera de proceder que él detalla y, a través de la integración propuesta, los diseñadores comienzan a ejecutar un proyecto con el mínimo de errores, puesto que, a través de maquetas, modelos y prototipos realizados, a menudo es posible ver de inmediato si el proyecto será viable o no. El dominio por parte de un diseñador de estas competencias es fundamental para la competitividad de las empresas proporcionando una reducción de las inversiones en pruebas, una mejora en la calidad y fiabilidad de los resultados con datos correlacionados con la realidad y también una reducción del tiempo dedicado al desarrollo y cambios del producto. En consecuencia, el prototipado rápido con tecnología CNC se convierte en una herramienta importantísima y competitiva.

Se afirma también que dado que, dentro del proceso de desarrollo de un producto hay una secuencia, el prototipado puede marcar la diferencia entre lo que puede convertirse en un producto, o solo el concepto de uno, es decir, utilizar modelos físicos para validar las propuestas generadas. Así, el prototipo puede ser aplicado, entre otros, en estos dos momentos de desarrollo del producto, unas veces para el análisis conceptual, otras para la comprensión del producto diseñado.

Antes de pasar a detallar el taller experimental de Cardoso es procedente referir dos técnicas de prototipado rápido: la aditiva y la sustractiva. Para explicarlas Cardoso hace referencia a otros autores como a Selhorst Junior (2008, como se citó en Cardoso, 2010) que subdivide las tecnologías de prototipado en dos grandes grupos: prototipado rápido aditivo (Rapid Prototyping, Capítulo 3.1.2.4.), que funciona añadiendo material, y prototipado rápido sustractivo (SRP, *Subtractive Rapid Prototyping*), en el que los modelos se obtienen mecanizando bloques y láminas de diferentes materiales. Cardoso añade que, en el momento de publicar, este término se ha vuelto más común para todo tipo de prototipado de ejecución rápida, independientemente de su proceso, y toma como referencia acerca de esta afirmación a Dvorak (2004, como se citó en Cardoso, 2010).

El autor pasa a describir cómo se organiza el taller realizado implementando estas metodologías. Según describe, primero abordan las cuestiones teóricas típicas para diseñar cualquier objeto o mobiliario. Posteriormente se explica en qué consisten las técnicas de prototipado rápido tanto la aditiva como la sustractiva y la selección de materiales con los que poder trabajar, así como sus beneficios e inconvenientes constructivos, que posibiliten una adecuada toma de decisiones para su uso. A continuación, se pasa al proyecto en sí realizando y utilizando modelos virtuales y físicos en todas las etapas del mismo. Para este momento, la investigación y el concepto de propuesta se presentan por medio de modelos virtuales volumétricos tridimensionales.

En una segunda etapa, se debe precisar los sistemas de unión entre piezas, la forma específica de fabricación, el uso del material y la validación del sistema. Para llegar a tomar todas estas decisiones habrá que realizar un modelo físico a escala reducida, o en el caso de hacerlo a escala real, se realizaría solo una parte de prueba, de la zona más interesante del objeto, ya que es

necesario probar el sistema de unión seleccionado de los componentes a escala real. Una vez el sistema de construcción es validado, se procede a la creación de prototipos del elemento completo de los muebles, antes de proceder a la etapa de detalle. En este momento es muy relevante para cada proyecto que a través de la realización del prototipo completo se realice una validación del sistema constructivo, evaluaciones de usabilidad y ergonomía, entre otros.

Por lo tanto, en esta etapa se puede comprobar cómo los modelos y los prototipos físicos son fundamentales para el desarrollo de estas evaluaciones. La materialización del proyecto a través del prototipo es fundamental para proporcionar un cierto grado de interacción con el producto. Una vez acabada esta fase con éxito al haber sido tomadas las decisiones fundamentales se procederá a detallar el proyecto ejecutivo y por último el prototipo final.

Con toda esta manera de proceder que detalla Cardoso y, a través de la integración propuesta, los diseñadores comienzan a ejecutar un proyecto con el mínimo de errores, puesto que, a través de maquetas, modelos y prototipos realizados, a menudo es posible ver de inmediato si el proyecto será viable o no. Todo este proceso descrito por Cardoso se encuentra esquematizado y estructurado en sus diversas fases en el Capítulo 3, para poderlo relacionar con otros autores, pues es la única parte que Cardoso no deja escrita: su esquema de proceso de trabajo.

Tras la presentación y descripción del taller y su metodología, el autor argumenta todo lo afirmado anteriormente. Así que como se ha señalado en la introducción, este trabajo es de gran interés para entender de qué manera influye la digitalización en una empresa de diseño o en la docencia.



Prototipo a escala real *Mesa Mais*. Fuente: alumno Ricardo de Menezes Costa. En Cardoso, 2010.

A1.3. Década 2010. Comienzan los Grupos Técnicos

A1.3.1. #20. (2014) Finite Element Analysis of Wood Materials

# 20 2014	Finite Element Analysis of Wood Materials	Tankut, Nurgul Denizli	Tankut, Ali Naci Zor, Mustafa	Bartın University Turkey
--------------	---	---------------------------	----------------------------------	-----------------------------

Tankut, N. D., Tankut, A. N., & Zor, M. (2014). Finite element analysis of wood materials. *Drvna industrija*, 65(2), 159-171.

Estudio analítico del trabajo:

Para la realización de esta revisión los autores destacan la importancia que ha tenido la mejora continua de la calidad y la fiabilidad de los ordenadores, puesto que su amplia aplicación en el diseño de la industria del mueble ha fomentado la elaboración de algoritmos de optimización de la construcción de muebles en los que se tiene en cuenta las características de rigidez de las juntas. Según estos investigadores, el método de elementos finitos FEM, se ha convertido en la técnica dominante utilizada para el análisis de fenómenos físicos en el campo de la mecánica estructural, de sólidos y de fluidos, en las últimas cuatro décadas. Por todo esto afirman la importancia de sustituir los métodos estadísticos de optimización de muebles, que se han aplicado hasta ahora, por métodos de gradiente, que no es más que un algoritmo creado para resolver problemas, los cuales permiten obtener resultados mucho más precisos.

Para los que no están familiarizados con el método de elementos finitos (FEM) hay que explicar que se basa en la interpretación física de una subdivisión de un modelo matemático en componentes disjuntos, es decir, modelos que no se superponen, a base de geometría simple, llamados elementos finitos. Por lo tanto, se considera que la respuesta que se obtiene del modelo matemático se aproxima a la del modelo discreto obtenido al conectar o ensamblar la colección de todos los elementos. Como bien mencionan los autores es como si pensamos en un motor, un puente, un edificio o un esqueleto fabricados a partir de componentes más simples. Debido a esta simplificación matemática, entienden que FEM se ha convertido en una poderosa herramienta para solucionar problemas complejos en ingeniería, como análisis de deformación y estrés de estructuras de automóviles, aeronaves, etc, además de otros campos muy diversos. Por lo explicado, el postulado principal de FEA se encuentra en que los dominios complejos pueden discretizarse y representarse mediante un conjunto de elementos más simples de tamaño finito. No todos los problemas prácticos en ingeniería tienen solución exacta por lo que se recurre a aproximaciones numéricas. Este método posibilita dar solución a geometrías complejas con un material como es la madera, que al ser anisótropo duplica el grado de complejidad en las ecuaciones.

Para la realización de esta revisión los autores comentan de la importancia que ha tenido la mejora continua de la calidad y la fiabilidad de los ordenadores puesto que su amplia aplicación en el diseño de la industria del mueble ha fomentado la elaboración de algoritmos de optimización de la construcción de muebles en los que se tiene en cuenta las características de rigidez de las juntas. Según estos investigadores, el método de elementos finitos FEM, se ha convertido en la técnica dominante utilizada para el análisis de fenómenos físicos en el campo de la mecánica estructural, de sólidos y de fluidos, en las últimas cuatro décadas. Por todo esto afirman lo razonable que es sustituir los métodos estadísticos de optimización de muebles, que se han aplicado hasta ahora, por métodos de gradiente, que no es más que un algoritmo creado para resolver problemas, los cuales permiten obtener resultados mucho más precisos.

Para los que no están familiarizados con el método de elementos finitos (FEM) hay que entender que se basa en un concepto en la interpretación física de una subdivisión de un modelo matemático en componentes disjuntos, es decir, modelos que no se superponen; a base de geometría simple llamados elementos finitos. Por lo tanto, se considera que la respuesta que se obtiene del modelo matemático se aproxima a la del modelo discreto obtenido al conectar o ensamblar la colección de todos los elementos. Como bien mencionan los autores es como si pensamos en un motor, un puente, un edificio o un esqueleto pero que se fabrica a partir de componentes más simples. Debido a esta simplificación matemática, comentan que FEM se ha convertido en una poderosa herramienta para solucionar problemas complejos en ingeniería como análisis de deformación y estrés de estructuras de automóviles, aeronaves, etc, además de otros campos muy diversos. Por lo explicado, el postulado principal de FEA es que los dominios complejos pueden discretizarse y representarse mediante un conjunto de elementos más simples de tamaño finito. No todos los problemas prácticos en ingeniería tienen solución exacta por lo que se recurre a aproximaciones numéricas. Este método comenta que posibilita dar solución a geometrías complejas con un material como es la madera, que al ser anisótropo duplica el grado de complejidad en las ecuaciones.

Los autores documentan todo el desarrollo histórico que ha ido simplificando este sistema matemático hasta llegar a la actualidad. FEM no es el desarrollo de una única fórmula sino una evolución progresiva dependiendo de la investigación que cada autor va profundizando y aportando conocimiento. Por ello esta breve historia se podría dividir en dos partes: primero la profundización que aportan varios matemáticos subdividiendo los problemas para darles solución de forma manual; segundo, la aparición de los ordenadores, que ha sido algo crucial para poder solucionar con rapidez todos los cálculos. Sin ellos hubiera sido imposible resolverlos en un tiempo prudencial, contando también con la aparición de programas informáticos que agilizan estos tiempos como ANSYS, del que se hablará más adelante. Los autores de este trabajo profundizan en las diversas publicaciones, adelantos y mejoras que se van sucediendo sobre este método.

Los autores desarrollan la parte histórica del método comenzando por lo que denominan FEM moderno que se remonta a principios del Siglo XX. Enumeran varios hitos matemáticos que se van sucediendo durante las varias décadas desde 1940 hasta 1980, situando el término acuñado Elemento Finito en 1960 por el matemático Clough en 1960, o la publicación del primer libro enteramente dedicado a FEM en 1967. En 1967 nace el programa informático ANSYS y en 1981 se publica un método que se limita a problemas simples, donde la forma desviada se puede definir con precisión como se explicó más arriba como concepto básico de FEM.

Los autores relatan la parte histórica del método comenzando por lo que denominan FEM moderno que se remonta a principios del Siglo XX. Enumeran los hitos matemáticos que se van sucediendo durante las varias décadas desde 1940 hasta 1980, situando el término acuñado como *Elemento Finito* en 1960 por el matemático Clough, o la publicación del primer libro enteramente dedicado a FEM en 1967. En este último año nace el programa informático ANSYS, y en 1981 se publica un método que se limita a problemas simples, en el que la forma desviada se puede definir con precisión, como se explicó más arriba como concepto básico de FEM.

Tras el relato histórico, los autores se refieren a la parte más digital del método con ANSYS, gracias a la irrupción del uso de los ordenadores en la investigación. Se trata de un proveedor de software de simulación de ingeniería, fundado por el ingeniero de software John Swanson, que desarrolla programas generales para análisis de elementos finitos y dinámica de fluidos computacional. ANSYS ha desarrollado una gama de productos de ingeniería asistida por computadora *Computer Aided Engineer* (CAE) aunque es más conocida por sus productos ANSYS Mechanical y ANSYS

Multiphysics. Para explicar mejor el programa, en el artículo se enumera qué es lo que permite a los ingenieros este programa de análisis de elementos finitos:

- Construir modelos informáticos o transferir modelos CAD de estructuras, productos, componentes o sistemas. No obstante, también se puede diseñar otro programa CAD y transferir los datos a ANSYS para realizar las operaciones de cálculo.
- Aplicar cargas operativas u otras condiciones de desempeño de diseño. Es decir los esfuerzos a los que se sometería un mueble diseñado.
- Estudiar las respuestas físicas, como los niveles de estrés, las distribuciones de temperatura o el impacto de los campos electromagnéticos, si bien estos últimos no interesan en mobiliario.
- Optimizar un diseño al principio del proceso de desarrollo para reducir los costos de producción. Por ejemplo, simplificando al máximo las distintas piezas de un mueble en proceso de diseño.
- Hacer pruebas de prototipos en entornos en los que de otro modo sería indeseable o imposible (por ejemplo, aplicaciones biomédicas) (Rutgers, 2009, como se citó en Tankut et al. 2014).

ANSYS Mechanical y ANSYS Multiphysics tiene módulos de preprocesamiento para creación de geometrías y mallas, y posprocesamiento en una interfaz gráfica de usuario, para ver los resultados de forma gráfica o tabulada. Pueden resolver problemas mecánicos, incluidos el análisis estructural estático y dinámico, transferencia de calor, problemas de fluidos, problemas acústicos y electromagnéticos.

Se podría diseñar directamente en el propio ANSYS pero las operaciones que se precisan para ello son complicadas y requieren mucho tiempo. Es más práctico diseñar con programas relacionados con esta disciplina como Autocad, Rhinoceros, Maya, etc preparados para ello, y posteriormente importarlo en ANSYS.

Tras estas explicaciones, los autores enumeran los pasos básicos que conlleva cualquier análisis de elementos finitos y que consta de tres fases:

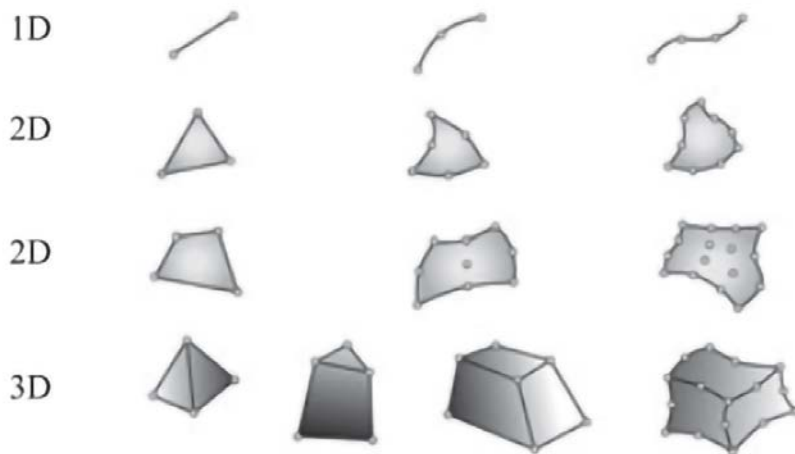
1. Preprocesamiento, tiene que ver con las partes de diseño de la pieza, la carga e información del material, y otras informaciones matemáticas.
2. Solución, evaluación de datos y toma de decisiones o cambios.
3. Posprocesamiento, se muestran los resultados con las deformaciones.

Los tres pasos clave de simulación que se muestran son: idealización, discretización y solución. Un FEA típico en un sistema de software requiere la siguiente información:

1. Ubicaciones espaciales de los puntos nodales. Es decir, la geometría vectorial en el propio programa o importada de otro.
2. Elementos que conectan los puntos nodales. La manera en que se unen las piezas individuales entre ellas.
3. Propiedades de masa. Se introduce el material de la pieza cuyos comportamientos intrínsecos están almacenados en su base de datos.

4. Condiciones o restricciones de contorno. Si es un objeto libre, o como en el caso de una viga de construcción, puede estar anclado a otra estructura.
5. Detalles de la función de carga o fuerza. En el caso de un mueble estipular la sobre carga de uso.
6. Opciones de análisis. Según el tipo de resultado que se quiera obtener.

La geometría del elemento está definida por la ubicación de los puntos nodales geométricos. La mayoría de los elementos utilizados en la práctica tienen geometrías bastante simples. En una dimensión, los elementos suelen ser líneas rectas o segmentos curvos. En dos dimensiones, son de forma triangular o cuadrilátera. En tres dimensiones, las formas más comunes son tetraedros, pentaedros (también llamados cuñas o prismas) y hexaedros (también llamados cuboides o "ladrillos"). Los nodos suelen estar ubicados en las esquinas o extremos de los elementos, como se ilustra en la figura a continuación. En los llamados elementos refinados o de orden superior, los nodos también se ubican en lados o caras, así como el interior del elemento.



Higher order element nodes. En Tankut, Tankut y ZOR, 2014.

Una vez explicado en qué consiste FEA matemáticamente y los parámetros a tener en cuenta para un software, los autores pasan a estudiar su aplicación en mobiliario.

La utilización de este método se vincula al objetivo de tratar de disminuir los costes de fabricación de determinados artículos que suelen estar directamente relacionados con la disminución del consumo de materiales ya que históricamente se configuraban muebles con secciones sobredimensionadas. Estas aplicaciones informáticas permiten verificar la resistencia de un sistema que se diseña con anterioridad a su producción, o comparar el comportamiento de distintas variantes en un modelo digital, ya que analizan la distribución de fuerzas y las tensiones internas de sus elementos de construcción. Tomar decisiones entre diseños con diversas dimensiones en una misma construcción elaborando problemas manuales al respecto, concluyen que es casi imposible por el tiempo que llevaría, ya que se requiere la resolución de problemas de diseños complejos, con análisis de gran número de variantes de construcción diferentes.

Como ya decía Eckelman y se mencionará más adelante, estos autores refieren que casi siempre el diseño de muebles está basado en la experiencia de las tradiciones de la fabricación artesanal. Como sería lógico, ningún carpintero utiliza análisis estáticos para encontrar las fuerzas internas en los elementos de madera de una silla, pero sí que sería de interés para algunos grupos académicos de investigación, y al primero que citan en este campo es a Eckelman (1967). Justifica éste que en el procedimiento para obtener el diseño de un mueble resistente, se ha de determinar

primero los valores de las cargas externas a las que se le va a someter, para posteriormente establecer la distribución de las fuerzas internas y finalmente calcular las dimensiones de los elementos y juntas constructivas (Eckelman , 1967 y Eckelman y Suddarth, 1969, como se citó en Tankut et al. 2014).

Pese a lo que pueda parecer, Tankut et al., afirman que el análisis exacto de los marcos estructurales de los muebles ha sido un proceso computacionalmente complejo. FEM proporciona la herramienta más conveniente. Y gracias a los programas informáticos presentan ventajas de modificaciones o cambios del modelo virtual para ir optimizando el producto a diseñar de manera ágil, realizando más fácilmente los cálculos de resistencia.

Debido a que Eckelman es un autor muy citado en todos los Grupos de investigación estudiados se ha recogido con más detenimiento las menciones que de él hace Tankut et al. No obstante, hay otros autores que son mencionados y que tienen relevancia tanto por sus aportes en FEM como en mobiliario en general. Uno de los más citados en este artículo es el investigador Smardzewski de la universidad de Poznan, en Polonia. Dado que la revisión bibliográfica la hacen cronológicamente, Smardzewski se reitera tanto por el desarrollo de algoritmos de optimización de muebles esqueléticos, y experimentos sobre juntas angulares de cuerpos de muebles, como por la creación en 1998 de un programa informático para el análisis de rigidez y resistencia de marcos laterales de muebles. También por desarrollos de modelos matemáticos para describir los fenómenos que ocurren en las juntas de caja y espiga en construcciones esqueléticas y los factores que influyen en la resistencia de las juntas encoladas. Entre los resultados mencionan que cuando una unión de caja y espiga está bien ajustada entre sí, las tensiones en la unión encolada se reducen y aumenta su resistencia. Es decir que, además de la obiedad, se ha comprobado científicamente que una unión de caja y espiga bien ajustada y encolada resiste mejor que sin encolar.

Otro autor que citan y que es conocido en este campo es Gustafsson (1995, como se citó en Tankut et al. 2014) quien trabaja la estructura general de un mueble, analizado preferiblemente mediante el uso de los llamados “elementos de viga”. También citan a autores como Kasal y Puella (1995, como se citó en Tankut et al. 2014) por estudiar en detalle las juntas entre los diferentes miembros de una silla, así como resultados experimentales para sillas, sofás y estantes para libros. Mencionan otros autores que han publicado sus estudios en muebles tipo gabinetes, y otros como Erdil (1995, como se citó en Tankut et al. 2014) que incluye en su estudio el diseño y análisis de sillas y pupitres escolares de madera basados en métodos convencionales de diseño estructural. Efe et al (2003) construyeron dos sillas escolares con espigas cilíndricas en uniones de caja y espiga, y las muestras se analizaron estructuralmente por medio de software FEM; determinando como resultado estimaciones razonables entre el modelo real y el virtual.

Estas han sido las aportaciones más relevantes recogidas en este artículo, seleccionadas entre otras aportaciones no mencionadas aquí pues se ha optado por los autores más citados dentro de la bibliografía seleccionada para esta Tesis. Se recomienda la consulta íntegra del artículo para una mayor profundización.

Dentro de los resultados obtenidos en esta revisión de trabajos con FEM y FEA los autores apuntan varios resultados genéricos a tener en cuenta. FEA y otras técnicas de análisis numérico no pueden, por lo tanto, reemplazar totalmente las observaciones experimentales. Constituyen un complemento poderoso que debe estar aliado con la observación experimental y la caracterización material. Es comúnmente aceptado que el diseño estructural de la mayoría de los muebles, los muebles tipo caja en particular, generalmente se basa en la experiencia o la tradición en fabricación artesanal. El desarrollo de nuevos productos en la industria de la carpintería

comúnmente tiene como base la artesanía tradicional y la prueba de prototipos. El modelado FE puede ser un apoyo valioso en el proceso de desarrollo de productos.

Dentro de las conclusiones generales de Tankut et al. convergen estos investigadores en que, el software informático, que ya se ha arraigado en las industrias de maquinaria y construcción, todavía encuentra una aplicación limitada en la industria del mueble. La mayoría de los muebles fabricados continúan siendo diseñados exclusivamente sobre la base de la práctica de la artesanía y la ingeniería. Lo que no señalan en este punto, siendo de indudable interés, es que para la utilización de fresado CNC de 3 ejes para producción de mobiliario es necesario crear un modelo virtual, por lo cual dicho modelo se podría verificar con ANSYS.

Continuando con sus conclusiones, añaden también que las presiones resultantes de los requisitos de calidad y fiabilidad de los productos finales aumentan la necesidad de prestar mayor atención a la optimización de la rigidez-resistencia del dimensionado de elementos de mobiliario y juntas de construcción. Este artículo se centró en el análisis de la resistencia de los productos de madera, específicamente estructuras de muebles por métodos FEA. Las simulaciones FE pueden permitir un desarrollo de productos más rápido, menos costoso y más optimizado, así como exámenes del rendimiento del producto que no serían posibles ni siquiera utilizando prototipos muy detallados. En la industria de la madera, estas herramientas no se han utilizado mucho, pero sí en otras industrias, durante años, como la aeroespacial y la industria automotriz. La madera es un material más complicado de modelar que el acero, y en el mundo académico se han publicado estudios sobre el diseño de productos de madera con modelos FE.

Hasta la fecha de esta publicación no se tuvo en cuenta ni un solo trabajo en muebles cortados con fresadora CNC de 3 ejes. Todo este artículo se centra en mobiliario con técnicas de fabricación tradicionales. Cada autor de los presentados en el trabajo que se está describiendo analiza diferentes tipos de muebles desde sus correspondientes puntos de vista. Algunos analizan una silla como una estructura para recibir cargas; otros ponen atención en la influencia de la rigidez de las juntas en esquina; otros desarrollan algoritmos para la optimización de muebles esqueléticos; otros se centran en las solicitaciones de muebles angulares para pared; otros analizan específicamente la resistencia de los marcos laterales de los muebles; otros profundizan en la estructura de escaleras de madera; otros se centran en el diseño estructural para pupitres y sillas escolares de madera. Y poco a poco, con todas estas especializaciones, **FEM** se va convirtiendo en un método fiable y de gran ayuda para predecir el comportamiento de un dimensionado o diseño de un mueble.

A1.4. (2010-2018) Mendel University Group. Czech Republic

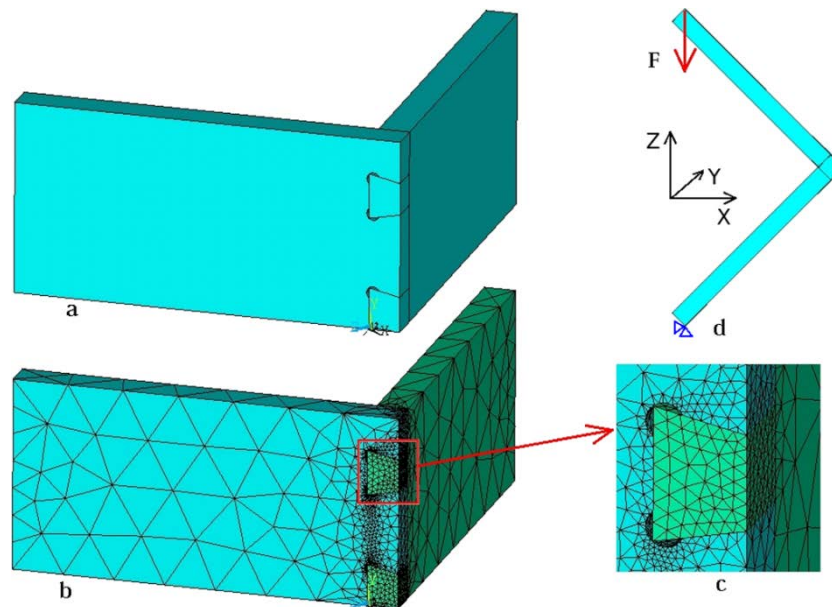
A1.4.1. #11. (2010) Finite element analysis of dovetail joint made with the use of CNC technology

# 11 2010	Finite Element Analysis of Dovetail Joint Made with the Use of CNC Technology	Sebera, Václav Šimek, Milan	Mendel University Czech Republic
--------------	---	--------------------------------	-------------------------------------

Sebera, V., & Šimek, M. (2010). Finite element analysis of dovetail joint made with the use of CNC technology. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendeliana brunensis*, 58(3), 321-328.

Estudio analítico del trabajo:

El equipo diseña la unión en esquina para la simulación de la carga, en el plano de ángulo recto por compresión, de manera que se presiona con el fin de que los planos se vayan aproximando. Durante la aplicación de la fuerza se evalúan los campos de deformación, la distribución de tensiones, la rigidez y el momento flector de las uniones.



a) The geometrical model of the joint, b) the FE model, c) the detail of the joint in the FE model, d) loading of the joint in the angle plane by compression. En Sebera y Šimek, 2010.

El sistema ANSYS fue el programa utilizado para crear dos modelos numéricos paramétricos de las uniones. Tanto aquí como en otros textos se menciona el concepto de “parametrización” que, para mejor comprensión en diseño, se trataría de modelar un objeto en un entorno digital. Se dibuja en programas vectorizados (CAD) de manera que la unión será un objeto bidimensional o tridimensional en el entorno virtual. Es ésta una de las premisas que necesitan los programas de simulación mencionados: una morfología para posteriormente introducir datos como tipo de material, módulos de elasticidad fuerza que se ejerce, en qué sentido, etc., como bien se estudió en Tankut et al. (2014).

Así pues, en el campo específico del diseño, parametrizar es crear una morfología de componentes geométricos interrelacionados, de forma que si se varía uno de ellos variaría el resto porque todos son dependientes entre sí. Para quienes provienen del campo específico del diseño y no de la ingeniería es posible que se entienda mejor de esta manera el concepto de parametrizar. Dicho

concepto, para Sebera y Šimek, consiste en la creación de relaciones entre la forma del ensamble, su material, esfuerzos, etc.

Continuando con los dos modelos descritos realizados en ANSYS, el primero representa una unión ideal de articulación rígida y el segundo incluye el contacto entre las partes unidas; y además las uniones están diseñadas para estar encoladas. Estos modelos virtuales se usan para monitorizar la respuesta de la rigidez de las uniones ante el cambio del coeficiente de fricción estática. Los resultados los compararon ambos entre sí, y con análisis similares de investigación sobre uniones para mobiliario *ready to assemble* (RTA). Concluyen que los resultados pueden ser empleados para el diseño de productos de mobiliario más complejos, que precisan de mayor rigidez, como el asiento, es decir, para bancos y sillas. En cuanto al recién mencionado concepto *ready to assemble* (RTA) significa en castellano algo muy similar a “preparado para ensamblar”. Es un tipo de mobiliario con unas características específicas que se irá describiendo más adelante en otros artículos que profundizan más en este tipo de mobiliario (Šimek et al. 2014; Šimek et al. 2015 y Šimek, 2017). En adelante se seguirá nombrando este tipo de mobiliario en inglés y/o por sus iniciales.

A1.4.2. #12. (2010) Traditional Furniture Joinery from the Point of View of Advanced Technologies

# 12 2010	Traditional Furniture Joinery from the Point of View of Advanced Technologies	Šimek, Milan Sebera, Václav	Mendel University Czech Republic
--------------	---	--------------------------------	-------------------------------------

Šimek, M., & Sebera, V. (2010). Traditional furniture joinery from the point of view of advanced technologies. In *Proceedings of the international convention of society of wood science and technology and United Nations economic commission for Europe—Timber Committee, Geneva, Switzerland, 11-14 October, Geneva, Switzerland.*

Estudio analítico del artículo:

Los dos artículos mencionados estudian una unión de cola de milano que imita en lo técnico a las tradicionales. Se mantiene la unión por ajuste y fricción entre sus partes machihembradas; construidas de forma tradicional se usarían herramientas específicas. Con la tecnología actual de máquinas de tres ejes producen la cola de milano con rapidez y precisión. Estos dos artículos son pioneros, sobre utilización de FEA con mobiliario íntegramente producido con CNC. El objetivo es explicar la utilización de este método con un caso práctico, sencillo, y analizando sus propiedades mecánicas.

Šimek señala que tradicionalmente las técnicas de unión fueron configuradas por artesanos, o más tarde por máquinas especiales fabricadas para este propósito, pero la industria globalizada combinada con las grandes demandas en economía de producción ha propiciado que decrezca el uso de uniones clásicas en madera. Gracias al desarrollo de tecnologías como *Computer Aided Engineering* (CAE), al de las simulaciones numéricas (FEM) y a la producción con CNC, una unión como la cola de milano puede nuevamente emplearse en construcción de mobiliario. También afirma que una de las finalidades de volver a utilizar uniones tradicionales tiene que ver tanto con su dureza en la unión como con el valor estético añadido, lo cual trae consigo una mayor competitividad del producto final. Esta innovación en el mercado de mobiliario actualiza la técnica por ejemplo con diseños creativos, *ready to assemble* (RTA), nuevos materiales o nuevas estrategias de máquetin.

El trabajo pretende probar que el uso de estas técnicas enumeradas constituye las herramientas clave para conseguirlo. La morfología específica de una cola de milano asegura un auto encaje de considerable resistencia que demanda una tecnología que hoy en día con las CNC es posible de

manera rápida y precisa. Šimek, como cualquiera de los autores que escriben sobre producción con CNC, nos advierten del problema con los cortes internos de 0° a 180°, que siempre producirán un redondeo igual al radio de la fresa, debido al movimiento rotacional de la herramienta, que ya fue comentado con por Davis (2006). Para resolverlo propone realizar unas perforaciones en las esquinas, las normalmente llamadas *Mickey Mouse ears*, o en castellano orejas de Mickey Mouse por su similitud morfológica. Añade que uno de los grandes potenciales de estas máquinas en el campo del mobiliario es su competitividad en cuanto a realizarlo manualmente. Además, con la inclusión cada vez mayor de materiales compuestos en tableros, este tipo de uniones aumenta su frecuencia de uso.

Algunas de las propuestas del equipo de Šimek que se analizarán a continuación, ya se han visto anteriormente al estudiar el artículo de revisión sobre FEM aplicado a mobiliario de madera, el cual, se recuerda, que es posterior a éste de 2010. Realizada esta observación, se constata que los autores introducen varias referencias de test realizados con FEM, pero con mobiliario elaborado de manera tradicional; entre otros, se alude a una investigación para testar uniones para materiales compuestos en madera, al recientemente mencionado Eckelman.

El método utilizado en esta investigación ha consistido en crear una simulación numérica de una carga mecánica antes de producirla físicamente, lo cual posibilita una total optimización de material. De esta manera se ha simulado digitalmente los esfuerzos distribuidos en la unión, lo cual nos permite implementar modificaciones antes de producirlo. Los factores a analizar serán la capacidad de esfuerzo y rigidez, teniendo en cuenta la relación entre la deformación y el momento flector de la unión cuando se le aplica. El objetivo es la parametrización de un modelo numérico y un análisis de elementos finitos de las propiedades mecánicas de una cola de milano, producida en un contrachapado de abedul de 12 milímetros de espesor.

Todos los modelos se suponen comparados o corregidos con comprobaciones experimentales reales. Para la realización del test, Šimek ha seguido la metodología recogida en Joščák (1999, como se citó en Šimek y Sebera, 2010). En ella se constata el esfuerzo más desfavorable por compresión y su ángulo de acción, puesto que es la forma más crítica y frecuente de que una unión en esquina soporte cargas. Este estudio en el que se basa Šimek sobre uniones de mobiliario construido de manera tradicional y no con tecnología CNC, y es ésta la innovación que propone; una forma nueva de producir, pero con unas herramientas de dimensionado de piezas ya establecidas. No queda claro en el artículo si las comprobaciones reales fueron cortadas con fresadoras CNC de 3 ejes. Si hubiese sido así, la pieza macho, tal y como la proponen, ofrece dificultades técnicas tanto para la realización del modelo virtual como para su mecanizado.

Remarca, entre las **conclusiones**, cómo el desarrollo del uso del método FEM permite innumerables oportunidades, tanto para el diseño como para la fabricación de interiorismo y mobiliario, con morfologías difíciles de comprobar hasta este momento. Este método se había utilizado hacía ya tiempo en muchos campos técnicos, como la ingeniería, con resultados muy satisfactorios. En ello se basa Šimek para constatar el gran potencial que FEM, junto con CNC, tiene en el campo de la industria del mobiliario. Y así lo seguirá manteniendo en sucesivos y posteriores artículos.

En la bibliografía de ambos artículos no se menciona al equipo de C-Lab at HfG.

A1.4.3. #13. (2010) Chair design for CNC manufacturing – Skeleton Chair

# 13 2010	Chair design for CNC manufacturing – Skeleton Chair	Šimek, Milan Koreny, Adam	Mendel University Czech Republic
--------------	---	------------------------------	-------------------------------------

Šimek, M., & Koreny, A. (2010). Chair design for CNC manufacturing – Skeleton Chair. In *Proceedings of the international convention of society of wood science and technology and United Nations economic commission for Europe—Timber Committee, Geneva, Switzerland, 11-14 October, Geneva, Switzerland.*

Estudio analítico del artículo:

Primero se va a esquematizar la información sobre la que versa el proyecto presentado en este trabajo.

Información del proyecto. Objetivos para desarrollar:

- Silla universal
- Construcción con piezas planas
- Sin uniones adicionales
- Diseño contemporáneo
- Basado en ensamblajes tradicionales adaptados a una máquina CNC
- Material = Contrachapado y/o MDF para prototipos
- Máquina = Fresadora CNC de 3 ejes

Pretenden alcanzar varios objetivos: el diseño de una silla producida con fresadora CNC de 3 ejes; el uso del contrachapado de abedul como material base; prescindir de uniones adicionales en otros materiales sin encolar sus uniones, es decir, que todas las partes se autoajusten y sean autoportantes; el montaje de la silla ha de poderse ensamblar y desensamblar sin el uso de herramienta; el diseño ha de reflejar la tecnología usada, material y principio de construcción.

Otros puntos de interés, derivados de los objetivos mencionados, son: el nulo gasto en energía para producir piezas de metal o plástico o el reducido coste en transporte. Una vez cortadas las piezas estarían listas para su ensamblaje creando una silla estable y suficientemente sólida. Šimek afirma que gracias a la combinación de tecnología CNC, conceptos de mobiliario *ready-to-assemble* (RTA), y los nuevos materiales de compuestos de madera, ha posibilitado el desarrollo de nuevos tipos de producción avanzada contemporánea.

Como se mencionó en los dos artículos anteriores, se profundizará algo más en RTA en los trabajos de este grupo, en particular en los publicados en 2014, 2015 y 2017. Y en cuanto a la mención que se hace aquí sobre compuestos de la madera, es interesante señalar que esta área específica es objeto de investigación en Ciencias de la Tecnología de la Madera, que constituye otra de las capacidades de los equipos técnicos introducidos en Categoría 1.

Šimek, en 2010, decía que el diseño para producir con CNC se estaba desarrollando solamente en cursos de formación y muy raramente por parte de compañías de mobiliario, aunque podría convertirse en una técnica muy popular para pequeños productores que buscan nuevos productos y adquirir fresadoras CNC. Actualmente puede comprobarse que, once años más tarde, no se ha cumplido su predicción pues no se ha implantado suficientemente, según algo que se tratará en el siguiente Capítulo. Afirma que el mobiliario con CNC es de uso simple, además de beneficioso para el medio ambiente.



Skeleton chair. Izquierda: primer prototipo. Derecha: diseño final. En Šimek y Koreny, 2010.

Recoge varios pasos a seguir para la realización de todo el proceso y da respuesta a ciertas preguntas de interés. Explica **4 razones** principales de por qué realizar este tipo de mueble resumidas en: diversidad de soluciones, sostenibilidad, transferencia y eficiencia.

Pese a que C-Lab at HfG ya remarcara el aspecto ecológico de este sistema es en este tercer artículo en el que los de Mendel University hacen expresa referencia a dicho aspecto, pues en los dos anteriores no lo habían hecho. Cuando idearon este proyecto que se mostró en varias ferias que tuvieron lugar en la República Checa (WoodTec y Mobitex) obtuvieron reacciones muy positivas debido al acercamiento de innovación tecnológica. Produjeron en el mercado una tendencia al desarrollo de este tipo de mobiliario por ser ecológico, fácilmente replicable y moderno.

Se presenta también en el trabajo una lista de pasos concretos para la organización y desarrollo de una silla como ésta, de ayuda para principiantes. Este esquema, junto con otros, se encuentra explicado en el siguiente Capítulo.

Beneficios sostenibles del uso de CNC	En cuanto al aspecto ecológico, la silla constituye la suma de los beneficios sostenibles que acabamos de relacionar.
Menor consumo de energía	
Uso de material responsable	
Uniones sostenibles: no metal o plástico	
Reduce gasto del material	
Propicia embalajes planos → menos transporte.	La elección del tipo de material influye en cada paso del proceso de producción: propiedades físicas, mecánicas, su estructura interna y su dimensión. En cuanto a las propiedades físicas son las relativas a la humedad y su influencia, como en cualquier otro mueble tradicional. La importancia de las propiedades mecánicas radica en su influencia en mecanizado y construcción. La estructura interna repercute
Beneficios del uso del contrachapado por sus propiedades	
Físicas: menores cambios por variación humedad	
Mecánicas: Dureza adecuada para mecanizado ágil	
Estructura interna mejora prop. mecánicas y diseño.	

en la orientación de sus fibras para la mejora de sus propiedades mecánicas y de diseño. La dureza del material también es importante para la velocidad de corte, tratando de encontrar un equilibrio entre la herramienta de corte a utilizar, y el tiempo y la calidad.

En cuanto al aspecto **tecnológico**, para el desarrollo de la silla utilizaron dos máquinas CNC de 3 ejes diferentes para cortar dos prototipos en cada una. Se utilizaron dos fresas, una de 8 mm para perforar y otra de 10 mm para cortar, de manera que influían en su apariencia. Las perforaciones se realizaban en las esquinas interiores de los cortes para evitar los redondeos de las fresas mencionados.

A1.4.4. #19. (2013) Possibilities of CNC Manufacturing with Regard to Furniture Design

# 19 2013	Possibilities of CNC Manufacturing with Regard to Furniture Design	Šimek, Milan Kořený, Adam	Dlauhý, Zdeněk Mihailović, Stefan	Mendel University Czech Republic
--------------	--	------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------

Šimek, M., Kořený, A., Dlauhý, Z., & Mihailović, S. (2013). Possibilities of CNC manufacturing with regard to furniture design. In *Wood is good-user oriented material, technology and design. Proceedings of the 24th International Scientific Conference*, 157-165, 18 October, Faculty of Forestry, University of Zagreb, Croatia.

Estudio analítico del artículo:

Para contextualizar, la publicación versa sobre los hitos más destacados de la evolución del diseño de mobiliario en relación con los avances de la tecnología, ya mencionados en sus anteriores artículos. Este cambio de producción con CNC supone un hito reciente. El primero de ellos lo centra en la técnica del doblado de la madera y el transporte de piezas desmontadas, a cargo de Michael Thonet, que fue algo revolucionario. También cita a la empresa Ikea con su mesa desmontable *Lovet*, de los años 50 del siglo XX; precisamente dicha firma sueca ha vuelto a reversionarla, introduciéndola incluso en su catálogo en los años que se escribe esta Tesis.

Ventajas del uso de CNC
Automatización del proceso de fabricación
Alta precisión y velocidad de procesamiento
Alta confiabilidad y versatilidad
Bajo mantenimiento
Sin pausas tecnológicas para nuevas configuraciones

Desventajas del uso de CNC
Costes de compra y operación más altos
Mayor cualificación de conocimientos del operador
Menor velocidad de producción vs producción en serie

También remarcan el señalado hito de la aparición de las CNC como nueva tecnología, con sus ventajas y desventajas, que se esquematizará a continuación. Tales argumentos, basados en un artículo de Higley (2002, como se citó en Šimek et al. 2013), se reiterarán en posteriores artículos, como se verá.

Si bien aquí los autores mencionan como desventaja los precios de costo de la tecnología, se verá cómo, más adelante, hacen referencia a la democratización de los mismos. Quizás en el límite de precios más asequibles, sí puede constatarse que, en esas fechas, un

centro CNC de mecanizado industrial para una empresa de mobiliario suponía un coste tecnológico más elevado que una fresadora CNC de 3 ejes. En este punto los autores no concretan

exactamente con qué tipo de maquinaria comparan para realizar esta afirmación; no obstante, Šimek lo explicará mejor en el artículo de 2018, como se verá.

En cuanto a la exigencia sobre un mayor conocimiento por parte del operador, ya se ha visto con C-Lab at HfG que es una cuestión que hay que tener en cuenta, y que compartirán con otros autores posteriormente, como AtFAB at UK o Becerril et al.

En relación con la que señalan como última desventaja, sobre menor velocidad de producción, las fresadoras CNC de 3 ejes resultan competitivas al hacerse posible la introducción de diseños orgánicos con multitud de curvaturas y de diseños personalizados, pues se invierte el mismo tiempo en procesar piezas iguales o diferentes. Sin embargo, las máquinas especializadas de las que se disponen en centros de mecanizado CNC, a las que ellos hacen referencia, están destinadas a producciones en masa que, en tal caso, sí que resultan más competitivas.

En una parte de su artículo hacen referencia a los programas CAD/CAM. Documentan la posibilidad de realizar con ellos la definición de cualquier objeto, con total libertad y en combinación con la producción, para definir operaciones de máquinas, trayectorias de corte, etc. Profundiza en las ventajas, y beneficios, de este tipo de trabajos en la producción industrial. En este nivel, para grandes tiradas de objetos o de mobiliario, hay programas específicos para optimizar la producción. Introdúcen una tabla en la que analizan y clasifican tabla analizando y clasificando varios programas CAD/CAM, algunos de ellos tan específicos de la industria asentada que desbordan el enfoque de esta Tesis. No obstante, lo cual, hay que añadir que el estudio presentado en esta tabla aporta información sobre el uso que se le puede dar a cada programa.

Comienzan a introducir el concepto de mobiliario *flat pack* y la tecnología CNC, afirmando que se trata de un tipo de mobiliario concebido y preparado para poder realizar un ensamblaje rápido y simple. También apuntan que este concepto se encuentra estrechamente ligado al de mobiliario tipo RTA *ready to assemble*, ya que, según dicen, responde a características similares. Además, se realiza con materiales planos, en láminas o con forma de tablero, tales como, metal en láminas, tableros de madera o planchas de cartón.

Características de mobiliario flat pack, según Šimek et al. 2013	Dentro de un emergente estilo de vida nómada por aquel entonces, presentan los muebles <i>flat pack</i> con ventajas tales como fáciles de desmontar y transportar, ahorro de espacio, pocos componentes y de fácil ensamblaje, así como que constituyen una alternativa más económica que los muebles comunes. En el artículo de 2018 insistirán en <i>el mobiliario nómada</i> como una alternativa viable para ese tipo de usuario que, por el contrario, en 2013 se menciona casi anecdóticamente.
Uso más eficiente posible de materiales	
Diseños compactos	
Ensamblajes simples	
Clasificados como respetuosos con el Medio Ambiente	
Ventajas mobiliario flat pack, según Šimek et al.	Se señala también que en el artículo que analizamos, 2013, se
Fáciles de desmontar y transportar	
Ahorran espacio	
Pocos componentes de fácil ensamblaje	
Alternativa más económica	Se señala también que en el artículo que analizamos, 2013, se dispone de la tecnología suficiente para producirlos: fresadoras CNC, corte láser, corte con chorro de agua "wáter jet", entre otras. Cada una tiene sus propias características específicas y el producto resultante depende directamente de la tecnología utilizada. Destacan que los muebles

flat pack se caracterizan porque normalmente no requieren del uso de herramientas complicadas, componentes de unión o colas.

Su configuración se basa en una combinación de fricción y presión entre las superficies, que mantienen unida la pieza completa, normalmente se utiliza el principio de uniones machihembradas. Indican que las uniones más utilizadas son caja y espiga, cola de milano o *finger joints*. Si bien ya se ha hecho referencia a las dos primeras uniones, la última consiste en repetir una cola de milano en esquina una sobre otra. Su nombre en inglés ejemplifica gráficamente la unión de los dedos entrelazados cuando se juntan las dos manos.

Según estos autores, la elección del tipo de junta depende de la elección del material. Además, afirman que el material elegido, con sus propiedades físicas y mecánicas, incide directamente en la construcción, y por lo tanto en la apariencia final del producto. Dentro de este apartado también introducen las tendencias en este campo. Aluden a la emergente necesidad sobre un cambio en las formas rígidas hacia objetos más orgánicos caracterizados por curvas elegantes e interesantes patrones. La perforación de superficies propicia propiedades flexibles y la posibilidad de doblar tableros de madera para diferentes superficies. A este tipo de técnica ellos lo denominan con el ya conocido concepto *kerfing* aunque no entran a explicarlo. Acerca de este tema, sobre propiedades flexibles del material, más adelante se aludirá a una publicación no incluida en la Tabla 1, que versa sobre juntas con pestañas flexibles por presión (Samboro & Kuswanto, 2020).

También indican que es posible encontrar portales de internet con información de productos ya diseñados para ser producidos; se elige el diseño y se envía todo a un productor cercano para producirlo (www.ponoko.com). Esta idea ya la planteaba C-Lab at HfG y empezaba a ser una realidad en 2013; el concepto seguirá evolucionando con aportaciones de otros autores, según se verá.

También aluden a proyectos como *sketch chair* (Saul et al., 2011) que permite diseñar *tu propia silla* cumpliendo con las características del mencionado mobiliario *flat pack*. Se distribuye como un programa abierto para diseñadores y público en general, según se estudiará más adelante. Muestra una serie de diseños y de figuras que ejemplifican el tipo de mobiliario descrito.

También los autores objeto de nuestro estudio abordan la ergonomía, lo cual no es frecuente en los grupos técnicos. Por el contrario, sí se ha visto en los trabajos analizados de Ebnöther y Davis. Šimek et al. hacen en este artículo un breve estudio contextualizando la postura sentada más adecuada ergonómicamente; pese a que las bases de estandarización proponen una postura específica, difícilmente es posible mantenerla cómodamente durante un tiempo prolongado. Buscan un ángulo recto, lo cual no es una postura habitual de trabajo. La realidad es que el cuerpo humano permite muy diversas y variadas posturas a las que hay que adaptarse para sentarse, y no ceñirse a una sola de ellas. Por tanto, concluyen que no hay una única posición y que incluso la mejor de ellas, recomendada por los mayores expertos, se convierte en incómoda después de un tiempo, según Opsvik (2009, como se citó en Šimek et al. 2013). Afirman que un asiento cómodo requiere de la habilidad del usuario para cambiar la posición con frecuencia, empleando la menor cantidad de energía posible.



Figure 3. SketchChair by Diatom Studio
(<http://www.sketchchair.cc>)



Figure 4. Andy Kem Breakplane Table
(www.seeartdesign.com/artists/andy-kem)



Figure 5. Spring Wood by Carolien Laro
(<http://www.dezeen.com>)



Figure 6. Perforation, Flexi
(<http://www.woodworkingtalk.com>)



Figure 7. Angled plywood chair by Emiliano Gody
(<http://blog.lrytas.lt/interjeras>)



Figure 8. Chair 23D by Gustav Düsing
(<http://gustav-duesing.com>)

Mobiliario considerado en Šimek, M., Kořený, A., Dlahký, Z. y Stefan, M., 2013.

Beneficios del Diseño virtual paramétrico

Ahorro en recursos

Aumenta la competitividad

Estimula la innovación

Como conclusión general señalan que el objetivo de este artículo es presentar un concepto de diseño de mobiliario basado en la conexión de tecnologías, en los avances recientes en el campo de la ergonomía del asiento, y en el diseño paramétrico. Este último no solo ahorra recursos, sino que aumenta la competitividad y estimula la innovación. Esta tendencia se observa principalmente en el campo de la innovación docente, no en el industrial. Creen que ello se debe a que las soluciones innovadoras que permite el diseño paramétrico no son bien aceptadas por todo tipo de clientes. También creen que la no utilización de esta novedosa herramienta en el campo industrial se debe a que la industria del mueble no cuenta con una normativa que regule la colocación de nuevos productos en el mercado.

A1.4.5. #21, #22, #28. (2014) Development of Ready-to-Assemble (RTA) Furniture Constructions. (2015) Displacement in a Loaded Wooden Chair by Using Digital Image Correlation. (2017) furniture testing for higher competitiveness, better quality and design

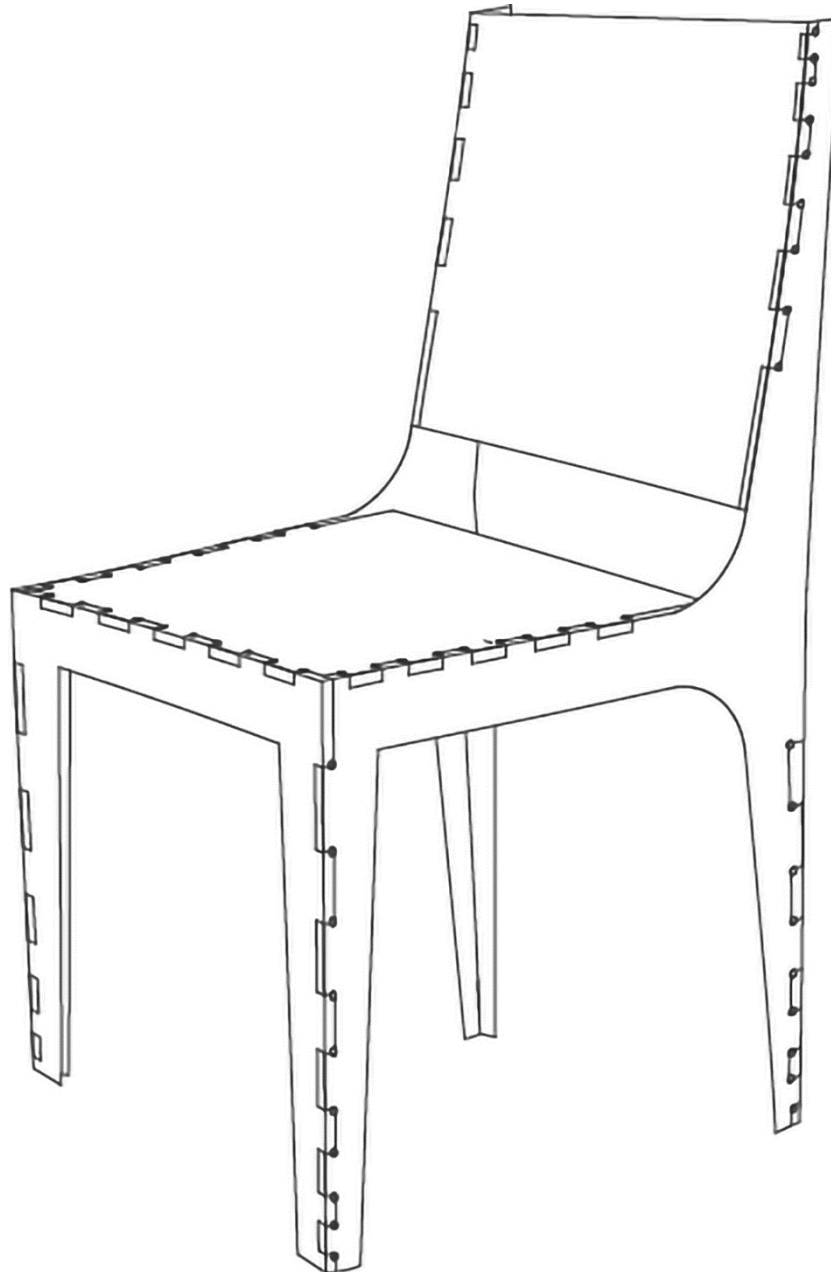
# 21 2014	Development of Ready-to-Assemble Furniture Constructions	Šimek, Milan Kořený, Adam	Sebera, Václav Tippner, Jan Dlauhý, Zdeněk	Mendel University Czech Republic
Šimek, M., Kořený, A., Sebera, V., Tippner, J, & Dlauhý, Z. (2014). Development of Ready-to-Assemble Furniture Constructions. In <i>57th SWST International Convention 7th Wood Structure and Properties Conference 6th European Hardwood Conference</i> , 837-846, 23-27 June, Zvolen, Slovakia.				
# 22 2015	Determination of Displacement in a Loaded Wooden Chair by Using Digital Image Correlation	Šimek, Milan Dlauhý, Zdeněk	Sebera, Václav Novák, Vít Kořený, Adam	Mendel University Czech Republic
Šimek, M., Dlauhý, Z., Sebera, V., Novák, V., & Adam, A. (2015). Determination of Displacement in a Loaded Wooden Chair by Using Digital Image Correlation. <i>Drvna industrija</i> , 66(2), 129-136.				
# 28 2017	Furniture testing for higher competitiveness, better quality, and design	Šimek, Milan		Mendel University Czech Republic
Šimek, M. (2017). Furniture testing for higher competitiveness, better quality, and design. In <i>10th International Scientific Conference WoodEMA 2017. More Wood, Better Management, Increasing Effectiveness: Starting Points and Perspective</i> , 106-113, 24-26 May, Prague, Czech Republic.				

Estudio analítico de los artículos:

Como temática común, los tres artículos versan sobre *flat pack* y RTA, conceptos a los que se concede cada vez más importancia y así lo quieren evidenciar. El mobiliario con uniones estructurales realizadas directamente en CNC las conocen como RTA o mobiliario *flat pack*. Los tres artículos pivotan entorno a una silla RTA que han diseñado y construido con contrachapado, con una fresadora CNC de 3 ejes.

Posteriormente aplican unos test de prueba de resistencia, según los estándares de la normativa checa, los cuales se realizaron por el método ya citado, DIC *digital image correlation*. El método óptico DIC analiza el desplazamiento y deformación de las partes críticas cuando se les aplican las fuerzas en la máquina de testado. La simulación numérica predice los mayores esfuerzos producidos en las uniones. El objetivo de la investigación era descubrir los principios mecánicos de la estructura y desarrollar una metodología de prueba de muebles estandarizados. Los resultados de la medición experimental muestran la respuesta de la estructura de la silla en forma de campos de desplazamiento, campos de tensión, gráficos y vectores que representan el desplazamiento de los puntos observados. Los resultados se pueden utilizar para mejorar las propiedades mecánicas de la estructura de un mueble, así como para desarrollar una forma del producto o de partes específicas del producto.

Afirman que además de los laboratorios de prueba de muebles y los institutos de investigación, los ingenieros de los departamentos de desarrollo de las empresas de fabricación de muebles o los diseñadores industriales pueden utilizar fácilmente el método presentado.



RTA chair used for testing. En Šimek, 2017.

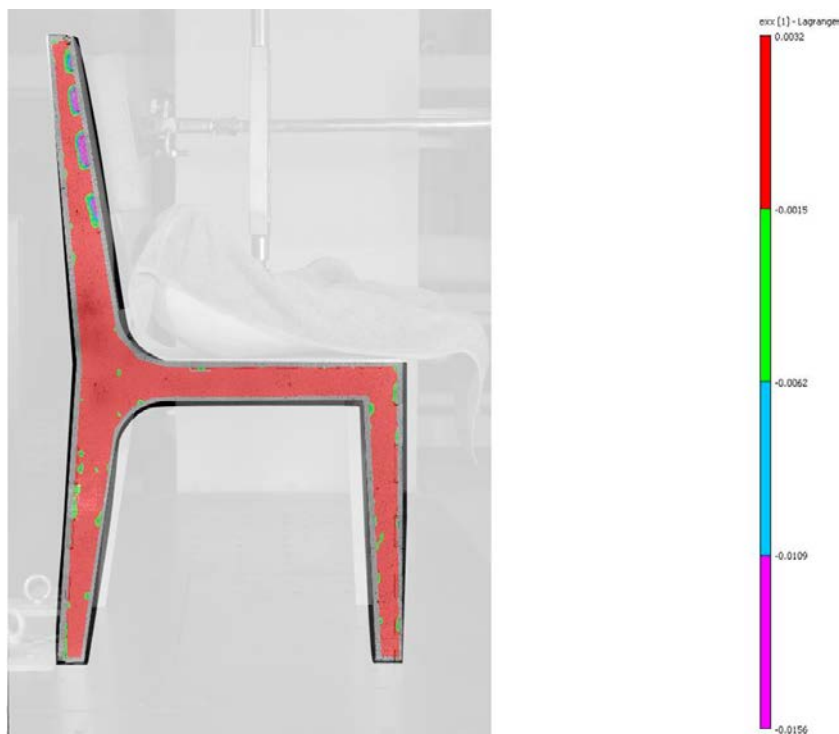
Una vez resumida la base de estudio de los tres artículos se profundizará en los aspectos más relevantes para esta Tesis. Refieren que el uso de conectores o elementos de unión en la industria europea de mobiliario constituye uno de los principios básicos de la construcción del mismo. Las nuevas tecnologías traen nuevas perspectivas a este campo, de manera que el mobiliario desmontable, el que utiliza uniones con accesorios desmontables, es empleado por grandes y pequeños productores, debido a su simplicidad.

Influencia de los ensambles en un mueble
Influyen en el diseño
Influyen en el precio
Influyen en la calidad final del producto

Sin embargo, uno de los mayores problemas es la dependencia de estos conectores que influyen en el diseño, precio y calidad final del producto. La construcción de mobiliario tipo RTA simplifica mucho estos problemas diseñando

uniones adecuadas para este tipo. La tecnología CNC posee unas ventajas y unas desventajas que, como ya se había mencionado en el artículo de 2013, los autores vuelven a basarse en la misma información de Higley (2002, como se citó en Šimek et al. 2015).

Pese a que el mobiliario RTA y *flat pack* llevaban ya veinte años produciéndose en el momento del trabajo que se analiza, la experiencia con su estructura y sus posibilidades de esfuerzo eran todavía limitadas. Pero afirma que la gran evolución de las tecnologías, los nuevos materiales y la informática, no solo en campos de máquetin y producción, sino también en diseño de mobiliario traen consigo métodos que permiten a los ingenieros y diseñadores adoptar nuevos acercamientos de trabajo. El mobiliario RTA comienza a evolucionar con las nuevas tecnologías. A pesar de que las pruebas estandarizadas de muebles no son obligatorias para los productores en la mayoría de los casos, comúnmente se implementan ya que verifican una mejora en la calidad.



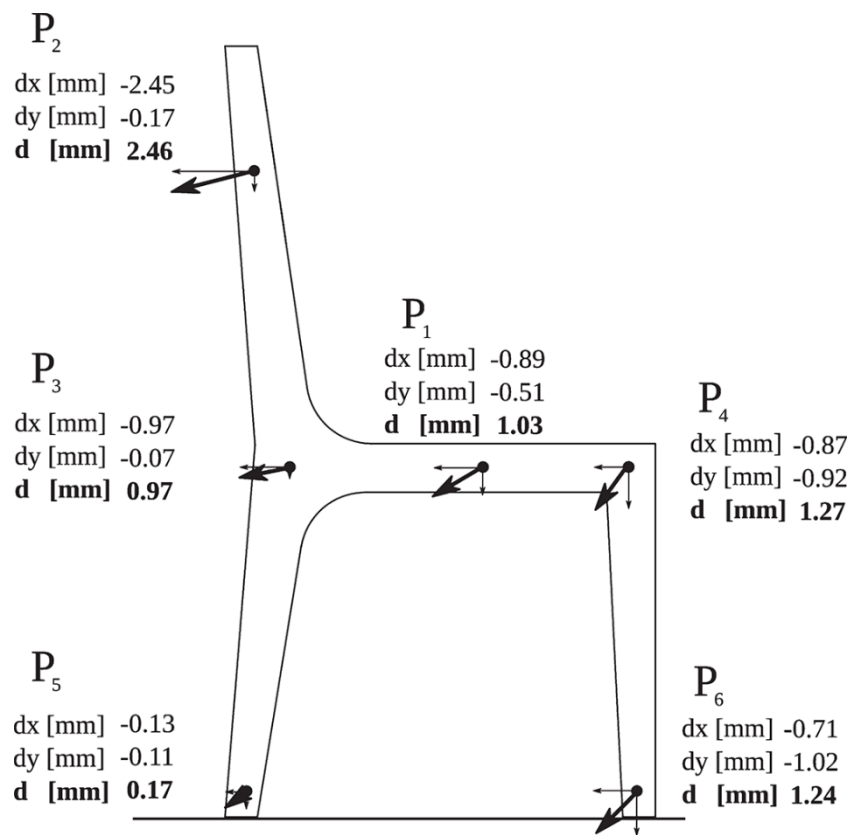
The strain field in horizontal direction (ϵ_{xx}). En Šimek, M., Kořený, A., Sebera, V., Tippner, J y Dlahký, Z., 2014.

Se describe el material y la metodología aplicada para la realización del elemento de estudio, es decir, la silla. Ésta fue creada paramétricamente en un entorno de programas CAD y CAM, con dimensiones totales de 900 por 490 por 430 mm, con un centro de mecanizado CNC de 3 ejes, en contrachapado de abedul de 12 mm, con uniones integradas tipo cola de milano, no encoladas, para mobiliario RTA.

La silla consta de seis piezas que se autoajustan. Fue testada en un laboratorio acreditado, mediante un dispositivo neumático al que se le iba imprimiendo ciertas fuerzas controladas según normativa. Para que no se moviera durante los test se le dispusieron unos topes que lo impedían. También se describe todo el proceso técnico y metodológico para obtener la medida óptica óptima, con la descripción de los dispositivos y marcas, tamaño de la información, cómo se transferían los datos, etc., así como el programa de procesado y lectura de los resultados y todo lo necesario para realizar los test con DIC. Para quienes estén capacitados y formados en estos métodos, se considera de interés la lectura de esta parte técnica de los artículos.

El siguiente caso de estudio fue una mesa que solo se muestra en los artículos de 2014 y 2017, cuya estructura de las patas está configurada en metal, motivo por el cual se obviaré este ejemplo

en nuestra investigación, al no tratarse ni del material ni la técnica de unión que se persigue estudiar.



Vectors of displacement of the chosen points occurred within construction straining. En Šimek, M., Dlahký, Z., Sebera, V., Novák, V. y Kořený, A., 2015.

El primer objetivo del trabajo fue calcular los campos de desplazamiento en el marco lateral de la silla utilizando el método DIC. Entre las conclusiones prácticas sobre los desplazamientos que mostró la estructura destacan que: la silla probada muestra el mayor desplazamiento en el respaldo; la mayor tensión en las uniones de cola de milano, se reflejan entre el respaldo y el costado, y entre éste y el asiento; la máxima desviación se produce en el respaldo de la silla (P2); ciertos valores sobre vectores de desplazamiento fueron menores que la referencia de test en la que se basaron. Ello es debido a que este tipo de configuración de mobiliario RTA normalmente ofrece mejores resultados que el estandarizado de manera tradicional.

Se describen más reacciones que iban obteniendo a medida que transcurrían los esfuerzos, con ciertas particularidades que se obviarán ya que son excesivamente técnicas y requieren mayor especialización en ingeniería. No obstante, la inclusión de imágenes y gráficos en el documento original ayuda a su comprensión para quienes no dominen la materia. Además, añaden algunos apuntes sobre los resultados reflejados en esta investigación, comparándolos con los de aquella en la que se basaron.

Como **conclusión** general, afirman ya algo muy similar a los trabajos anteriores, y es que DIC se puede aplicar fácilmente para test de mobiliario debido a su relativa simplicidad y bajos dispositivos necesarios para ello. Los departamentos de producción de mobiliario desarrollados podrían aplicar esta metodología para incrementar su potencial competitividad e innovación.

Profundizando en los datos, se podrían detectar construcciones de conexiones mal dimensionadas, u optimizar la construcción en términos de morfología y materiales a emplear.

En aquel momento, el diseño paramétrico representaba lo que la mayoría de las industrias estaban tratando de lograr: no solo ahorrar recursos, sino también aumentar la fuerza competitiva y estimular la innovación (Song y Gazo, 2013, según se citó en Šimek et al. 2014), además de hacerlo en 2013. Otra de las afirmaciones que ya habían hecho y que vuelven a mencionar en estos tres artículos es que esta tendencia en la forma de producir con nuevas tecnologías solo se puede observar principalmente en el campo de la educación y la innovación. Y según explicaron, esto se debía a que una de las características específicas de los diseños paramétricos es su carácter innovador, lo cual no siempre es bien aceptado por los clientes. También aducen el hecho de que los muebles, a diferencia de otros productos industriales, no cuentan con una normativa apropiada que regule la colocación de nuevos productos en el mercado, que luchan por ingresar en él.

Si se intentan plasmar algunas diferencias entre los tres artículos puede constatarse que, el publicado en 2015 introduce más bibliografía en cuanto a la aplicación de DIC que el anterior, de 2014. También describe más ampliamente el proceso exacto de testado de la silla, cómo se construye paramétricamente, cómo se aplican las fuerzas.

En el de 2014 se aboga por una nueva forma de construir mobiliario a través de las CNC como herramienta de trabajo, de gran potencial para el mobiliario tipo RTA. Esta nueva herramienta, unida a una nueva manera de analizar las respuestas mecánicas por medio del método **DIC**, hace que la simulación numérica prediga las uniones más cargadas. Se describe información específica sobre el proceso de desarrollo y posibilita la optimización de las propiedades de carga. Se trata de verificar que a un mueble diseñado en digital se le puede aplicar unos métodos de prueba para productos industriales.

En el artículo de 2017, el matiz diferencial estriba en la introducción, al final, de unas imágenes que apoyan el ejemplo de simulación con FEM y que fue procesado con el programa ANSYS. Las conclusiones prácticamente son las mismas. Finaliza manifestando que los métodos que se presentan serán adoptados en un futuro para grandes y pequeños productores.

A1.4.6. #30. (2018) Experimental Development of Wood Products

# 30 2018	Experimental Development of Wood Products	Šimek, Milan	Mendel University Czech Republic
--------------	---	--------------	-------------------------------------

Šimek, M. (2018). Experimental Development of Wood Products. In *11th International Scientific Conference WoodEMA 2018. Increasing the Use of Wood in the Global Bio-Economy*, 253-258, 26-28 September, Belgrade, Republic of Serbia.

Estudio analítico del artículo:

Comienza describiendo los antecedentes históricos de esta técnica para posteriormente mostrar las innovaciones en diseño en madera y mobiliario con tecnología CNC como nueva dirección de diseño alternativo. Según él, la combinación de factores como la tecnología CNC, mobiliario RTA y los nuevos materiales compuestos, entre otros, constituyen conceptos contemporáneos de producción avanzados. En consecuencia, se presentan ejemplos específicos de nuevos tipos de diseño CNC.

Como se indicaba, comienza con una introducción histórica sobre innovación en tecnologías en la industria de la madera, ya descrito en su artículo de 2013. Como idea principal introduce el

doblado de madera citando a Thonet, además del concepto de desmontar piezas en la producción de mobiliario industrial.

Recuerda la mesa Lovet de los años 50 del siglo XX, creada por Ikea, con la diferencia de que el mobiliario de Thonet era montado antes de su venta, mientras que la empresa sueca lo distribuye desmontado en cajas planas. Una vez más hace referencia al mobiliario que se vende desmontado, *flat pack* o *ready to assemble*. Como fortaleza de este mobiliario vuelve a incidir en que se reducen mucho los costes de producción debido a la simplificación de procesos de ensamblaje obteniendo con ello una ventaja competitiva frente al resto de mobiliario no desmontable. Añade que Ikea ha hecho popular este tipo de mobiliario en todo el mundo y como consecuencia la cuota de mercado de mobiliario RTA está creciendo.

Además, apunta que, gracias a las innovaciones, nuevos materiales y tecnología, el mobiliario *flat pack* se encuentra todavía en vías de mejora y desarrollo. No obstante, piensa que los principios de diseño de los antiguos maestros no pueden implementarse totalmente en este tipo de mobiliario porque, hoy en día, no se trabaja solo con madera y uniones clásicas, mientras que los muebles RTA están hechos principalmente de materiales de madera y compuestos plásticos.

En cuanto a la introducción en tecnología CNC referencia sus comienzos tal y como lo documentaron en el artículo de 2013. Comienza a usarse en mobiliario a partir de los años 80 del pasado siglo y describe nuevamente las ventajas y desventajas de producir con esta tecnología, como puede constatarse desde su publicación de 2013. No obstante, incluye nuevos puntos de vista como su afirmación de que su coste de adquisición es más alto que otra tecnología pero que el retorno en la inversión puede ser sorprendente. Como ejemplo menciona el caso de Irlanda, que, siendo un país con muy poca madera, importándola de otros países y gracias a esta tecnología y a los emprendedores, han obtenido resultados increíbles. A pesar de un mayor coste de la madera, el mobiliario irlandés es posible producirlo, con beneficios, gracias a estas tecnologías.

Hoy, la mayoría de mobiliario *flat pack* contemporáneo, se produce con máquinas CNC, pero requiere uniones con elementos de diferente material, lo cual puede resultar problemático pues exige aptitudes manuales y herramientas por parte del consumidor.

Introduce un nuevo punto, bajo el título de productos en madera, con un concepto innovador, en el que destaca la posibilidad de unir la tecnología CNC, los nuevos materiales compuestos de madera y diseños innovadores para crear mobiliario *flat pack*, utilizando el mínimo equipo de conexiones. La relación con esta investigación resulta, pues, muy directa. En los anteriores artículos trataba de unir estos dos elementos, tecnología y nuevos materiales, a la par que introducía la evolución de la informática, lo que más adelante llamaremos Ciencias de la Computación, o **Categoría 4**.

De esta manera Šimek manifiesta que titularía un futuro artículo como *non tools required furniture* (NTR furniture), cuyo concepto ganaba popularidad en Estados Unidos, en el que el diseño está basado en el empleo de tecnología procesada con CNC, y por ello también es conocida como *design for CNC manufacturing (DfM)* (Haviarova et al. 2006, como se citó en, Šimek, 2018), y que se analizará cuando se investigue el Grupo de Purdue University.

Según él, una estructura sofisticada que no requiera ninguna herramienta de ensamble y generalmente ningún dispositivo de unión constituye la principal característica del mobiliario NTR. Este mobiliario específico se hace famoso en Estados Unidos debido a la migración por trabajo que demanda muebles de fácil montaje y desmontaje sin tener que deshacerse del mobiliario al moverse. Por esto es también conocido el mobiliario NTR con el acrónimo de mobiliario nómada. Uno de los principales factores en el desarrollo de mobiliario NTR fue el prototipado rápido, un

método de diseño que, como ya se trató, se usa para una producción rápida y precisa de prototipos con la ayuda de equipamiento CNC.

Nos cita dos ejemplos de la empresa The simple furniture company, las mesas *Rekindle coffee table* y *Surfin table*. Manifiesta que este tipo de mobiliario también está siendo diseñado en Europa pero que llevará su tiempo el que aparezca en la producción de las compañías europeas; sin embargo, *opendesk* (2.11.4.) y *untothislast* ya lo hacían en las fechas de publicación de este artículo. Ambas se citarán tras el estudio del Grupo AtFAB at UK. Además, aporta ejemplos de dos muebles de dos diseñadores europeos: *Lobbyist chair* y *rocker2* de Dominik Lutz.

Finalmente apunta que este tipo de diseño de mobiliario está siendo un tema relacionado con estudiantes de diseño como en Purdue University (Kodzi e al. 2007, como se citó en, Šimek 2018), de la que se hablará más adelante. Explica que una particularidad de este mobiliario consiste en el sistema de unión entre sus partes, en el que las construcciones de las uniones se caracterizan por esquinas redondeadas, de las que ya se ha hablado, que son debidas al movimiento rotatorio de la fresa. Uno de los principios básicos es que las uniones están basadas en empalmes entre piezas que deslizan entre sus ranuras una con la otra, y añade que, muchas veces, se ha comparado este sistema con un juego de puzle, dada la similitud con las uniones.

Dentro de los conceptos de aplicación describe tres prototipos de éxito de mobiliario RTA con producción CNC: una mesa multipropuesta “Multi-Layout Table”, by industrial design student Nathaniel Grady (Purdue University, IN, USA); un sillón con uniones magnéticas para una posible lámina de tapizado Ondřej Zahradníček (Mendel University in Brno, CZ); y una mecedora ajustable “Ellipse Rocking Dream” Hongtao Zhou (Purdue University, IN, USA)



Render de *Armchair* de Ondrej Zahradníček. Mobiliario considerado en Šimek, M., 2018.

Entre las conclusiones destaca la contribución en la presentación de un nuevo programa de producción de mobiliario como opción de futuro basado en nuevas tecnologías, creatividad e innovaciones. Afirma que la innovación en producción y la competitividad no son los factores más importantes en la estrategia de las compañías de mobiliario, sino que debe ser un balance entre varios factores estratégicos, además de la flexibilidad, para tener éxito en un ambiente competitivo. Como afirmaciones recurrentes que ya hizo en 2013, 2014, 2015 y 2017, reitera que estos conceptos están siendo desarrollados en cursos docentes y raramente en compañías de mobiliario, aunque hay varias que sí lo hacen. ¿Dice que? este tipo de diseño ofrece muchas ventajas y que probablemente transcurra algún tiempo antes de que podamos verlo en tiendas. El concepto de diseño de mobiliario producido con CNC requiere de competencias como un complejo conocimiento sobre creación de mobiliario, incluyendo técnicas de diseño, modelado virtual, prototipado rápido, técnicas de producción y de ensambles.

A1.5. (2011-2017) Grupo AtFAB at University of Kentucky (AtFAB at UK). USA

A1.5.1. #14. (2011) Design Offered Up: Control and Open Outcomes in a Digitally Enabled Design Process

# 14 2011	Design Offered Up: Control and Open Outcomes in a Digitally Enabled Design Process	Filson, Anne Rohrbacher, Gary	AtFAB at UK USA
--------------	--	----------------------------------	--------------------

Filson, A., & Rohrbacher, G. (2011b). Design offered up: control and open outcomes in a digitally enabled design process. In Luo, Y (Ed.) *Cooperative Design, Visualization, and Engineering. 8th International Conference, CDVE 2011, 7-13, 11-14 September, Hong Kong, China.*

Estudio analítico del artículo:

Debido a que el proyecto de AtFAB nace desde la perspectiva de dos arquitectos, tratan de hacer valer de manera efectiva la experiencia profesional y de aprovechar el conocimiento de otros para producir mejores diseños y más relevantes. Para este experimento de fabricar muebles con CNC tratan de equilibrar dos variables: el control del diseño y los resultados u opciones abiertas. De esta manera se puede abordar desafíos arquitectónicos más grandes y complejos. Estudiaron varios campos en el proyecto: diseño de muebles, flujo de trabajo mediante el intercambio de información entre diseñadores y productores, y el diseño del interfaz del programa que utilizarán productores y demás usuarios. Critican la mentalidad estacionaria predigital de los arquitectos de aquel momento puesto que con las innovaciones digitales que iban irrumpiendo se iba disponiendo de herramientas con gran potencial para un cambio hacia una concepción más moderna de la forma de trabajar.

Entre estas innovaciones destaca el trabajo con BIM (*Building Information modeling*), modelado paramétrico, fabricación digital e internet como vehículo de interacción, entre los diversos agentes del sistema. BIM, también es conocido como modelado de información para la edificación. Se trata de un conjunto de procesos y metodologías para la generación y gestión de datos de un edificio u obra de ingeniería civil durante su ciclo de vida, utilizando para ello un modelo digital compartido entre distintos actores de la cadena.

El objetivo de AtFAB es reducir tiempo y recursos en el diseño, la construcción y la gestión del proyecto. BIM se fundamenta en la colaboración interdisciplinar y el intercambio de información con otras herramientas de software, por lo que se considera que tal herramienta cumpliría los objetivos del proyecto. 2011 queda como una fecha bastante temprana en el uso de este modelo de trabajo, que hoy en día está totalmente implantado en la mayoría de los equipos profesionales de arquitectos e ingenieros.

Pese a estas nuevas tecnologías, indican los autores que, en la profesión se hace uso de estas innovaciones solo de manera física o material, o para servir como lenguaje entre arquitecto, cliente y constructor. Por ello el equipo intentó involucrar estas herramientas como un proceso de diseño iterativo que vincula indisolublemente el diseño del objeto con un flujo de información y trabajo en su producción y el productivo compromiso de los usuarios.

El sistema de diseño que proponen debe ser de muebles comprensibles para testar diseño, comunicación y construcción, y que además cumplan con requisitos estructurales, materiales, funcionales y contextuales. Si el proyecto piloto superara todos estos requisitos se plantearían escalar el sistema al ámbito de la arquitectura. La línea de muebles de AtFAB trata de abarcar una

amplia gama de objetos, desde el sistema más simple posible. Para justificar esta idea referencian a John Holland, conocido como el padre del algoritmo genético, quien trata de simplificar al máximo comportamientos complejos. Según él, las actividades creativas tanto en las artes como en las ciencias dependen de la capacidad de modelar el mundo. En su libro *Emergenca: from Chaos to order* muestra que su teoría predice con éxito muchos comportamientos complejos del arte y de la ciencia.

El elemento simple del proyecto de AtFAB lo constituye su junta S/J (ver imagen pág. 166). Logran maximizar la cantidad y variedad de resultados mediante una definición de criterios funcionales y estructurales característicos del mobiliario. Otro de los requisitos de simplificación es que los muebles están compuestos por piezas planas de materiales laminados cortados con CNC de 3 ejes. Adquieren formas rudimentarias para permitir un montaje intuitivo al alcance de cualquier persona, con un método básico de fijación; para poder adaptarlos a distintas necesidades o contextos específicos sufrirán transformaciones controladas paramétricamente en cuanto a dimensión, forma y/o grosor del material.

De esta manera consiguen soluciones muy versátiles que, dependiendo del lugar de emplazamiento del mueble, o de sus dimensiones, posibilita esos cambios de parámetros de forma que el programa automáticamente ajuste todas las piezas para que sigan ensamblando adecuadamente. Con objetos de mobiliario que se adaptan a una multitud de necesidades específicas, el equipo acercó el sistema al funcionamiento y respuesta de la naturaleza en casos de emergencia, emulando un nuevo guiño a John Holland con sus órdenes genéticos.

Una de las partes más interesantes de esta investigación ha sido crear y sentar las bases de un flujo de trabajo entre diseñador, usuario y fabricante, que admitan una fabricación colaborativa entre las distintas partes, distribuida y habilitada digitalmente. Mediante el uso de internet pueden aprovechar las herramientas digitales para ajustar los diseños, facilitando, por el mismo vehículo, la relación entre los distintos agentes que intervienen en todo el proceso.

En aquella época de publicación queda patente un número creciente de fabricantes de CNC con la democratización de esta maquinaria y tecnología. AtFAB se involucra uniendo consumidores cotidianos con fabricantes CNC. Por ello, contactaron con docenas de estos fabricantes independientes que poseían máquinas CNC, fresadoras o wáter jet, que podrían estar cerca o como a un continente de distancia. Las fases fueron: enviar archivos .dxf e instrucciones simples para fabricar prototipos parciales a escala real de los muebles. Esta fase de colaboración generó comentarios de fabricantes que ayudaron a los diseñadores a mejorar en el desarrollo del diseño, tales como establecer unos orígenes definidos y una nomenclatura de capas simplificada para los archivos. Esto aseguraba una comunicación adecuada con los futuros productores.

Las confusiones durante los primeros intercambios de información llevaron al equipo a simplificar al máximo los diseños para reducir todos los tipos de corte a solo orificios, cortes internos y cortes externos. Incluyen pequeñas piezas de prueba dentro de los archivos de corte, de manera que ayudara a los fabricantes a calibrar el grosor del material antes de cortar el archivo completo, para evitar fluctuaciones milimétricas entre el material con el que se corta y lo dibujado. Debido a las diferencias entre máquinas y materiales incluyen una definición paramétrica para ajustar las ranuras de la junta S/Z. De esta manera las ranuras incorporadas podían minimizarse para nitidez de un láser o maximizarse para una fresa para poder realizar cortes precisos en cualquier máquina. Al comprobar que la información y las unidades de coste variaban según la máquina de corte o material utilizado se hizo necesario adjuntar un archivo de instrucciones con requisitos de material laminado, centímetros lineales de corte y metros cuadrados. Estas informaciones prácticas no fueron recogidas por C-Lab at HfGz, quedando por ello algo incompleta su materialización.

Profundizaron mucho en la simplificación de montajes creando un ensamblaje extremadamente intuitivo para evitar arduas construcciones de muebles, así como para evitar el “efecto IKEA”. Para ello pidieron a fabricantes, a alumnos y a otros profesionales que trataran de ensamblar 12 diseños que tenían, consiguiendo realizar con éxito 9 de ellos. A los 3 restantes les añadieron pictogramas grabados en las superficies como información extra que facilitaba el montaje sin comprometer la función. Se introduce aquí un nuevo agente además del diseñador y productor, el usuario, que enriqueció con más información productiva. Los cambios se simulaban primero en modelos 3D virtualizados con animaciones en definiciones paramétricas utilizando el plug-in Grasshopper para rhinoceros y las capacidades de Revit.

Límites dimensionales de las piezas:

Dimensión del área de trabajo de la máquina
Dimensión del material
Relación con la escala humana
Integridad estructural de las piezas

En esta fase introducen límites como: dimensiones del área de trabajo de las máquinas, dimensiones del material, la escala del ser humano o la integridad estructural de cada mueble. A partir de estos límites se pueden descartar o acotar el ámbito dimensional máximo y mínimo de

los objetos de mobiliario y sus piezas. Los dos programas utilizados, Revit y Rhino permitían extraer perfiles 2D de cada pieza transformada y anidarlos en una “plancha” 2D como archivo dxf y enviar a un fabricante para su corte. Hay que tener en cuenta que un diseño cualquiera en 3D, se tiene que descomponer en piezas o dibujos 2D las cuales deben colocarse en el plano horizontal para poder ser cortadas, y los programas mencionados lo realizan automáticamente. Cuando se citaba el término anidar las piezas, significa colocarlas en los planos horizontales lo más juntas que permita el sistema de máquinas utilizado, para optimizar al máximo la superficie.

Tras las variaciones manuales se definieron criterios de diseño para una versión automatizada en la que a través de una interfaz gráfica el usuario era capaz de visualizar las iteraciones. La interfaz de usuario ingresaría datos dimensionales en una tabla de diseño XML, que está vinculada a un modelo 3D definido paramétricamente en SolidWorks del objeto de mobiliario. SolidWorks haría extracciones automatizadas del modelo y produciría archivos 2D en .dxf, que se empaquetarían con especificaciones e instrucciones para la descarga. También estudiaban una versión en línea para descargar sus archivos de muebles de código abierto personalizados que se licenciarían a través de *Creative Commons*.

Este tipo de licencias han sido creadas por una organización sin ánimo de lucro que promueve el acceso y el intercambio de cultura. La parte legal de derechos se le atribuye al diseñador, pero se mezclan y se comparten sin fines comerciales de un usuario a otro. Esta etapa en línea proporcionaría fuentes de comentarios múltiples para desarrollar aún más el diseño de todo el proyecto, mejorando los correspondientes a los objetos, interfaz y el sistema.

Al introducir tantas variantes ya no diseñan preconcebidamente una morfología exacta de una silla, por ejemplo, sino que por medio de la suma de parámetros y condicionantes de cada usuario con sus necesidades resultaría un tipo de mueble del que a priori no conocemos su forma final. Además, introducen la variante de la escala, de manera que un mismo objeto pudiera tanto convertirse en armario en su versión de gran tamaño, en una mesa de café o en un pequeño banco para sentarse.

Otro de los parámetros posibles de visualizar por parte de los usuarios era determinar el coste y material del mueble, para facilitar numerosas opciones de tiempo, lugar y términos de fabricación, e incluso para ampliar las condiciones de propiedad del diseño, convertido en cuestión prioritaria.

En sus propias CONCLUSIONES este grupo de investigadores destaca que AtFAB llega a dos ideas principales para el desarrollo de este sistema de diseño. Por una parte, las amplias oportunidades que presentan ese nuevo escenario de la fabricación distribuida que ya comenzaba a ser una realidad por aquel momento de 2011, y por otra parte la ampliación del tipo de papel que ejercen los diseñadores para crear escenarios abiertos. Este segundo nuevo enfoque en el que los agentes ya no se definen por sus límites corpóreos sino por las relaciones que sustentan el proceso completo de diseño es viable gracias a este nuevo vehículo de conexión que lo ha revolucionado todo como es internet; AtFAB actuaría como ese agente que conecta, estos roles convencionales entre diseñador, fabricante y consumidor. Esta forma de trabajo propicia un mínimo movimiento entre materiales a favor de un movimiento de datos vía internet. De esta manera los productos están disponibles en más lugares y al mismo tiempo reduciendo o eliminando el transporte redundante y excesivo de mercancías.

El proceso de fabricación de AtFAB pasa de un solo fabricante multinacional a una red de pequeños fabricantes locales individuales, consiguiendo esta descentralización un beneficio en muchos ámbitos. Permite interacciones más personalizadas entre consumidores y fabricantes que se encuentran en cualquier lugar y en cualquier momento, de tal manera que los intercambios son más eficientes, adaptables y receptivos.

La mencionada red multiagente de fabricantes de AtFAB se centra en el diseño desde el punto de vista del usuario o sin autor, sin modelos predefinidos; bajo unos parámetros acotados, el diseño surge como resultado de una modificación de necesidades por parte del usuario. Aluden al artista conceptual Sol Lewitt para esta analogía en cuanto a la creación. En una de sus obras Lewitt describió un conjunto simple de parámetros de dibujo y dejó elementos particulares en la ejecución del material abiertos a la interpretación de los participantes. Estos parámetros demostraron cumplir dos requisitos principales, ser lo suficientemente elementales como para generar resultados casi infinitos según el sitio, el usuario y los materiales, y por otra parte lo suficientemente claros como para generar de manera consistente una obra de arte según sus estándares. El modelo AtFAB es similar, por una parte, se implementan varias experiencias que enriquecen el proyecto:

Sistema AtFAB	En un último nivel el proyecto muestra un modelo comprensible de manera que los arquitectos trabajen con BIM para poder ampliar herramientas paramétricas, redes sociales y fabricación digital, implementando y mezclando todos estos datos útiles, para que constituyan este sistema de diseño y construcción
Integra experiencia del arquitecto	
Integra experiencia de visualización	
Integra innovación	
Integra pensamiento sistémico	
Integra experiencia de usuario	

multiagente. Todas estas herramientas son primordiales, pero también se hace alusión a otro concepto de diseño, el *Design Thinking* ya que sin él no es posible sacar provecho de todas las ventajas.

Al diseñar relaciones y objetos, la versatilidad de trabajo de los arquitectos puede abrir simultáneamente más oportunidades para diseñar y crear estrategias para responder a incógnitas indeterminadas durante el proceso de diseño, que inevitablemente condicionan la perfección del mismo cuando ya está cerrado. Antes de la aparición de estas herramientas innovadoras, no hubiera sido posible implementar este papel del arquitecto más allá del resultado tradicional del diseñador-singular. En la actualidad los arquitectos están facultados para ofrecer diseño en sí

mismo en lugar de entregarlo físicamente como objeto final. Y al hacerlo se abordan desafíos cada vez más complejos que enfrentan la profesión, clientes y sociedades.

Como se puede comprobar, todo este trabajo constituye un proyecto de gran valor pedagógico. A través de su propio relato de un caso práctico se pueden conocer las complicaciones que se va encontrando el equipo hasta llegar a definir la línea de muebles finales. Como se vio en el proyecto de C-Lab hay muchos problemas que no se registraron, pero estudiando a AtFAB queda patente que tuvieron que enfrentarlos las empresas de carpintería con las que colaboraron. Su caso práctico constituye una experiencia de los beneficios y limitaciones que dan las CNC para mobiliario y producto. El enfoque es diferente del de los grupos teóricos.

Ambos grupos repiten muchos conceptos generales. C-Lab describe de forma más pormenorizada el desarrollo del proyecto, como un cuaderno de bitácora, mientras que AtFAB, partiendo de bases parecidas lo hace con una perspectiva más reflexiva, con mayor visión filosófica y mayor proyección futura de su sistema.

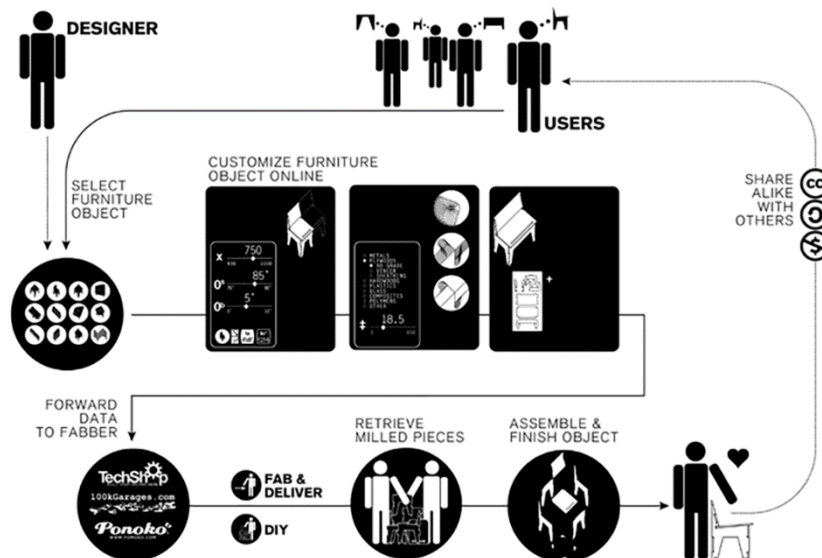
A1.5.2. #15. (2011) Design intercalated: The AtFAB project

# 15 2011	Design intercalated: The AtFAB project	Filson, Anne Rohrbacher, Gary	AtFAB at UK USA
--------------	--	----------------------------------	--------------------

Filson, A. y Rohrbacher, G. (2011a). Design intercalated: The AtFAB project. *International Journal of Design Sciences and Technology*, 18(2), 81-93.

Estudio analítico del artículo:

Se explican aquí los objetivos del proyecto, la definición del sistema de configuración, los resultados obtenidos y unas conclusiones generales. Entre las aportaciones más relevantes de este documento destacan la descripción de las herramientas, los conceptos y el flujo de trabajo utilizados para desarrollar AtFAB.



The AtFAB Workflow. En Filson, A. y Rohrbacher, G. (2011).

Empiezan por abordar la importancia de las técnicas digitales que producen una revolución en las capacidades de los diseñadores y arquitectos, con la realización de morfologías sin precedentes, introducción de flujos de trabajo novedosos en la construcción y entrega, y redefinición de la colaboración con el cliente y el equipo de proyecto.

Con la aparición de estas tecnologías los arquitectos comienzan a gestionar la mayoría de los procesos: modelado y computación de la información de construcción, la fabricación digital, redes sociales entre distintos agentes del proceso, etc. Esta irrupción de la tecnología, afirman, ha otorgado a los arquitectos la capacidad de revolucionar el rol en los proyectos. Por ello, en éste, proponen el cambio para facilitar el diseño mediante relaciones sistémicas en red.

Este ejemplo como diseño de mobiliario pretende demostrar que la arquitectura podría convertirse en un sistema de relaciones complejas, pero controladas, empleando el sistema y herramientas digitales que se proponen. Por ello plantean el diseño de un sistema de mobiliario como un modelo comprensible para la arquitectura y demostrar así un cambio en el pensamiento del diseño. En su investigación exponen cómo el concepto de emerger, la organización en red y el diseño de código abierto impulsan una metodología de diseño participativo.

El tema principal de este trabajo es una línea de muebles ecológicamente racionales, personalizables y fabricados digitalmente llamados AtFAB. Se enmarca totalmente en las directrices a cumplir en esta Tesis, una divulgación de todos estos conocimientos que mejoran los sistemas de producción, cuestión ya comentada en el apartado de Sostenibilidad. AtFAB involucra y aúna varios agentes en un proceso de diseño en un mismo flujo de trabajo: productos realizados con materiales laminados disponibles en todas partes, la proliferación de fresadoras CNC de 3 ejes, las crecientes redes sociales y plataformas compartidas que conectan fabricantes digitales profesionales y de bricolaje con consumidores locales mediante proyectos en línea.

El flujo sería el siguiente. Los usuarios seleccionan y personalizan sus muebles mediante interfaz interactiva. Descargan el archivo de corte, seleccionan un material o tablero, y los conecta con un fabricante local de CNC por medio de las redes de *Fabber*. El usuario recupera las piezas planas fresadas del taller de fabricación, las ensambla intuitivamente sin ayuda de herrajes ni adhesivos, y termina su pieza como desee. Para conseguirlo, en el proyecto se tuvo en cuenta solamente la tecnología digital más ubicua y no la más avanzada, además de buscar geometrías cartesianas y simples, programas sencillos con los que trabajar. Como ya se ha señalado, nuevamente la estética deja de ser una preocupación principal en todo el proyecto en favor de la sencillez. También se investigó sobre un proceso de entrega en red para tratar de reformular el rol del diseñador y usuario, propiciando iteraciones y resultados diversos, abundantes y eficientes. Mediante la comunicación entre ellos tras la entrega, se facilita un diseño empático y más receptivo.

Describen los objetivos y el alcance de la investigación, de manera muy didáctica, con ejemplos, siendo una de las partes de mayor reflexión teórica para los interesados. Una de estas bases teóricas versa sobre la consideración de una arquitectura emergente a través del diseño de componentes simples, posibilitados por el modelado paramétrico, lo cual propiciaría abundantes soluciones que encajarían en una gama más amplia de criterios, pudiendo cubrir más cantidad de soluciones. En definitiva, estamos ante uno de los objetivos de esta Tesis, en la que partiendo de un estudio de los primeros autores que profundizaron en algo tan mínimo “invisible” como los ensamblajes digitales, se ha originado un desarrollo tal que permite crear desde el simple mobiliario hasta complicadas construcciones, gracias a las tecnologías digitales.

De esta manera el equipo definió un conjunto básico de elementos esenciales del sistema de muebles que combinándose (mediante programas como Rhinoceros, Grasshopper y Revit) producen un número limitado de muebles distintos. En este estudio el equipo analiza dos temas, por una parte, tal y como funciona en los principios de emergencia en la naturaleza probar como “mucho” puede surgir de un “poco”, y por otra parte poder escalar este modelo pasando de un sistema de muebles a sistemas de arquitectura más grandes y complejos. El segundo objetivo pretende explorar un sistema de diseño que implementa datos por medios de la teoría de redes, priorizando el diseño de relaciones junto con el diseño de objetos para producir diseños,

estrategias y escenarios más receptivos. Se diseña AtFAB como un centro de red que vincula a los fabricantes digitales y una interfaz para usuarios. Diseñan relaciones, como su flujo de trabajo de fabricación distribuida que refunda los roles de diseñador, fabricante y usuario.

La red interna sería las relaciones que ocurren en múltiples escalas entre uniones, ensamblajes, combinaciones de ensamblajes y definiciones paramétricas. Con esta mezcla entre el concepto de emergencia y redes como modelos generativos se pretende cambiar el papel del diseñador de fabricante de objetos heredados a coreógrafo de sistemas. Se trata de enfocar los esfuerzos de diseño al principio, de manera que no se obtendrá una solución de diseño singular. Los productos se centran en el usuario y en programas de código abierto para permitir resultados adaptables en colaboración entre usuario y diseñador. AtFAB prueba y documenta el diseño de este espacio colaborativo mediante la creación de prototipos de procesos interactivos, combinando el modelado 3D con simulaciones de animación y obteniendo comentarios de usuarios y fabricantes.

Para desarrollar estos objetivos se basan en varios precedentes de proyectos que no están relacionados directamente pero sí existe la aspiración común de encontrar una forma a partir de acomodaciones de diversos elementos que interactúan. De los ejemplos mostrados llama la atención para un arquitecto el caso de Álvaro Siza que describe la arquitectura como un camino tortuoso, navegando por una trayectoria curva muy larga en oposición a una línea recta, puesto que los proyectos van recogiendo naturalmente más y más información. Siza prioriza las relaciones sobre los objetos, donde la forma se convierte en un subproducto, o registro de la recopilación de esa información. AtFAB busca un diseño parte del todo, pero en este caso con la ayuda de herramientas digitales, modelos de emergencia y teoría de redes. Con este diseño participativo y centrado en el usuario se obtiene información de éste para priorizar las necesidades, los usos y los deseos en el propio proceso de diseño.

Toda esta metodología cuyo término *Design Thinking*, que ya se ha nombrado con la investigación de Davis (2006), emplea la experiencia y los métodos del diseñador para hacer coincidir las necesidades de las personas con lo que es factible, tal y como pretende este proyecto. Toman como un territorio prometedor la incorporación de las necesidades del usuario, del cliente y del público. Los objetos se suelen diseñar como productos efímeros, impulsados por el mercado, que requieren revisar todo el proceso de diseño cada vez que surgen nuevas interpretaciones, revelaciones, necesidades o contextos.

Nuevamente describen el sistema y sus pruebas, volviendo a basarlo todo en la identificación de modelos operativos análogos para la emergencia, la teoría de redes y el código abierto. Dentro de la aplicación de la teoría de emergencia de redes adoptan nuevamente el concepto de John Holland. Buscaron definir lo que podría ser “poco” para, mediante proliferaciones de las opciones finales, configurar lo que sería “mucho”. Este componente elemental intercalado en la construcción de muebles es la junta que funciona entre la herramienta y el material, permitiendo un ensamble simple y duradero que se agrega para formar construcciones múltiples.

Tras estas premisas desarrollan la junta S/Z (ver imagen pág. 166) por su fuerte relación ortogonal de tres lados, entre dos formas planas cortadas de material laminar por una fresadora CNC. Tras esta unidad básica definen conjuntos de criterios básicos combinables con S/Z al tiempo que maximizan la cantidad y variedad de resultados para lograr “mucho”. Estos conjuntos con juntas S/Z conectan piezas que forman conjuntos de estructuras básicas que identifican como vierendeel (en mención a la viga inventada y patentada por Jules Arthur Vierendeel); torsión, rotación y cortante que resuelven de manera eficiente las distintas fuerzas que soportarían los productos que responden a las funciones programáticas básicas y reductivas de sentarse, trabajar, almacenar y proyectar. Estas funciones básicas hacen predecir las solicitaciones estructurales a las que se va a someter a los muebles y sus juntas, y que, como se ha estudiado con las investigaciones técnicas

de Mendel University, una colaboración multidisciplinar para obtener los valores de las resistencias de las piezas no se basaría en estimaciones sino en comprobaciones contrastadas por sus métodos.

Al combinar todos estos criterios de base desarrollaron 12 muebles distintos en un proceso de diseño iterativo que proporcionó continuas reacciones para revisar y refinar los criterios generativos. Incorporan definiciones paramétricas para obtener más variaciones y más “muchos”, de manera que el sistema opera de manera similar a como funciona la emergencia en la naturaleza. Se identificó un crecimiento modular y dimensional de algunos muebles, y el cambio en el grosor del material que podría crear una variedad significativa y tangible en todos los objetos. Tras definir los tipos básicos de transformación se pasa a un software paramétrico, utilizando Grasshopper y Revit para coreografiar con precisión las transformaciones que podrían maximizar la variedad de resultados para cada mueble. La investigación descubrió que la definición de límites, paradójicamente, podría maximizar las opciones para los usuarios y tener el potencial de adaptarse a sus necesidades imprevistas. Sin la definición de estos límites no obtuvieron resultados más cualitativos. En esta segunda etapa descubren que estas definiciones paramétricas coreografiadas se convertirían en la plataforma para el proceso de diseño de múltiples agentes formando la base de la interfaz del usuario de AtFAB.

Dentro del desarrollo del flujo de trabajo colaborativo, AtFAB se centró en dos vertientes claras: por una parte, implicar al creciente número de talleres independientes de fabricantes CNC y por otra las herramientas emergentes de redes sociales que los vinculan. Se convierte en un agente conector entre fabricantes y usuarios que mitiga los roles convencionales de diseñador, fabricante y consumidor en el proceso de fabricación. El consumidor es un nuevo tipo de usuario-fabricante que selecciona un mueble y a través de la interfaz en línea lo transforma. Una vez configurado su mueble en la web se le envía por correo electrónico los archivos y especificaciones de corte a un fabricante local que a su vez está vinculado a redes de fabricantes emergentes de talleres de fabricación digital independientes.

En la primera fase de creación de prototipos el equipo advirtió varias curiosidades: que los usuarios podían ser sus propios fabricantes, que los fabricantes preferían refinar el diseño para una maquinaria específica y que los usuarios interpretaban los diseños de maneras que no habían anticipado. Gracias al sistema de trabajo iterativo propuesto es posible recoger estas aportaciones por parte de otros agentes del proceso creativo de manera fluida, y que de la forma tradicional de producir diseño nunca un creador hubiera podido conocer dichas apreciaciones. Gros planteó esta comunicación solo entre diseñador y productor principalmente.

Con el proceso de AtFAB quedaba patente la adaptabilidad del modelo en red que aseguraba una mayor posibilidad de que el sistema encontrara relevancia o como en la naturaleza, supervivencia. La fabricación digital distribuida, facilitada por la disponibilidad de las fresadoras CNC y la información en red, permite que la producción del sistema de muebles dependa de la transición de información en lugar del transporte de material. Este flujo de trabajo permite un proceso de fabricación que convierte al fabricante solitario en un fabricante multinacional completo, con una cadena de suministro y distribución, a una red sólida de pequeños fabricantes locales individuales. Hay que recordar que Gros planteaba ya este tipo de producción defendiendo la activación de economías locales.

Durante una de las primeras fases del análisis del sistema, reevaluaron los conjuntos básicos de criterios y elementos esenciales que se combinaban junto con las definiciones paramétricas, las definiciones de espesor de material y el flujo de trabajo de fabricación en red abiertos a la determinación del consumidor y el fabricante.

Para recopilar conocimientos más generativos trabajaron con varios tamaños de empresas, grupos de prueba pequeños siendo estos más intensamente comprometidos que con los grupos grandes. De esta manera pudieron refinar el diseño del sistema de objetos y el sistema de fabricación descentralizado y paramétrico interactivo que afecta y es afectado por el diseño del objeto.

Dentro de las pruebas con los fabricantes se produjeron anomalías con los cortes con fresadora CNC que no encajaban bien teniendo que hacer ajustes de tolerancias. Una vez subsanados se prueba con otros proveedores con distintas máquinas CNC como cortadoras láser industriales y máquinas de chorro de agua que cortaban madera, láminas acrílicas y aluminio dando nuevos problemas según las máquinas. Por ello se decidió incluir una pequeña pieza de prueba que los fabricantes deberían cortar repetidamente antes de la fabricación completa para calibrar la fresa y ajuste entre piezas. También se advirtieron problemas de comunicación que los *fabbers* malinterpretaban ciertos archivos. Por lo tanto, se procedió a simplificar los archivos de corte en: cortes internos, externos y agujeros, y con una sola fresa de corte. Con estas implementaciones: pieza de prueba, archivos simplificados e instrucciones refinadas se lograron resultados exitosos en la fabricación para una variedad de máquinas CNC. Con todo este proceso el equipo tiene menos control sobre el diseño formal, pero había aumentado significativamente el alcance al diseñar un proceso fluido y las relaciones entre el sistema y múltiples condiciones externas imprevistas.

En la fase de pruebas de usuario pasaron de garantizar esa facilidad de fabricación y simplificación de comunicación entre agentes remotos a centrarse en permitir un ensamblaje simple mediante prototipos escalados de todos los objetos de AtFAB. Corroboraron que esos objetos a excepción de uno podían ensamblarse intuitivamente, por lo que agregaron un sistema de grabados por la CNC aclaratorios que resolvieron el problema. Para generar iteraciones deseadas trabajaron con perfiles varios como estudiantes, arquitectos y otros; empleando métodos interactivos para facilitar el proceso como Rhino Grasshopper. Descubrieron que esta coreografía de definiciones paramétricas satisfacía las necesidades más básicas de los usuarios en los objetos más simples (mesas, sillas, etc...) pero cuando querían transformar varios objetos en dimensiones grandes se convirtió en un reto al peligrar la integridad del mismo. Se propusieron mínimos cambios en el diseño, pero se establecieron definiciones paramétricas restringidas, con precisión, para mantener la integridad de todos los ensamblajes del sistema de AtFAB. También advirtieron lagunas funcionales de algunos objetos pequeños, adaptándolos, ampliando las restricciones paramétricas.

Según los resultados de las pruebas, el equipo afirma que el momento de un arquitecto para presionar en el diseño sucede cuando pueden diseñar sistemas de manera experta, y definir parámetros que residen dentro de libertades limitadas. Al ofrecer un diseño (como un gran objeto de almacenamiento) y preservar las restricciones y límites clave, que son fundamentales para el éxito funcional (como preservar la integridad estructural de un objeto), cumplen los deseos de un usuario. De la misma manera, el desarrollo de un diseño sistémico resiliente, que se adapta a comentarios de usuarios, también cumple. Una estrategia de diseño abierto resistente y adaptable puede abordar áreas reconocidas de indeterminación, ya que el diseñador no puede conocer todas las interpretaciones ni anticipar cómo evolucionarán inevitablemente las condiciones prevalecientes.

En cuanto a los comentarios sobre la experiencia de usuario realizaron una exhibición de prototipos en la Word Makerfaire 2011, una exposición pública que posiciona la tecnología y la cultura del bricolage. Recopilaron un volumen de respuestas anecdóticas en lugar de datos sobre los diseños. Tuvieron comentarios muy positivos, pero encontraron barreras que validaron posteriormente con datos medibles. Tras proporcionar la web a 800 visitantes, el 40% visitó el

sitio en la semana siguiente, y el 20% de esos visitantes descargó un archivo de corte para fabricar. Puede que parte de esta barrera no se supere porque muchas personas siempre desearán objetos terminados. El equipo comenta que la barrera de implementación debe superarse a medida que las redes de fabricación digital y los recursos del consumidor se vuelven cada vez más accesibles. Gracias a que las herramientas paramétricas se van implementando se reposicionan más fácilmente hacia interfaces interactivas en línea teniendo la capacidad cada vez mayor para involucrar a los usuarios de nuestros diseños.

Desde un punto de vista genérico, añaden, tenemos la oportunidad de usar estas herramientas para generar conocimiento útil y latente sobre las necesidades y deseos; y desde un punto de vista más particular mediante estas herramientas que nos permiten medir muchos aspectos también recopilar patrones de entrada del usuario durante el proceso de personalización y descarga. Se podría recopilar los patrones de las tendencias de los usuarios durante el proceso de personalización de AtFAB, qué piezas, espesores de material, máquinas, dimensiones o formas pueden ser preferibles, o dónde, cuándo y cuántas piezas se descargan para la fabricación. Con este diseño sistémico esta información se puede usar para refinar productivamente todos los aspectos de AtFAB para que siempre pueda abordar los deseos del usuario.

Finalmente entran a definir las conclusiones del proyecto. En primer lugar, manifiestan que AtFAB no se centra en una propuesta para el mejor diseño de muebles sino en un esfuerzo por proporcionar un diseño de muebles que sea el mejor para la mayoría. La aportación principal no consiste en una innovación radical sino en el aprovechamiento productivo de las tecnologías como las CNC, redes sociales y herramientas paramétricas interactivas, repensando a través de ellas el rol, alcance y posición de los diseñadores. AtFAB demuestra un proceso de diseño evolutivo de generación de relaciones sistémicas y en red que vinculan al diseñador con infinitos otros e infinitos resultados, en contraste con los procesos predominantes típicos que vinculan a un diseñador con un diseño.

AtFAB, como diseño sistémico, garantiza que muchos objetos de mobiliario se puedan fabricar con muchos materiales y se encuentren en muchos lugares, donde se pueden producir bajo demanda en cualquier momento. Afirman que han encontrado un método para lograr mucho, abundancia y adaptabilidad. Más allá del contexto del diseño de muebles, su investigación ilustra cómo un pensamiento de diseño evolucionado puede dar a los arquitectos la capacidad de trascender las agendas tecnológicas formales y transaccionales, y desplegar innovaciones para vincular estrechamente los sistemas interrelacionados dentro de un proyecto, con las complejas condiciones que lo rodean. Es curioso cómo al igual que pasara en la Bauhaus se le da importancia a la figura del arquitecto como agente capacitado para poder gestionar de forma adecuada a todos los gremios que participan.

Afirman que se está produciendo un cambio lento en la educación arquitectónica centrada en el objeto y los planes de estudios de diseño, como lo demuestra el creciente número de programas interdisciplinarios y transdisciplinarios. Los esfuerzos de diseño tienen el potencial de producir resultados con mayor relevancia y potenciar la profesión que solo ha visto su estatura declinar durante décadas. Ven el próximo paso como el empleo de los motores generativos de AtFAB en el contexto arquitectónico más amplio. Creen que los edificios poseen un conjunto similar de relaciones sistémicas y tecnológicamente dependientes, que están vinculadas a un conjunto de partes completamente diferente.

Las definiciones paramétricas podrían ser literalmente familias BIM en un escenario arquitectónico, y también podrían ser un diseño de proceso para definir restricciones y numerosos sistemas que compiten simultáneamente. Diseñar relaciones a medida que diseñamos la arquitectura nos permite implicar productivamente a los órganos organizativos en torno a un

proyecto, para influir en el proceso de construcción, y para incorporar productivamente las condiciones políticas, económicas y ambientales en la mezcla. Al ver más allá de la construcción de objetos, podemos ganar responsabilidad y, en última instancia, controlar, para generar una arquitectura intercalada que sea adecuada para convertirse en parte de todo.

A1.5.3. #27. (2017) Design for CNC: Furniture Projects and Fabrication Technique

# 27 2017	Design for CNC: Furniture Projects and Fabrication Technique	Rohrbacher, Gary Filson, Anne	France, Anna Kazianas Young, Bill	AtFAB at UK USA
--------------	--	----------------------------------	--------------------------------------	--------------------

Rohrbacher, G., Filson, A., France, A. K., & Young, B. (2017). *Design for CNC: Furniture Projects and Fabrication Technique*. Maker Media.

Estudio analítico del libro

Comienzan con un breve repaso de ejemplos relevantes en mobiliario realizado con esta tecnología. Posteriormente una visión de conjunto sobre conceptos de ensambles, técnicas y ejercicios con programas digitales que habilitan para adquirir conocimiento esencial sobre fresadoras CNC, incluso si no se tiene a disposición. Se presentan una sucesión de ocho muebles comenzando por los más pequeños y simples y avanzando luego en técnica, escala y complejidad.

La Parte I está enfocada a “diseñar para fabricar”, empezando con explicaciones generales sobre conceptos de diseño con CNC, por medio del desarrollo que realizó AtFAB. Culminan con dos ejercicios en CAD, uno para irse familiarizando con el flujo de trabajo de estos programas y el segundo mediante un proceso de diseño de una pieza tridimensional hecha de partes planas.

La Parte II la denominan “lo virtual encuentra lo físico”, por lo que todo versa en esta transición, con una introducción sobre materiales y técnicas, detalles sobre el corte con fresadora, todo ello a través de ejercicios que se pueden completar sin el acceso directo a una CNC. Continúan con la parte de Proyectos con el estudio de seis muebles.

La Parte III se centra en técnicas de fabricación para niveles intermedios.

La Parte IV aborda las partes que se mueven y estructuras grandes, y se culmina con un ejercicio que incluye múltiples tableros.

El libro finaliza con referencias y guías para futuros proyectos, con informaciones relativas a recursos para adquirir materiales, así como de las fresadoras, fresas, etc.

La profundización, de manera que en unos capítulos se hace más exhaustivamente que en otros, responde únicamente a un criterio de importancia de conceptos para un diseñador que se adentra en fabricación digital.

No se tiene intención de ahondar en la parte de los programas informáticos puesto que se cuenta con más ayudas al respecto en cualquier manual por internet. Acceder, pues, a dicho conocimiento no es complicado. Uno de los valores añadidos que aporta este libro es precisamente recopilar las partes prácticas ya mencionadas, cuestión verdaderamente complicada de encontrar de una forma unificada.

Es preciso enfatizar en la relevancia de estudiar este documento para obtener un buen nivel en el campo de la fabricación digital. También aquí se muestran otros conceptos que introducen los autores.

Capítulo 1

En este capítulo se ofrece una explicación general del enfoque del proyecto, justificando su viabilidad. Algunas de las cuestiones en las que incide ya han sido explicadas en los artículos anteriores.

Interesan las reflexiones teóricas de las que parten, algo menos exhaustivas que las de Gros en Offenbach, en las que se hacía un profundo estudio sobre lo publicado acerca de las crisis en el diseño de aquel momento. En este caso realizan afirmaciones que, sin estar del todo contrastadas, persiguen conseguir los objetivos que plantean.

Con el arranque de este proyecto, iniciado cinco años antes de escribir este libro, desarrollando esa línea de muebles fabricados con tecnología CNC, contribuyen a un nuevo paradigma de fabricación con impactos muy positivos para economías locales y el medio ambiente. Este nuevo paradigma se fundamenta, según ellos, en tres fases específicas, sobre las que versa todo su proyecto y que van justificando una por una:

- 1 Una línea de mobiliario personalizable online
- 2 Diseños para ser descargados como archivos digitales
- 3 Fabricados en cualquier localización

Si se analizan bien estos tres puntos, el primero está condicionado por los dos siguientes para cerrar todo el ciclo. Tras años de trabajo de AtFAB realizando múltiples pruebas e iteraciones entre las fases 2 y 3, han sido capaces de aportar contenido a la fase 1. Este libro lo presentan como un manual de diseño moderno a seguir al que cualquiera puede tener acceso a los archivos 3D para obtener su diseño o adaptar sus detalles para resolver otros proyectos. Dado su carácter divulgativo y su idea de máxima expansión de este conocimiento, aclaran que el uso de su material con fines educativos es de libre disposición en centros docentes o academias, pero no se permite obtener beneficio económico.

Para poder crear esta colección de la fase 1 y que concuerde con las demás es necesario compartir un lenguaje común preciso, uniones digitales, ensamblajes estructurales y formas volumétricas generales proporcionadas. Tanto la tecnología aplicada como los condicionantes mencionados normalmente se asemejan morfológicamente entre sí. Aseguran que no pretenden introducir un estilo determinado sino un equilibrio entre los requisitos y limitaciones de la máquina, material, mano de obra, función y estética. Para ellos es básico buscar una sencillez máxima en todas las piezas que conforman los diseños para que faciliten el proceso de fabricación, y el hecho de que los diseños digitales se puedan compartir y sean entendibles por todos conlleva a esto inevitablemente. Complicar estas piezas repercute en un mayor tiempo de fresado, cambios de fresa, giros de material y codificación adicional. Es por ello que han eliminado todo lo relacionado con el fresado 3D ya que es más complicado y el uso de los cortes en 2D a una cara simplifica el proyecto y su entendimiento por principiantes.

La parte estética es algo que suele preocupar a los grupos de investigación de diseño, como ya se ha visto en los escritos de Steffen (2006) o de Davis (2006). AtFAB también lo hace concediéndole más importancia al proceso que a la estética general. En este libro citan al arquitecto y diseñador George Nelson de mediados de siglo XX, quien dijo “El diseño total no es ni más ni menos que relacionar todo con todo”. Con esta cita pretenden justificar el hecho de que muchos diseños CNC compartan un aspecto único. Afirman que normalmente el buen diseño es el que inevitablemente trascenderá al estilo y a la estética, que se suele cumplir cuando los diseñadores relacionan todo con todo. La incorporación de una amplia gama de criterios imprime a las cosas una lógica,

integridad y belleza inherente que de otra manera sería muy complicado lograr. En base a esta premisa rematan que cuando se diseñe para CNC no es lógico realizar algo que se parezca a algo, que lo normal es que haya salido así por la técnica empleada en ese momento.

Las fases 2 y 3 desarrollan la Fabricación Digital. Según lo definen ellos tiene que ver con un baile iterativo entre software y hardware con el diseñador como coreógrafo. Es una analogía que ya mencionan en (2011b) que describe lo que pasa en un proceso de diseño digital con las idas y venidas que implica la realización de modelos virtuales, para posteriormente crear un objeto físico con CNC; y el diseñador dirige que ambos mundos, el virtual y el físico concuerden. Estas herramientas digitales facilitan mucho la fase de creación mediante el análisis y evaluación de un prototipo inicial. Significa mejorar el modelo virtual, fabricar la siguiente iteración, y repetir el proceso hasta que el objeto tiene todas las funciones necesarias y características. El mismo proceso que, como se vio en los artículos anteriores, siguieron para obtener los resultados que exponen en su libro.

La fase 2 comienza a abrir vías más tangibles sobre la sostenibilidad del proyecto. Gracias a esta característica de diseño en red y la posibilidad de descargar los archivos fortalece su idea del envío de archivos por internet en vez de transportar muebles u objetos. Antiguamente estaban unidas las líneas de producción con el proceso de diseño y cerca de las fuentes de las materias primas, pero hoy en día es algo global. Hacen referencia aquí a que Ikea no vende muebles sino materiales pre-cortados estandarizados y unas instrucciones con tornillería para ensamblarlos. Además, gracias a las redes no es necesario tener una máquina ya que éstas permiten poner en contacto a quien tiene un centro de mecanizado con el que lo necesita. Por lo tanto, se pueden enviar archivos a lugares que corten esas piezas con materiales locales y los ensamblen de manera intuitiva.

Dicho esto, quizás sea factible vender los diseños y que los produzca el cliente, ya que los archivos contienen las instrucciones necesarias. De esta manera se pueden implementar elementos o materiales distintos según el productor local, quedarse con el diseño genérico o simplemente realizarlo en un espacio *Maker* aunque ya se estaría entrando en fase 3. Estos espacios son entornos que poseen maquinaria CNC a disposición de usuarios.

En cuanto a la fase 3, para producir digitalmente, relatan en lo que consiste la producción con CNC, aunque más adelante escriben un capítulo destinado a las herramientas. Una CNC en general la definen como una máquina que mueve una herramienta de corte, o de deposición en el extremo de su brazo, también controlada por ordenador. El ordenador lee el archivo digital que posee coordenadas 2D o 3D y le transfiere a la máquina dónde se tiene que mover la herramienta que puede ser sustractiva, como cortar, tallar o grabar, o funciones aditivas como la impresión 3D. Se están convirtiendo en herramientas de trabajo con gran potencial y señalan que, si la segunda revolución industrial fue una gran fábrica centralizada para producciones en masa, en este caso las nuevas generaciones de herramientas CNC permiten “personalizaciones en masa”. Este tema ya lo reflexionaba Gros en Offenbach, que también abogaban por posibilitar el mejor camino para volver a la fabricación local, creando trabajos cualificados y abriendo un nuevo terreno para los emprendedores tanto en diseño como en producción.

La fabricación en general se realiza normalmente en un lugar remoto y centralizado, con maquinaria específica para realizar piezas en masa idénticas entre sí. Pero como bien afirman, la Fabricación Digital permite además una personalización en masa, producción local en tiempo y una calidad de artesano digital. Esta metodología no solo propicia la tercera revolución industrial sino un avance en la nueva manera de hacer las cosas. A este cambio de localización la denominan la geografía de producción distribuida e incide en lo sostenible del proyecto puesto que evita un excesivo traslado de mercancía. Se producen movimientos en todas las fases: captación remota

de la materia prima, transporte de la materia transformada a fábricas, transporte de esa materia procesada a centros logísticos, transporte a centros locales y regionales, y por último acaban en nuestro carrito de la compra para llevarlos a casa.

Con todo este recorrido, dicen, deberíamos concienciar a los consumidores de que un bajo precio minorista implica en la mayoría de los casos un alto impacto ambiental, coste social y cultural. Según esta reflexión, continúan, los consumidores están más familiarizados con productos de largos tránsitos que con productos longevos, y no se reflexiona sobre el esfuerzo que se realizó para producirlos en una fábrica lejana. Estos productos carecen de autenticidad o significado para los que los adquieren cuando son nuevos, y que se deshacen de ellos de manera rápida una vez finaliza su corta vida útil.

Continúan, haciendo referencia al bricolaje o *DiY Do-It-Yourself*, de cuyo concepto se hablará más adelante, siendo una alternativa obvia y autosuficiente que si se une con un conocimiento básico en diseño con CNC se obtiene doble impacto positivo. Como esta tecnología permite compartir los diseños con una red de creadores y fabricantes remotos, se respalda este nuevo paradigma de fabricación. De esta manera Filson y Rohrbacher refuerzan su idea sostenible de enviar información “en vez de cosas” ya que de esa manera se fomenta y se promueve colectivamente un método de fabricación con muchas consecuencias positivas para el medio ambiente, las comunidades locales y las economías democratizadas.

Además del transporte de mercancías, otro problema que se refleja en el contenido de este libro es el un daño colateral a la optimización de la producción en las fábricas. Según reflejan, se iba reduciendo el proceso de mano de obra para abaratar costes y se introducían piezas de tableros de partículas que permitían muebles más livianos y optimizados. Pero en esos puntos en los que las piezas duras se encuentran con el tablero es donde más esfuerzos se produce introduciendo piezas extras contaminantes que los debilitan. Se recuerda que hasta esta fecha la debilidad de estos puntos ya era mencionada por autores de grupos de investigación relacionados con diseño estético como Gros, Steffen o Davis, pero también por autores de los grupos técnicos como Šimek y otros que se señalarán a medida que aparezcan. Normalmente esos puntos no resisten de esfuerzos por lo que una simple mudanza puede acabar con la vida útil del mueble.

Por ello el diseño para CNC quieren que se convierta en un potenciador para restablecer la calidad y la integridad que se ha perdido en los productos fabricados en masa. Hay que recordar que los escritos de Gros con el C-Lab planteaban la misma idea, sobre la crisis en el diseño, que lo que se publicaba en los 70 del siglo XX, y que, como ellos, también proponen esta tecnología para combatir el mismo problema de identidad ocasionado por la producción en masa.

Por todo esto AtFAB considera que una producción de carpintería compleja optimizada con CNC repercute positivamente en complementar la capacidad estructural de los materiales modernos ya que las uniones con ensambles con el mismo material lo potencian. Para ellos, este factor empoderaría a la industria para que vuelva a fabricar muebles asequibles, bien elaborados y duraderos. Gracias a esta tecnología al alcance, el diseño para CNC es capaz de poner en manos de un fabricante individual esa capacidad industrial de cambio, afirmando tener la habilidad de muchos maestros carpinteros, pero de forma automatizada.

Otro punto interesante que se recoge en el libro es el enfoque versátil para diversos usuarios. Incluye una alternativa autosuficiente, accesible y verde, en contraposición a la compra de muebles importados de un gran minorista. También a usuarios que aprenden mejor, bien “Haciendo Proyectos” o bien gracias al seguimiento de sus descargas, que encontraron perfiles como diseñadores, desarrolladores de software, *makers*, profesores, estudiantes, fabricantes profesionales, trabajadores de la madera y más. Son cuatro las figuras específicas simplificadas de

usuarios: diseñadores, fabricantes, profesores y emprendedores. Para profesores, el destino principal del contenido de este libro (coincidente con el objetivo de esta Tesis) constituye una guía que se pueda convertir en un material que sirva en contextos y objetivos educativos.

Otro propósito del libro se dirige a instructores para enseñar *design thinking* aplicado a ingeniería y a otras disciplinas que apoyan la innovación y el espíritu empresarial a través de la fabricación avanzada. Finalmente, en cuanto a los emprendedores, significa una guía que tiene el poder de transformar economías locales, conectar gente situadas a grandes distancias a través de la fabricación compartida y cambiar radicalmente la forma en que fabricamos, compramos y vendemos productos. Gracias a la concurrencia de todas las partes, se trabaja con uno de los mejores métodos de aprendizaje que consiste en la capacidad de “Decidir Haciendo”, recordando aquí la coincidencia con buena parte de la metodología de la Bauhaus.

En cuanto a posibles inconvenientes para desarrollar completamente lo que se propone en este libro se encontraría la falta de acceso a fresadora CNC. Ante ello proponen la alternativa de utilizar cortadora láser ya que los proyectos están preparados para escalarse.

Tras lo hasta aquí mencionado habría que citar a agentes que han contribuido a que Filson y Rohrbacher tuvieran las herramientas suficientes para construir AtFAB.

Bill Young es fundador de una comunidad que conecta distintos propietarios de máquinas CNC y que se llama *100kgarage*. Creía en el potencial de esta tecnología, pero al tratarse de maquinarias caras, en sus comienzos trató de democratizar la producción de elementos cotidianos con esta iniciativa, ya que se dio cuenta de que no es necesario que cada cual tuviera una, pues la mayoría sólo necesitaría fácil acceso. Lo han convertido en un recurso digital o Marketplace que tiene la función principal de conectar dos tipos de personas: un *maker* que necesita cosas fabricadas con herramientas digitales y un *fabber* que tiene esas herramientas. Este tipo de empresas sigue siendo algo difícil de encontrar, aunque cada vez está más presente en ciudades con suficientes habitantes y con público amante del diseño. No obstante, todavía es escasa la formación existente tanto en diseñadores que sepan plantear sus proyectos con estas máquinas, como en establecimientos que controlen esta técnica. Y es éste uno de los objetivos de esta Tesis, la transferencia de este conocimiento para hacer posible este cambio del tejido industrial de producción del diseño.

Introducen una breve descripción de la historia del mobiliario con CNC centrándose exclusivamente en diseñadores que hayan utilizado esta tecnología sin profundizar en partes técnicas como es el caso de los ensambles. Para obtener una base de conocimiento más completa en este campo se realizó una búsqueda de cada uno de los autores mencionados en este libro para comprobar si se trataba de trabajos y de miembros con publicaciones académicas. A ello se hará referencia en otros apartados (Capítulo 2.11. y A1.6.).

Para concluir Filson y Rohrbacher invitan a los lectores a que se unan a esta revolución ya que existe un ecosistema de fabricación digital cada vez más sólido, de manera que, si se quiere compartir diseños o conocimientos de fabricación digital, consideran que es más fácil que nunca.

Una vez finalizada esta parte que corresponde con el Capítulo I, con visiones generales explicativas del proyecto, comienzan a partir del Capítulo 2 con la parte más práctica del libro, en la que el lector comenzará a adquirir conocimientos para una capacitación en el diseño de muebles con CNC. Así pues, en adelante, se simplificará la información recomendando la consulta directa de la fuente, dado su gran interés.

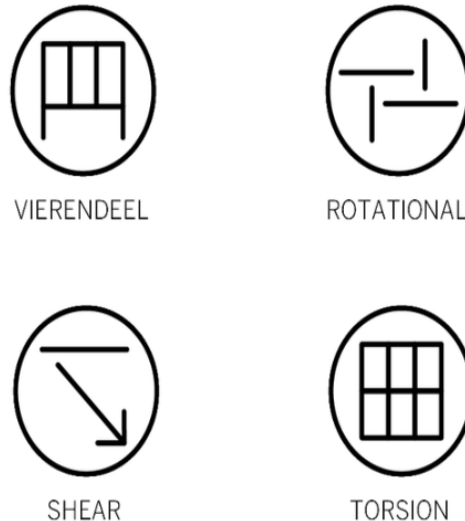
Capítulo 2. “De la fresa al mobiliario de colección”

Contiene este capítulo informaciones al efecto cuya consulta se considera relevante y que trataremos de resumir. Por una parte, algunos conceptos prácticos de base, ya mencionados, y que aquí se explican, como las clasificaciones de las CNC entre aditivas y sustractivas. También en este capítulo introducen cuestiones relativas a las fresas, que se recuerda que son las herramientas que por rotación realizan el corte del material; tipos de corte, el gran problema de los redondeos en los cortes interiores de ángulos inferiores a 180º, etc. Todo esto desde la perspectiva del dibujo virtual, explicando incluso cómo se dibujan esos redondeos para no tener problemas en encajes de piezas.

Explican varios ejercicios prácticos para entender los cortes con respecto a las líneas que se dibujan y las trayectorias que van a seguir durante el mismo, para saber con antelación cómo y de qué manera se cortarán las piezas. Se practican las diferencias entre corte interior, exterior, sobre la línea y regiones para poder realizar rebajes; y todas las implicaciones para un resultado predecible.

Una vez explicados estos conceptos básicos de representación continúan con la parte en la que AtFAB hacía especial hincapié en sus proyectos, como lo son las uniones, en las que definen 8 condiciones distintas de situaciones posibles para una unión por superposición de piezas (se muestran en el Capítulo 3.1.2.).

A través de estas uniones básicas definen los tipos de ensamblajes, que siempre tratan de unir tres planos distintos para adquirir una estructura robusta. Su unión básica se denomina ensamble S/Z y a partir de ella se desarrollan otros ensamblajes, como se muestra en el Capítulo 3.1.2.



Tipos de estructuras básicas. *Design for CNC*. Filson et al. (2017)

Posteriormente describen los cuatro tipos clásicos de estructuras que resuelven distintas sollicitaciones, que fueron mencionados en los artículos previos de AtFAB ya explicados: corte, torsión, estructura *virendeel* y estructura rotacional.

Tras estas explicaciones definen lo que es un Programa para AtFAB y hacen una semejanza en arquitectura sobre todos los condicionantes y requerimientos que hay que tener en cuenta para definir un proyecto. En este caso para mobiliario, entienden que es una forma en la que

describiendo dicho “programa” con los requerimientos básicos un diseñador, se le facilita la labor de diseño con el propósito de tener una clara visión de las uniones, ensamblajes y estructuras. De esta forma definen cuatro tipos de programas: sentarse, trabajar, exponer mediante superficies verticales autosustentables, y almacenar.

Tras estos conceptos que van conformando la morfología general, explican conceptualmente algunos ejercicios, que se verán en la parte práctica, y cómo y por qué se llega a solucionar sus morfologías de esa manera, además de los problemas que atraviesa un diseñador en su toma de decisiones como las ergonómicas, estructurales, etc. Pero lo principal para ellos es construir el proyecto de cada usuario, permitiéndoles hacerlo suyo, ya que pueden modificar los archivos. El primer mueble que explican es “La silla 5-30 minutos” que debe su nombre al tiempo máximo que resultaría cómoda. En este ejemplo, las piezas más estructurales, en forma de ranuras y pestañas, son las que soportan el máximo de cargas, pero admiten que han introducido elementos de uniones secundarias como pasadores.

En este punto hay que hacer una pausa para mencionar que hay algunos diseños planteados en este libro que no se ajustarían del todo a los requisitos planteados en esta Tesis. Interesa todo lo que tiene que ver con el diseño y mecanizado con la fresadora de tres ejes, pero una de las premisas era la posibilidad de que las piezas de mobiliario fueran desmontables, en la medida de lo posible, y que se autoensamblaran. En el caso de este proyecto hay algunos muebles que necesitan de piezas metálicas para completar el ajuste completo entre piezas. Estas piezas metálicas no soportan los esfuerzos estructurales solo evita que las piezas se desplacen en algunos casos. Con el autoajuste por fricción se busca la no utilización de esos elementos secundarios de sujeción como pasadores, ni ningún tipo de adhesivo o cola, que, como se verá en otro artículo más adelante y en otro apartado sobre sostenibilidad (Capítulo 4), son elementos muy contaminantes e insostenibles para esta industria. Indican que, con la cantidad de ranuras y lengüetas entrelazadas que han distribuido entre los planos que se conectan en cada parte, son en sí mismos intrínsecamente fuertes y permanecerán intactas, tras la presión que les ejercerán, incluso abusando de ellas. Esta integridad estructural garantiza que un mueble permanezca resistente y funcional por muchas décadas de uso intensivo.

Al llegar a este aspecto es cuando introducen el tema de las uniones y empiezan a preocuparse por la parte técnica de resistencia de materiales. Este primer ejercicio tiene una morfología muy parecida a la realizada por Šimek en su primer artículo de cálculo y dimensionado de las piezas con FEM. No se hace mención a la investigación citada en este libro ni en los artículos de este equipo de investigación, aunque las formas se parezcan mucho; y ninguno de los dos equipos ha hecho referencia al otro, aun publicando en fechas parecidas. Ciertamente es que como bien señala AtFAB son formas tan simples con el fin de que sea fácil de ensamblar, que no es difícil que dos equipos llegaran a estéticas próximas, al tratar de simplificarlas al máximo.

Sin presentar un estudio técnico ni un análisis de fuerzas, como lo hicieran otros grupos de investigación técnica, o Categoría 1, en el campo de la ingeniería de la madera, Filson y Rohrbacher apenas hacen mención a los esfuerzos que va a presentar la silla. Se limitan a señalar que el mobiliario hecho con uniones a base de madera de contrachapado será duradero, lo cual concuerda poco, viniendo de un equipo de arquitectos con formación en cálculo de estructuras de la edificación. Pero en este caso no se juega con la optimización del material para obtener la mínima sección. Sería interesante aplicar FEM a este proyecto para comprobar que con un menor ensamble es posible el diseño. Pero de esta manera maximizan las piezas para una mayor durabilidad del producto.

A medida que van explicando algunos proyectos enfatizan lo importante que es el ir y volver, mientras se va diseñando, para ir mejorando el proyecto de manera que cada iteración es un paso

más para conseguir un diseño que cumpla satisfactoriamente con los objetivos. Este ciclo constituye una parte esencial del proceso de diseño. Por todo ello, la colección de AtFAB responde a un diseño coherente, reconocible por sus detalles y formas volumétricas, que responde a unas premisas específicas que se han ido superando en todo el proceso.

De esta manera y, como argumentaba este Grupo en los primeros artículos, también su estética se ajusta a unos parámetros específicos y se obtiene el resultado que vemos.

Se ha gestionado todo activando economías locales y disminuyendo los daños del transporte de mercancías. Todo ello con una comunicación gráfica, de texto, en la que no hace falta ser un experto, pues una vez entendida la metodología posibilita que cualquier usuario pueda personalizar los diseños. Tratándose de un proyecto que arranca antes de la publicación de sus primeros artículos en 2010, da respuesta desde entonces a una sostenibilidad del mercado que se persigue hoy en día, con el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, que se abordarán en el siguiente capítulo de esta Tesis.

Tras la exposición de estas metodologías, del constante cambio e iteraciones describen someramente cada uno de los proyectos presentados, antes de introducirse de lleno con la parte práctica de cada uno de ellos. Son ocho proyectos cuyo estudio y práctica se recomienda: Taburete Rotacional (*Rotational Stool*), Mesa Gato en la cesta II (*Cat in Bag II Table*), Sillón 90 minutos (*90-Minute Lounge Chair*), Mesa de uno a varios (*One to several Table*), Gabinete de almacenamiento abierto (*Open Storage Cabinet*), Aparador (*Poke Poke Credenza*) y Pantalla celular (*Cellular Screen*).

Capítulo 3. De modelo 3D a partes en 2D

En este capítulo se explica el paso de transformar un objeto diseñado virtualmente en algo susceptible de construirse físicamente para el mundo real, siguiendo un proceso ordenado y pautado. Para esto explican varios conceptos, como el carpintero digital desde su punto de vista y el término francés *Mise en place* haciendo analogía a tener todos los ingredientes del dibujo preparados y ordenados junto a las herramientas de trabajo, en un espacio acotado para realizar la receta de un mueble de manera óptima. También se adentran a explicar lo relativo a instalar y dibujar con el software Sketchup.

Una vez se adquiere destreza en el programa explican el sistema o proceso de dibujo a seguir para configurar un mueble sin que se tengan posteriores complicaciones para un correcto mecanizado. Hay que tener en cuenta desde que se dibuja, cuestiones como el tipo de material, si tiene vetas u otros elementos la cara en la que se va a trabajar, espacios mínimos entre piezas, asignación de funciones de corte a cada línea dibujada una vez configurado el proyecto, lo cual facilitará saber las trayectorias de la fresa en el programa CAM. En definitiva, tener un archivo 2D perfectamente ordenado y preparado para ser importado al siguiente programa, que se va a encargar de calcular matemáticamente las trayectorias que la fresa debe seguir para el mecanizado, cuyo programa a utilizar es el VCarve Pro.

Capítulo 4. Primeros pasos para diseñar

Aquí se explica la realización de un banco para seguir familiarizándose y practicando con el sistema de organización de trabajo, con las uniones, estructuras, programas y ensamblajes. Se enseña a realizar una figura básica en 3D, en este caso el banco, que integre uniones CNC y que posteriormente, como se ha explicado, se dividirá en piezas orientadas y posicionadas en un plano horizontal, para repetir el proceso anterior y obtener los archivos de corte.

Primero habrá que definir el “programa” interno al que va a responder el diseño, en este caso un banco en el que hay que tener en cuenta ciertas premisas de ergonomía. Pero nuevamente y para que ningún usuario se quede atrás, incluyen en sus apéndices unos estándares de ergonomía para el que no esté familiarizado ni conozca fuentes donde informarse, de manera que pueda definir sus medidas para el número de personas que vaya a servir, altura adecuada según el perfil, etc. Hay que tener otro tipo de consideraciones para la fabricación que impactarán en el diseño como lo es la comprobación del tamaño del material que se va a adquirir y tamaño de la máquina a la que se le va a enviar las piezas para el corte. A continuación, crear un archivo en SketchUp y tener en cuenta todo lo ya mencionado sobre organizar el nuevo archivo con todas sus capas bien nombradas y ordenadas para un correcto trabajo. Es muy importante introducir el tamaño del material para que mientras se va dibujando y diseñando tener una referencia clara de la escala y dimensiones de lo que vamos dibujando pues es muy frecuente, trabajando virtualmente, perder la noción de las dimensiones debido a la facilidad de aumentar y disminuir con la herramienta de zoom cualquier dibujo, perdiendo las referencias del dibujo inconscientemente. Es muy importante también trabajar con grupos, es decir, una vez se crea una geometría específica agrupar todos sus componentes para convertirse en uno.

El sistema de trabajo que proponen es como el mencionado anteriormente, ir de lo general a lo particular de manera que primero se dibujan dimensiones generales del mueble de manera tosca y con elementos abstractos para posteriormente ir perfilando el diseño particularizando en detalles cada vez más pequeños como las uniones de esas piezas y definición de las mismas. Por lo tanto, crear un primer volumen de las dimensiones generales que tendrá el banco para ir introduciendo particularidades en el dibujo a medida que se va definiendo cada parte, tal y como van explicando paso a paso en el libro para no perderse. Del volumen general se va despiezando y modelando por partes, introduciendo el diseño de los distintos componentes como las patas, tablero de asiento, travesaños, que una vez finalizado, es lo que se denomina diseño esquemático.

El siguiente paso sería ir más al detalle para definir las ranuras, pestañas para configurar las uniones. Como ya se vio en el Capítulo 2, los tipos de uniones se pueden revisar para entender cuál de ellos es el indicado según las piezas que se han creado en nuestro banco, con lo cual se tiene una referencia base que el lector ya conoce y que AtFAB garantiza que funcionan estructuralmente.

En este punto aconsejan modelar tanto en 3D como en 2D si ya hemos desplegado las partes, e ir moviéndose por las vistas para no incurrir en errores de piezas que no coincidan. Esta fase requiere de concentración y replicar en todo momento lo que se está haciendo en 3D que cumpla en la otra dimensión 2D. Lo que sí hay que tener claro es que en el proceso de diseño no hay una única manera de hacerlo, sino que cada uno piensa de manera distinta y con órdenes distintas por lo que no hay que pararse sino considerar la manera más fácil para cada uno. En esta faceta de las uniones es muy útil seguir las indicaciones paso a paso que se van relatando en el libro para poderlas dibujar ya que constituye una de las partes más importantes para que un mueble tenga una integridad estructural adecuada. Una vez terminada toda esta fase es interesante visualizar de forma general todo lo que se ha hecho, mediante la asociación de materiales renderizados, que trae el propio programa, para hacerse una idea más real de lo que vamos a obtener al fabricarlo.

Capítulo 5. Ajuste de precisión en ensambles con contrachapado.

Este es un capítulo fundamental al que hay que prestarle atención puesto que de aquí depende un buen ensamble, y en definitiva una buena respuesta estructural, si se hace correctamente. La información de este capítulo es de interés puesto que en lo referente al material se entra en la carga estética a tener en cuenta.

Varios son los intereses relativos al material para una correcta fabricación que introducen en este libro. Aunque las investigaciones de Categoría 1 respaldan o justifican científicamente el uso del contrachapado como material idóneo para su uso en mobiliario, aquí lo aconsejan como material ideal para los proyectos CNC con una mera justificación empírica y sin contraste de información. Introducen un matiz interesante sobre la artesanía digital que es el resultado de un perfecto entendimiento entre las propiedades del material y el tiempo para las preparaciones previas.

Numerosos son los beneficios en los que se sustenta el uso del contrachapado y su versatilidad.

- Se puede configurar en grandes tableros y realizarse en varias especies.
- Cubrir distancias largas para su tamaño y ser a la vez flexible.
- Fácil de encontrar y barato de adquirir comparado con otros materiales de características parecidas.
- Se puede dejar visto o protegerlo
- Fácil de encolar para unir piezas o mediante elementos metálicos mecánicos.
- Excelentes índices de ratio cuando relacionamos resistencia física con respecto a su peso. Gracias a su configuración en chapas encoladas unas sobre otras giradas 90º con su contigua.

Introducen detalles relativos a la adquisición del material a tener en cuenta como: las diferencias de tonalidad y acabados, selección de calidad alta del tablero, puesto que las bajas pueden tener defectos internos que no repercuten estructuralmente, comprobar su horizontalidad total sin vicios de almacenaje. Según la calidad seleccionada repercute en el número de láminas internas, por lo que explican los contrachapados que se emplean para distintas funciones: construcción, ebanistería y arquitectura.

Al tratarse del contrachapado, un material “vivo” y “natural”, está en continuo movimiento cambiando sus dimensiones, basado en la temperatura, humedad y en las condiciones de mecanizado. Recomiendan medir hasta dos y tres veces el espesor de los tableros con un Calibre o Pie de Rey para evitar problemas. Así y todo, lo normal es que nunca tenga el espesor al que lo venden sino con unas décimas de diferencia que son las que justo puede permitir, o no, que se pueda realizar un encaje de la pieza. Explican aquí pormenorizadamente la regla del Espesor Nominal y el Espesor Máximo que consiste en una media de medidas entre el tablero y el espesor del dibujo virtual. Una vez obtenida la relación se escala el dibujo con respecto a esas mínimas diferencias. Este es el método que dan como más fiable, pero también explican otros, como desfasar líneas, aunque no lo aconsejan en absoluto, o parametrizando, puesto que los cambios se harían automáticamente. Hay que precisar que este último método requiere de profundización y de práctica en funciones de los programas de diseño.

Para saber si se está en lo correcto, algo que permite esta tecnología es trabajar a través de un prototipado rápido, de manera que se verifique que todos los cálculos que se están llevando a cabo funcionarán antes de lanzar el corte de un mueble entero. Se pueden realizar prototipos parciales que consiste en construir una parte del mueble donde se encuentren varios planos para comprobar el ajuste, o en lugares en los que se estime que se encuentren los mayores problemas de desajustes, para poder testarlos previamente. A estas partes se las llaman piezas de testado y existe una en cada uno de los muebles presentados en este trabajo para dichas comprobaciones. Esta tecnología también permite escalar, de manera que se pueda realizar una pequeña prueba de la misma situación, o para testar otro tipo de posibles inconvenientes por medio del láser y cartón, por ejemplo. Esto les permite tomar decisiones que no se sepan controlar en lo virtual

antes de continuar con el modelo y escala real. Por todo esto recomiendan comprar siempre material extra, aunque normalmente lo aporta los centros de corte si hay fallos.

Capítulo 6. Mecanizando para diseñadores.

Este capítulo está dirigido a los usuarios que pretendan mecanizar con sus fresadoras CNC, para que conozcan los principios básicos y consejos relacionados con un óptimo uso del corte con contrachapado. Los autores profundizan en cuestiones técnicas sobre fresas, corte, velocidades de corte y rotación y su influencia, distintas máquinas fresadoras, etc. Nuevamente la información práctica aquí aportada facilita enormemente un correcto aprendizaje. Se recoge el conocimiento que un fresador va adquiriendo con la experiencia y con el contacto con los diversos gremios. Ese conocimiento se experimenta en la máquina y se puede comprobar su resultado. En ocasiones los fresadores suelen especializarse según el tipo de trabajo a cortar ya que no es lo mismo que el corte haya que hacerlo en metal, en plástico o en madera; cada material precisa de sus características específicas. En este libro se recoge todo lo relacionado para el corte del contrachapado.

En este capítulo se encuentra información relativa a las partes técnicas de la herramienta de corte, explicación de partes y funcionamiento de la fresadora, sujeción de materiales, fresas, etc. En cuanto al corte, detallan lo importante que es controlar el material específico que se va a cortar y su profundidad, para elegir la mejor fresa para el corte. Aquí entran en juego varios conceptos como velocidad de rotación, velocidad de alimentación o tipo de viruta, que explican de manera muy didáctica. La formación de la viruta y su tamaño es importante puesto que está relacionada directamente con la disipación del calor. El acto de cortar produce una cantidad de calor de fricción que las virutas lo absorben, de manera que lo disipan de la herramienta y de la pieza de corte. Por lo tanto, la velocidad de corte y su fresa específica condicionará que no haya problemas tipo quemaduras en el material.

También introducen explicaciones acerca de las fresadoras y de las enrutadoras que dependen de la velocidad de rotación, aunque en España se conocen ambas con el nombre de fresadora. Hacen una breve introducción histórica para posteriormente pasar a definir las partes físicas en las que se divide una fresadora CNC. Entre ellas están: raíles, pórtico, cubierta, extractor de polvo y zona de trabajo. Aborda otra cuestión tan relevante como la seguridad personal mientras se trabaja, recomendando el uso de gafas de seguridad, mascarilla si no hay extractor, cascos de protección auditiva, y controlar cualquier elemento que sobresalga de nuestro cuerpo como collares, pañuelos, pelos largos, etc.

En cuanto a la sujeción del material a la mesa puntualizan en los dos sistemas básicos: de forma mecánica o con un sistema de aspiración en la cama. Para el primero explican las diversas sujeciones según las dimensiones y tipo de aquéllas, e indicaciones acerca de su ubicación para tenerlas en cuenta en los dibujos de las trayectorias. En cuanto al sistema de aspiración, proporcionan también indicaciones prácticas y la consideran la más adecuada para materiales y cortes grandes.

Resulta también instructiva la información relacionada con las fresas, dirigida al corte para producir mobiliario CNC. Las clasifican desde diversos aspectos, uno de ellos según los materiales de los que están hechas del que depende su precio y acabado en el corte, para posteriormente definir cada una de las partes de las fresas. Son éstas: estría, caña, altura de corte, longitud total, desviación, pinzas. Otra cuestión importante para saber el tipo de acabado que se pretende son las formas finales, entre las que definen: final plano, de bola y con forma de V. Además, se adentran en los distintos tipos de corte y en la forma de la fresa con las siguientes opciones: corte

en cara superior, corte inverso, fresa de compresión o fresa plana. Otra información a tener en cuenta es la dirección de avance, puesto que también depende el acabado del canto que deja el corte, pudiendo ser convencionales o antihorario y ascendentes u horario. Explican cuál pudiera ser la óptima según lo que se quiera conseguir en el corte, aunque recomiendan la conocida estrategia de la piel de cebolla que deja el acabado en perfectas condiciones casi sin tener que lijarlos.

Otra estrategia a la hora de mecanizar piezas es la inclusión de rampas para evitar vibraciones, y para evitar que las piezas salten recomiendan las pestañas o puentes. A la hora de hacer rebajes dentro del material también aportan sugerencias y pautas a seguir para un óptimo fresado, explicado gráficamente. Para el trabajo con materiales gruesos proponen distintas pautas para saber el número de pasadas óptimas, hasta llegar al corte total de la pieza.

Resumiendo estos conceptos, el material es uno de los principales factores a tener en cuenta para la toma de decisiones adecuadas en las diferentes variables para obtener un corte eficiente y liso. Para producir un corte de calidad en un tiempo razonable hay que considerar la profundidad de pasada de corte y la dirección de alimentación, así como optimizar la geometría de la fresa con las velocidades para obtener una correcta evacuación de la viruta. Las fresas se diseñan para disipar el calor mediante la viruta. Éste es el principal balance: geometría de la fresa combinada con la velocidad de alimentación para quitar viruta para disipar el calor. Cuando se encuentra esta relación se percibe que la máquina trabaja óptimamente de manera suave, silenciosa, sin vibraciones, y los cantos finos sin necesidad de un lijado posterior.

Al final del capítulo introducen varios consejos a la hora de realizar los test de pruebas de corte para poder evaluar posibles problemas que puedan estar sucediendo. Entre ellos, introducen pautas para controlar las virutas que van apareciendo, parámetros a variar si una alimentación es excesiva o insuficiente, buen control de la profundidad específica, control del tipo de fresa o la velocidad de rotación.

Capítulo 7. De los programas de modelado al mecanizado.

Explican aquí lo relativo al programa de mecanizado y algunas de sus particularidades. Manifiestan que en los programas CAM convergen el diseño virtual con los materiales físicos y maquinaria. Antiguamente, los programas de creación de trayectorias de corte era el campo de los mecanizadores expertos. Hoy en día, con la evolución de los programas informáticos y con una mayor cantidad de profesionales desarrollando programas en el campo de la computación, es posible encontrar versiones más asequibles y comprensibles, además de libres, que han acercado este trabajo antiguamente propio solo de expertos.

Ya se han dado varias pinceladas con el paso del CAD al CAM. La CNC utiliza una fresa para cortar un dibujo virtual, la máquina sigue las trayectorias de corte que ha definido el usuario o la profundidad con la que hay que cortar de manera que se fueron asociando unas capas en 2D con unas funciones específicas de corte, rebajes, etc. En este capítulo se introduce lo fundamental para un programa CAM para crear esas trayectorias de corte mediante el programa VCarve. Como bien señalan, esto se convierte en un punto excitante, pues los sueños digitales están a punto de convertirse en realidad. Los programas CAM constituyen el lugar en el que nuestro modelo virtual se encuentra con las complicaciones físicas de la máquina y el material. Estos programas ayudan para llevar a cabo la transición entre el archivo digital y la realidad.

En este punto, y como ya indicaron, es de vital importancia conocer las dimensiones de la cama de la máquina, así como las dimensiones exactas del material, superficie y espesor; además de localizar el origen **XYZ** y la orientación de la cama de la máquina y unidades por defecto. A partir

de este momento se está en disposición de comenzar los ajustes del programa CAM. Señalan también de lo importante que es prestar atención a las unidades, debido a que se ha pasado por varios programas informáticos y al hecho de familiarizarse con los ajustes de los diversos programas para importar y exportar archivos, de manera que no se produzcan cambios inesperados en la escala o unidades. Se debe comprobar y corroborar que en los archivos digitales tenemos las medidas, orientación y origen correlativo con los reales de la máquina.

AtFAB, de entre todos los programas de mecanizado CAM, explican las razones que los llevan a utilizar específicamente VCarvePro. Dadas las explicaciones tan técnicas sobre este programa de mecanizado, y tal y como se hizo en el caso de otros programas como Sketchup, se recomienda seguir las indicaciones que aparecen en el libro sobre cómo instalar y trabajar con este programa. Para el seguimiento y entendimiento de este programa de fresado es aconsejable ir a la fuente directamente.

Capítulos 8 a 11

En estos capítulos se explica cada uno de los muebles con la estructura que sigue. Primero una explicación de la temática principal que se aborda en cada ejercicio para saber los conceptos que se afianzarán tras su construcción. Un pequeño cuadro, a modo de simplificación, enumera: tema del capítulo, los archivos de diseño que utiliza, tablero a utilizar y herramientas que se necesitarán. Tras este cuadro se da una explicación sobre el diseño de lo que se va a construir (explicación de las piezas y ensambles estructurales de aquellos ocho que se explicaron pero ya con sentido funcional completo en cada mueble), condicionantes a saber antes de comenzar como particularidades del material (material extra para realizar pruebas y ajustes), medidas y escalas (explicación de cómo medir el material para sacar los espesores y el factor de escala), corte y evaluación del ajuste de una prueba (cortar la prueba, sacar las piezas, limpiarlas y montarlas), un solucionador de problemas (se comienza identificando problemas para luego idear un plan de corrección), hacer medidas precisas del corte (en caso de desajustes medir con calibre para poder precisar y poder ver los desfases), análisis de esos datos, ajuste acorde con los resultados, evaluar e itinerar (permite hacer cambios para mejorar los muebles), ensamblar, pasadores, cómo taladrar para el montaje, etc.

Por lo tanto, y a partir de aquí, los siguientes capítulos seguirán este esquema en cada mueble, lo cual permitirá ir asentando la parte práctica del diseñador digital. Es importante volver a insistir que hay ciertos criterios de este libro que no se ajustan a los parámetros de esta Tesis. Todos los muebles de esta publicación, excepto uno, necesitan uniones metálicas para asegurar completamente su estructura e integridad física; los ensambles diseñados son los que soportan los mayores esfuerzos. El único de los modelos que no necesita de tornillería es "Cat in Bag ii", y, así y todo, señalan la existencia de agujeros en ciertos lugares, por si el usuario prefiriera tener un ajuste extra.

Capítulo 12

Si se ha seguido todas las partes prácticas del libro, al llegar al Capítulo 12, al haber adquirido un conocimiento más cercano de este tema, se comienza con el tema de la parametrización de un diseño. Como ya se mencionó cuando se estudió a Šimek, en sus primeros escritos, al hablar de parametrizar en ciertas ocasiones se refiere simplemente a vectorizar, o realizar un dibujo en programas virtuales, aunque también existen otras acepciones.

La **parametrización** permite modificar fácilmente partes y atributos específicos de un modelo digital. Combinando la fabricación digital con las prestaciones de un programa avanzado de CAD

se obtiene la poderosa capacidad de personalizar diseños con relativa facilidad. Una ecuación paramétrica es un conjunto de funciones explícitas que contienen constantes y variables. Hay valores en un diseño que serán fijos o constantes, mientras que otros valores o parámetros variarán. Hay que tener muy claro que los programas paramétricos no hacen todo el trabajo, se necesita realizar una intensiva reflexión para interrelacionar elementos dentro del diseño y determinar qué es variable y qué es constante. No es tan fácil como se puede pensar puesto que supone mucho trabajo extra diseñar paramétricamente, pero los resultados de este esfuerzo son contundentes. Con la realización de un modelo paramétrico digital se puede producir una gran cantidad de versiones de, por ejemplo, sillas o mesas variando dimensiones solamente.

Los diseños de AtFAB comparten un lenguaje común que son los ensamblados, uniones y estructuras basadas en la unión S/Z. Pero hay muchos otros elementos que se pueden variar paramétricamente según la situación o particularidades de cada diseño. Se mencionarán diversos parámetros. El diámetro de la fresa incidirá en los ajustes de esos ensamblados por lo que un parámetro que controle el diámetro de la fresa a utilizar y cambie el tamaño de los encajes permite una flexibilidad en el uso de la máquina con la que se corta sin variar el diseño. Un parámetro para controlar el espesor del material ahorra esfuerzo al ajustar el tamaño de cada encaje para adaptarse al EMax, de manera que se puede personalizar el trabajo para materiales locales diversos. Otro parámetro para ciertas formas generales es posible para, por ejemplo, modificar la forma del tablero superior en una mesa. Un parámetro para el módulo permite que una dimensión mayor de un mueble lo subdivida en celdas o muebles que crecen por agregación de componentes con dimensiones específicas, de manera que manteniendo las relaciones de dicho módulo se mantiene la integridad y estática del mismo. Un parámetro de control para las dimensiones es uno de los más comunes, para personalizar la longitud, el ancho y/o la altura de los muebles. Otro tipo de parámetro puede ser uno para ajustar los diámetros para las mencionadas uniones con tornillería.

Capítulos 13 y 14

A parte de éstos es posible que cada diseñador se centre en los parámetros que considere, creando los suyos propios, como reglas básicas de ergonomía, o tamaños de los materiales subordinados a los límites del área de trabajo de la mesa de corte de la máquina. Por ello también se enseña en el libro a trabajar la parametrización con los diseños que trae y con una app que es libre y posible de descargar. De esta manera, se experimenta en la configuración para un diseño o definición paramétrica paso a paso, a través de varios ejercicios de los Capítulos 13 y 14.

Capítulo 15

En los Capítulos 15 y 16 se tratan temas como piezas móviles, tipo puertas deslizantes, y la introducción de materiales de distintos grosores para ajustes diversos, además de personalizar perforaciones y patrones para las superficies de algunas partes. También se practica para componer estructuras para posibles muebles que podrían crecer infinitamente.

Apéndices

Tras la finalización de los ejercicios se culmina la parte práctica. Para ampliar algunos conocimientos se muestran al final unos apéndices que completan la información, y recursos de diseño. Entre estas aportaciones se encuentra un pequeño repositorio para diseño que contiene varios autores y empresas, que se verán en Capítulo 2.11.; entre otros mencionan los 50 ensamblados digitales de Jochen Gros (Gros y Sulzer, 1997) que los describe como referente popular para fabricantes con CNC, diseñadores y trabajadores en madera. Afirman que estos ensamblados

cuyo número puede abrumar por la cantidad, aunque son complejos y se fabrican minuciosamente, muchos de ellos están dentro de las 8 categorías básicas que se describen en este libro.

La parte del apéndice B es relevante porque nuevamente recoge varios temas prácticos que son de interés. Se centra en **recursos y conocimiento de materiales**.

Se configura una pequeña lista con productos que hacen un balance entre la sostenibilidad, el conformado del mecanizado y los resultados estéticos. Como este libro procede de EE. UU., muchas de sus recomendaciones o propuestas no son asumibles dependiendo de dónde se resida; por ejemplo, para Europa hay muchos de ellos que dejarían de ser sostenible precisamente por los transportes que conlleva su adquisición. De ahí la preferencia por adquirir materiales locales como bien proponen los propios autores.

Dentro de los contrachapados se aconsejan productos de marcas de EE. UU. como PureBond, paneles lijados Araucopy, contrachapado de pino radiata, madera contrachapada ApplePly acabada y sin acabar, contrachapado de abedul báltico, Valchromat coloreado MDF, madera contrachapada de grano de borde de bambú y paneles de Aluminio y balsa.

Dentro de los acabados que recomiendan también hay una lista de marcas de las consideradas verdes que al ser marcas americanas en su mayoría es complicado encontrarlas en Europa, no obstante, sería interesante consultarlas puesto que actualmente cuando se acude a un establecimiento para adquirir acabados sostenibles o no hay variedad o no los tienen.

En este apéndice también informan sobre los tipos de uniones metálicas que, como se ha comentado, son mínimas y no soportan esfuerzos estructurales sino simplemente para ajustes secundarios de algunos muebles, pero no se va a insistir en ello. En cuanto al resto de materiales recomiendan cualquiera que esté conformado en láminas o tableros pues la única limitación es lo que la CNC pueda cortar; en definitiva, materiales que respondan a una consistencia dimensional y a una alta relación entre peso y resistencia, que son los adecuados para la fabricación de proyectos de muebles a gran escala. Es posible encontrar otros materiales laminados que responden a los mismos criterios como plásticos, compuestos o metales, así como productos de la ingeniería de la madera como OSB o MDF, entre todos ellos destacan los siguientes: Polietileno de Alta densidad (HDPE), Compuestos y Acrílicos.

A1.6. Creadores y autores citados en *Design for CNC*

A1.6.1. #17. (2011) SketchChair: An All-in-one Chair Design System for End Users

# 17 2011	SketchChair: An All-in-one Chair Design System for End Users	Saul, Greg Lau, Manfred	Mitani, Jun Igarashi, Takeo	UTokio Japan
--------------	--	----------------------------	--------------------------------	-----------------

Saul, G., Lau, M., Mitani, J., & Igarashi, T. (2011). SketchChair: an all-in-one chair design system for end users. In *Proceedings of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction*, 73-80, 23-26 January, Funchal, Madeira, Portugal.

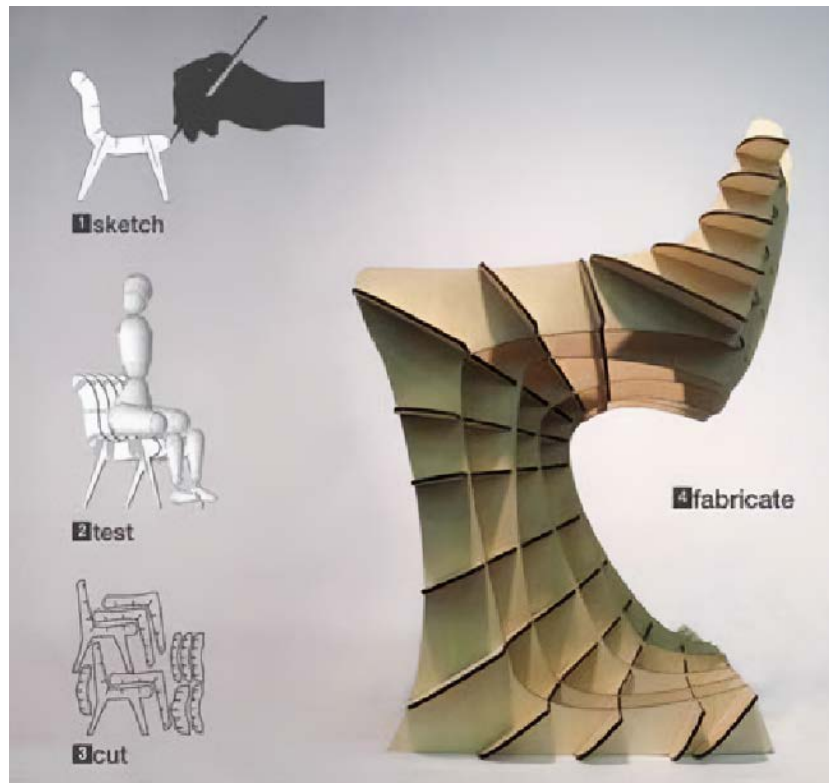
Estudio analítico del trabajo:

De los cuatro autores, Greg Saul fue el referenciado por *Design for CNC*, y se define en el artículo como uno de los diseñadores de la interfaz del proyecto. En el siguiente análisis se prestará más atención a los puntos de interés de esta Tesis puesto que, como ya se ha indicado, este proyecto posee una fuerte carga en el desarrollo de ciencias de la computación. No aporta una innovación en los ensambles que presenta para mobiliario, es más, las uniones son simples encajes de intersección entre piezas en sentidos perpendiculares. Lo realmente interesante e innovador es que con el desarrollo de este programa se facilita en gran medida que cualquier principiante pueda interactuar con la interfaz del programa para poder configurar una maqueta o mueble a escala real, listo para ser cortado. Pese a que un usuario tiene la libertad de poder diseñar gran número de variantes realmente se ha creado un sistema paramétrico de diseño con infinidad de restricciones para cumplir los objetivos.

Son varias las cuestiones que se deben destacar de esta investigación. Por una parte, la evidencia del abaratamiento de las tecnologías de fabricación digital como impresoras 3D, cortadoras láser o fresadoras CNC, con respecto a los años en los que empezaron a fabricarse. Al ser más accesibles surge un público que pasa de consumidor a creador, en ocasiones desde su propia casa, cuando se pudo disponer de las máquinas de escritorio. Esta democratización, señalan, ha sido posible porque la fabricación digital está alterando algunos procesos de productos que al no necesitar máquinas especializadas o moldes han bajado radicalmente el coste de algunos. Empresas como *ponoko.com* realizan cortes de piezas y materiales que se envían, contribuyendo con ello al citado abaratamiento. Además, la comunidad DiY comparte muchos diseños y propicia que empresas como *instructables.com* y *makezine.com* crezcan y aporten herramientas alternativas para construir sus preferencias. Precisamente estas empresas fueron el germen que posibilitó el proyecto de AtFAB y que, como bien señalaron en su libro seis años después, supuso la referencia para poder desarrollar parte del proyecto.

Por otra parte, hubo algunos inconvenientes para este tipo de público como lo fue el enfrentarse a complejos programas para expertos, como Autocad o Solidworks, que, aunque constituyen meras partes dentro del proceso de diseño son necesarios para fabricar digitalmente. Hay que crear objetos 3D y normalmente el usuario debe hacer ese despiece del 3D al 2D debido a que las máquinas solo cortan materiales planos. Otro problema es que los programas CAD no previenen al usuario novel de problemas potenciales como el equilibrio de las piezas que se diseñan. Teniendo estas premisas en cuenta, desarrollan un programa en el que sea posible controlar todo el proceso de creación que incluye desarrollos, refinamientos, testado y fabricación por medio de un interfaz de croquis en 2D. También introducen una herramienta de testado de ergonomía con una simulación de figura humana personalizable.

Por lo tanto, su entorno de diseño computerizado en lenguaje informático Java, permite diseñar una silla mediante dibujos 2D de manera que, por medio de ratón o Tablet se dibuja y el sistema extruye automáticamente para producir un marco realizado con autoensambles planos y, posteriormente, se le añaden las patas. Realiza un test de simulación para verificar la ergonomía del diseño. La ergonomía y estabilidad se comprueba con la simulación de una figura virtual, en la posición que se desee, que indicaría la gravedad que actúa sobre la silla, pudiéndose corregir estos fallos de balanceo.



“Process diagram for designing a chair using our system”. *SketchChair*, Saul et al. 2010.

Los perfiles de corte junto con sus ranuras para los ensambles los genera el sistema automáticamente para ser cortados con CNC. Las herramientas de trabajo del programa son herramienta de dibujo para hacer los croquis, herramienta para añadir patas o soportes, panel de capas para seleccionar y editar diferentes perfiles y herramienta de medir para controlarlo en todo momento el tamaño. Ahorra mucho tiempo a un inexperto ya que normalmente un diseñador comienza con croquis de sus primeras ideas que son complicadas de transcribir a un programa CAD, sin embargo, este sistema permite ver y controlar con rapidez croquis de la apariencia general del diseño en pocos minutos, además de comparar varios diseños e ideas rápidamente en un proceso iterativo.

El programa también permite incluir imágenes para realizar comparaciones con referencias visuales y geométricas con el modelo que se esté dibujando. Solo se pueden crear diseños para ser fabricados con materiales planos en beneficio de un transporte eficiente. Incluye un calculador de coste a tiempo real siendo muy útil para usar de manera más eficiente el material que se necesite.

En cuanto a los detalles constructivos para convertir el diseño en algo más confortable sugieren la posibilidad de tapizarla, lo cual mejorará la fijación entre piezas. También señalan que, opcionalmente, se pueden incluir piezas de unión de aluminio, tipo eles para mejorar las sujeciones.

Consideran interesante que los usuarios que hicieron el taller para crear sus muebles se sintieran realizados como autores de los mismos, característica ya señalada por otros autores (Steffen y Gros, 2003; Filson y Rohrbacher, 2011a y 2011b). Se trata sin duda de un valor añadido puesto que el factor de apego, de pertenencia, del usuario contribuye a una mayor vida útil del modelo. Un mueble que no nos importe deshacernos de él será menos sostenible a la larga.

Como experiencias de su investigación los autores registran unos ejemplos rápidos y la realización de un taller. En el primer caso, realizaron ejemplos a escala en cartón gris y a escala real con contrachapado. El tiempo necesario para crear el croquis de la silla supone entre 1 y 10 minutos; para el corte y ensamble otros 10 minutos, para una silla a escala. Mientras que para la escala real se tardó en todo el proceso 90 min.

Para probar el programa el equipo informa que se realizó un taller con 7 participantes de entre 12 y 53 años, para que diseñaran y construyeran sus modelos a escala. El esquema de trabajo que siguieron fue el siguiente:

Se realiza una primera presentación en la que se les indicaba la idea de diseñar una silla para posteriormente practicar con el programa durante media hora. Durante esta práctica se les enseñaba imágenes de referencia de sillas, y que trataran de reproducir alguna.

Tras el tiempo de práctica se les pedía diseñar una silla, cuyos archivos de los perfiles a cortar, fueron guardados posteriormente. Una vez cortados los perfiles se montaron las piezas.

Finalmente, se les pasó una encuesta en cuanto a su experiencia con el sistema y la idea sobre diseñar sus propios productos.

De esta experiencia de taller recogen algunos datos de interés para valorar la aceptación del programa. Todos los participantes ejecutaron satisfactoriamente una silla en miniatura. El concepto de diseñar tu propio mobiliario fue muy valorado, tanto que todos, excepto uno, preferían sus diseños a los que se venden en las tiendas. Los participantes también valoraban las sillas que habían construido ellos mismos considerándolas menos desechables. Es este sentido de propiedad lo que aumenta una mayor vida útil a los productos que uno construye. A tanto llegó este sentido de pertenencia que uno de los participantes manifestó que le gustaría que su diseño pasara a sus hijos, para que se mantuviera en la familia. En este aspecto los autores remarcan y concluyen que los productos diseñados por los usuarios tienen el potencial de ser más sostenibles que sus equivalentes producidos en masa porque se inclinan a retenerlos por periodos más largos.

Se observó que la mayoría de los participantes por su carácter más intuitivo, preferían usar una herramienta de dibujo y una herramienta de pata para diseñar sus sillas. Por el contrario, los usuarios que están más familiarizados con las herramientas de CAD preferían tener un mayor control que el que les proporcionaba la herramienta *path*. El proyecto de AtFAB es de utilidad para ambos colectivos de usuarios. La mayoría de éstos prefiere trabajar con una sola capa y no usaban las capas del panel para alterar sus sillas en la dirección Z. Esto denota una posible limitación en la facultad de visión espacial, más desarrollada en unos que en otros. Tres de los participantes declararon que les gustaría la opción de empezar con un diseño base hecho por un diseñador y posteriormente modificar el suyo, lo cual denota que una parte de los participantes opta por la inmediatez en la obtención del resultado, sin detenerse en pormenores, frente a otros, con mayor base de conocimiento, que prefieren partir de su propio diseño.

Dentro de las discusiones y posibles futuros trabajos mencionan que este programa permite a usuarios que puedan diseñar sus propios productos permitiendo introducirse en el proceso entero de diseño y fabricación de una silla. La interfaz simple que se ha creado permite hacer croquis de diferentes conceptos rápidamente y compararlos visualmente sin que los usuarios tengan

conocimientos previos en otro tipo de programas. Se puede verificar mediante una simulación si la silla es estable físicamente además de poder testar la ergonomía y medidas por medio de una figura virtual humana escalada. Se pueden añadir imágenes de referencia al entorno de la escena para comprobar la compatibilidad del diseño con mobiliario existente. Los patrones de diseño son producidos por el programa pudiendo ser fabricados por medio de técnicas rápidas de fabricación.

Adelantan que en el futuro pretenden implementar algunas características, como una simulación de esfuerzos de los materiales para que se asegure que los diseños son suficientemente fuertes para ser usados como sillas, una división en perfiles que se ajusten en piezas más pequeñas puesto que hay que hacerlas manualmente, mediciones automáticas sobre ergonomía de una silla basado en una posición sentada de una figura virtual, y la presión aplicada a diferentes partes de la figura de un cuerpo. Además, el desarrollo de un *plug in* para un programa genérico de 3D CAD para futuros desarrollos.

Resultan interesantes las conclusiones recogidas en el artículo al ofrecernos una referencia de cómo determinado público recibe y entiende la aplicación. Se enriquece así el proceso de diseño al tener esto en cuenta. También es cierto que no se implementan cambios tras los comentarios de los propios usuarios que testaron el producto. En este sentido conviene recordar que AtFAB sí que poseía un análisis de las respuestas en su plataforma, tanto de los productores como de los usuarios finales, para poder incluir posibles iteraciones, tanto en el sistema para mejorar la línea de muebles durante su proceso de diseño, como la implementación de otro tipo de mejoras de las que los clientes finales podían beneficiarse para variar sus iteraciones. Es decir, el proceso de *design thinking* era más completo, porque tras recibir una opinión de mejora de cualquiera de los agentes que intervenían, repercutía en el diseñador que haría los cambios pertinentes.

Resulta también llamativo cómo los autores muestran interés en tratar de introducir más datos al programa que mejoren las condiciones técnicas del diseño. Esta es una parte muy interesante que aportan los ingenieros de las ciencias de la computación que tienen la capacidad de cruzar datos para que se vaya perfeccionando una aplicación. Es importante que quienes dominan esta disciplina interrelacionen la mayor cantidad de datos posibles. Con ello ven factible introducir en su aplicación los datos de resistencia de materiales, con respecto al tamaño propio de cada pieza que se corte. Por el hecho de ser variables constantes como el límite de elasticidad del propio material e interrelacionando las secciones del material con su longitud, no es difícil establecer en el programa unos límites de diseño para que la pieza no quiebre.

Si se profundizara más sería incluso posible conectar esta aplicación con los datos que pueda aportar programas como ANSYS que, mediante el método FEM, calcularía la resistencia de materiales automáticamente, como ya se ha visto. Si no fuera posible esa conexión entre programas distintos también sería factible acotar secciones mínimas con longitudes máximas, posibles de cortar con la maquinaria que se utilice para que el programa calcule un rango aproximado, o margen, para que las piezas no quiebren. Aunque en esta opción volveríamos a introducir la estadística como método de cálculo, lo cual, como ya se ha visto, corresponde a la metodología antigua en mobiliario tras la aparición de FEM.

A1.7. (2013-2017) Technical University in Zvolen (TUZVO) Group. Slovakia

A1.7.1. #18. (2013) Strength properties of self-locking furniture joints with shape adapted for the production by CNC technology

# 18 2013	Strength properties of self-locking furniture joints with shape adapted for the production by CNC technology	Langová, Nadežda	Joščák, Pavol Grič, Michal	TUZVO Slovakia
--------------	--	------------------	-------------------------------	-------------------

Nadežda, L., Joščák, P., & Grič, M. (2013). Strength properties of self-locking furniture joints with shape adapted for the production by CNC technology. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Forestry and Wood Technology*, 83, 179-184.

Estudio analítico del artículo

En la introducción se explica que las conexiones de auto ensamble, con tecnología CNC, tienen distintos beneficios, como la precisión y la estética, además de que es posible unir piezas sin la necesidad de pasadores o encolados; por lo que se puede considerar a este tipo de mobiliario como más ecológico que otros. Entienden, así mismo, que el uso de este tipo de uniones incrementa la competitividad de pequeños y medianos productores de mobiliario.

Hasta la fecha del artículo, no se le ha prestado mucha atención a esta técnica, y se basan en estudios de metodología de cálculo aplicada a fabricación de mobiliario tradicional, de autores como Eckelman, así como también se destaca la referencia a Gros.

La mención a Gros se especifica en el diseño estético de las uniones Gros (1997); y, desde una disciplina más técnica, en el tratamiento numérico del problema de resolución ensambles, se referenció a Sebera y Šimek (2010).

El estudio de este artículo se centra en identificar el impacto en las dimensiones y morfología de las superficies de contacto de las uniones auto-ensamblables en sus propiedades mecánicas. Así, modificando las dimensiones del área de contacto de la caja y espiga diseñadas, crearon de esta manera, tres grupos de uniones en contrachapado de un espesor de 18 mm.

En cuanto a los materiales y los métodos, utilizan contrachapado de abedul de 18 mm, compuesto de 13 capas, debido a sus óptimas características para realizar los esfuerzos de resistencia y a su estética. Crearon tres tipos de uniones, denominadas: "Z", unión básica; "MK", pequeña unión modificada; y, "MD", gran unión modificada. Investigaron los efectos e influencias de distintas dimensiones en las superficies de contacto y su resistencia en relación a las propiedades mecánicas de la espiga. Estas propiedades analizadas se realizaron bajo la presión y tensión aplicada en un plano angular en una máquina de testado universal.

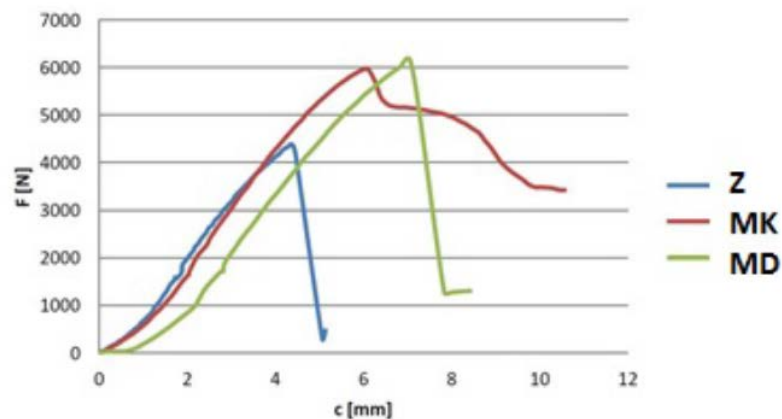
El resto de los datos y fórmulas introducidas, así como las particularidades técnicas, al no ser un campo profundizado por esta Tesis, se va a obviar, pero se invita a los lectores interesados a leer directamente el artículo en cuestión para completar esta información.

Los resultados, registrados por el equipo, se recogen en unas tablas y conclusiones técnicas, que es mejor visualizar directamente en el artículo, dado su carácter específicamente técnico. Entre las conclusiones que destacan, tras las pruebas realizadas, lo resumen en 3 puntos:

- 1.- Confirmar, tras esas pruebas, que las propiedades mecánicas aumentan si se incrementa el área de contacto de las cajas y espigas. Esto es, la unión Z obtuvo más roturas antes que los otros dos modelos, y, dentro de los modelos con más superficie de contacto, resistió mejor la versión corta denominada "MK".

2.- En la base de la grieta de cada tipo de juntas, y que presentan muy poca variante, sugieren relacionar y equiparar las medidas de la unión para optimizar la forma y dimensiones de las juntas de autoencaje. Es decir, que se debería modificar un tanto la forma del ensamble para mejorar las condiciones de los resultados que se obtuvieron.

3.- Este punto lo presentan como un enfoque de futuro en el que plantean modificar las formas, de modo que examinen las interacciones entre la forma y el tamaño de las uniones, el grosor y tipo de material. Los resultados experimentales pretenden compararlos con el método de cálculo FEM, y métodos ópticos, para detectar deformaciones con las cuales contrastar los resultados obtenidos. La Mk fue la última q rompió.



Encima: diagrama de deformación para los ensambles sometidos a esfuerzos en el plano angular. Debajo: resultado de rotura de ensambles Z (izquierda), MK (centro) y MD (derecha). En Langová et al., 2013.

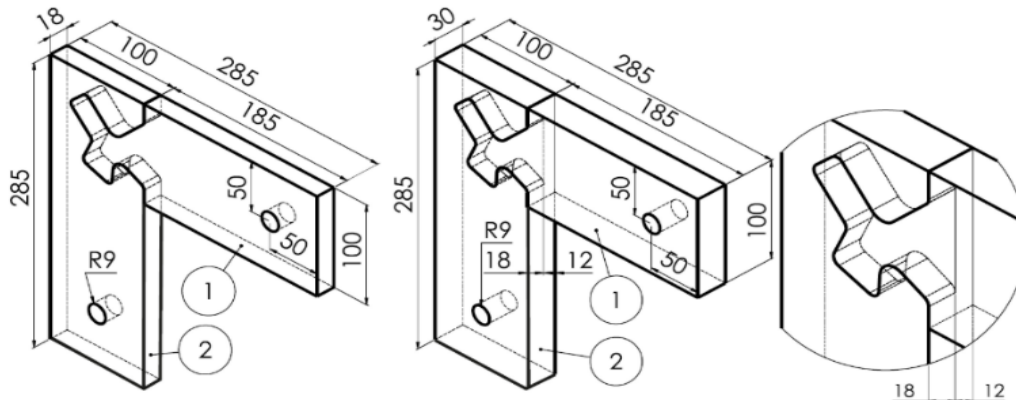
En este trabajo, que ya es tres años posterior al primer trabajo del grupo de Mendel University, de Sebera y Šimek de 2010, y que es la primera investigación centrada específicamente a estudiar un ensamble cortado con fresadora CNC de 3 ejes, se puede comprobar que todavía, por razones que no se conocen, no introducen el método FEM en sus comprobaciones, sino métodos mecánicos de testado físico tradicional, cuando ya se tenía acceso a la tecnología digital. Quizás, simplemente, en el momento de hacer la prueba, el equipo no contaba todavía con dicha tecnología, que sí la introducen cuatro años más tarde en su segunda aportación sobre este campo específico.

A1.7.2. #25. (2017) Mechanical Properties of Furniture Self-locking Frame Joints

# 25 2017	Mechanical Properties of Furniture Self-locking Frame Joints	Grič, Michal Joščák, Pavol Tarvainen, Ilkka	Ryönänkoski, Henri Lagaňa, Rastislav Langová, Nadežna Andor, Tomáš	TUZVO Slovakia
--------------	--	---	---	-------------------

Grič, M., Joščák, P., Tarvainen, I., Ryönänkoski, H., Lagaňa, R., Langová, N., & Andor, T. (2017). Mechanical properties of furniture self-locking frame joints. *BioResources*, 12(3), 5525-5538.

Estudio analítico del artículo:



Definición de los ensambles testados. 1: Pieza horizontal (Raíl), 2: Pieza vertical (Poste). En Grič et al., 2017.

Comienzan en el artículo, abogando por los requisitos básicos del diseño para mobiliario, que es indispensable para su aplicación habitual, y en los cuales, introducen elementos de apariencia, estilo del momento y seguridad estructural. Para este último requerimiento, que es la disciplina bien marcada de estos grupos de Categoría 1, hay que asegurar, tanto la resistencia de un objeto general, como la unión de su estructura. Para corroborar esta premisa, citan varias referencias de otros autores relevantes, pero en relación a uniones hechas con métodos tradicionales de mobiliario:

- De Wang y Lee (2014, como se citó en Grič et al. 2017) que los muebles de madera normalmente fallan en sus uniones y no en sus miembros de construcción.
- De Hajdarević y Martinović (2014, como se citó en Grič et al. 2017) que la estructura tipo marco es la más usada en la construcción de mobiliario.
- De Kasal et al (2016, como se citó en Grič et al. 2017) espigas tipo "L" y "T", y que la espiga tiene más efectos determinantes en función de su longitud sobre el momento de resistencia, mientras que el ancho de la espiga tiene más efectos en la rigidez.
- De Derikvand and Ebrahimi (2013, como se citó en Grič et al. 2017) que la capacidad del momento flector de las uniones se incrementa significativamente con el grosor y longitud de la espiga que los mayores valores de esfuerzo cortante se obtuvieron en las partes medias de la espiga, mientras que los valores más altos de deformación elástica, por corte, se estimaron en las líneas encoladas entre las superficies de la espiga y las paredes de la caja. La mayor capacidad del momento flector se registró para uniones con una longitud de espiga de 90 mm y un espesor de 8 mm.
- De (Sumiyoshi and Matsui 1991; Bürdek et al. 1998, como se citó en Grič et al. 2017), son algunas de las varias publicaciones que tienen que ver con la descripción del diseño de

uniones de auto encaje, mientras que hay muy pocos estudios que se hayan focalizado en las propiedades mecánicas de las uniones de auto encaje. En cuanto a estas dos referencias, la primera, es un libro de ensamblajes japoneses en que, la mayoría de ellos, no se pueden realizar con CNC, comprobaciones que también hiciera Gros. Y, la segunda, es precisamente *50 digital Wood Joints*, de Gros y Sulzer (1997).

- De Langová et al. (2013, como se citó en Grič et al. 2017) que modificando la longitud de la unión se obtiene la capacidad de carga más alta y la mayor rigidez tanto en compresión como en tracción.

El interés de registrar estas referencias que se aportan en este artículo es que cada una de ellas, recoge una característica importante para el diseño de la forma de una espiga.

Llama la atención que, tras todas estas referencias traídas al documento, no se centren de algún modo, en las explicaciones correspondientes a las formas que finalmente han elegido para hacer los ensamblajes específicos que han presentado.

Una vez expuesta esta base de referencias, se explica en el artículo, que el objetivo del estudio es determinar la capacidad de carga y rigidez de las uniones de auto ensamblaje para mobiliario, y contrastarlos con modelos en FEA. Las CNC permiten formas ilimitadas, y FEA, permite comprobar las propiedades mecánicas de esas formas, de manera eficiente y sin costes extras por realizar pruebas empíricas.

Se percibe un adelanto, en cuanto a la profundización de la temática con las nuevas referencias, con respecto al artículo anterior de este grupo. Las cronologías de publicación de este y el siguiente parecerían invertidas, si se analizan sus referencias aportadas, puesto que se denota una mayor calidad y profundización en este penúltimo artículo que en el final. O están relacionados con respecto a la información que se aporta. También las tablas y metodología de análisis que aportan se van asemejando a lo que presenta Purdue University en su conferencia de 2015, que se estudiará más adelante.

El desarrollo experimental lo dividen en varias partes, donde van explicando la metodología utilizada para realizar los ejemplos y pruebas. Se explicará someramente cada parte, recomendando la visita de la fuente para profundizar. En el epígrafe del Plan del Estudio, describen cómo realizaron los 80 ejemplos para testar. En el epígrafe de Materiales, profundizan en todo lo relativo a los grosores, cantidad de capas, humedad relativa y densidad sobre los tableros de contrachapado y alistonado utilizados. En su epígrafe de Construcción, describen cómo realizaron la fabricación de los ejemplos planteados; haciendo también alusión al espesor de los materiales, puntualizando que el suministrador se los garantizaba. No obstante, una vez estudiado al Grupo de AtFAB at UK, el espesor de algunos materiales es uno de los principales problemas de trabajar con los denominados “materiales vivos”, por lo que su espesor no es factible que lo controle un suministrador, sino el propio fresador que tiene que ajustar las tolerancias entre la máquina y el material, dependiendo del espesor. En su epígrafe de Métodos de testado, explican los parámetros y máquinas para ejercer los esfuerzos que, al carecer de la tecnología y del método necesario, realizaron en colaboración con una universidad finlandesa, mientras que en el siguiente colaboran con Mendel University. En su epígrafe de Medidas del campo de las uniones, explican lo relativo a los sistemas de medida de deformación. En cuestiones relativas al uso de FEA profundizan en los análisis de los datos. Y, por último, en el epígrafe de Aplicación de carga y rigidez, describen cómo se han aplicado las cargas con sus duraciones específicas según las metodologías estudiadas.

Una vez explicada la metodología y realizadas las pruebas, se recogen varios resultados en los que, los más relevantes, los describen y, otros, los presentan en tablas de resultados. Entre los descritos:

-En el tipo de unión que está rebajado a mitad y en contrachapado, comentan que se les dañó en el cuello de la espiga, durante el test de compresión. Además, les apareció una gran grieta en la junta en la superficie superior del poste, durante el test de flexión por tracción. La misma junta, pero en alistonado, les presentó dos casos de fallas: en el test de compresión, aparece en la parte inferior y en el cuello de la espiga; en tracción, aparece en la parte superior del poste, e inferior de la espiga.

Posteriormente, presentan varias tablas, de las que se recomienda su estudio, para intereses específicos en los resultados. La tabla 2, denominada “Capacidad de carga media y rigidez de las juntas de muebles autoblocantes con coeficientes de variación y resultados estimados de FEA bajo la flexión por compresión”; La tabla 3, denominada “Capacidad de carga media y rigidez de las juntas de muebles autoblocantes con coeficientes de variación y resultados estimados de FEA bajo la flexión por tracción”. También es interesante consultar las tablas 4 y 5, con sus metodologías, para conocer los comportamientos de las juntas ensayadas.

En cuanto a las conclusiones, enumeran cuatro:

- 1 El material más apropiado para este tipo de unión, tanto si es en 18 mm o en 30 mm, es el contrachapado, mucho más que el alistonado.
- 2 En general, las uniones con los rebajes a media madera, consiguen resultados más altos en la capacidad de carga y rigidez, que las uniones de corte total sin rebajes. En este caso, no se tiene en cuenta en sus parámetros, el mayor tiempo de fresado, característico de cualquier unión con rebaje. Pero se comprobará, más adelante, que Purdue University, en su último artículo, sí introduce la variable de tiempo de fresado.
- 3 Los resultados obtenidos por los modelos FEA fueron razonables. Se verificaron de dos formas: el primero, basado en la fase experimental y, el segundo, se basó en la determinación experimental de los campos de tensión. Por lo tanto, les fue posible estimar las propiedades mecánicas de las juntas autoblocantes hechas de madera contrachapada de abedul, o, listones de abedul con diferentes formas de espiga.
- 4 La capacidad de carga, la rigidez y los campos de deformación, les proporcionaron una base adecuada para verificar los resultados teóricos de FEA, de las juntas de muebles autoblocantes.

A1.7.3. #26. (2017) Experimental and theoretical analysis of impact of shape selected type of self-locking joints on their mechanical properties

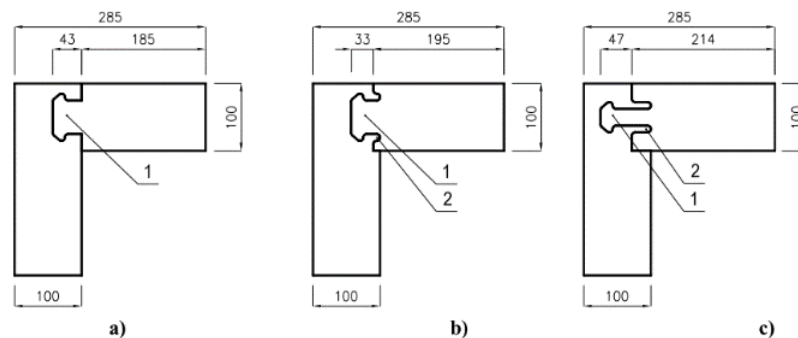
# 26 2017	Experimental And Theoretical Analysis Of Impact Of Shape Selected Type Of Self-Locking Joints On Their Mechanical Properties	Langová, Nadežna Grič, Michal	Milch, Jaromír Šmidriaková, Mária	TUZVO Slovakia
--------------	--	----------------------------------	--------------------------------------	-------------------

Langová, N., Grič, M., Milch, J., & Šmidriaková, M. (2017). Experimental and theoretical analysis of impact of shape selected type of self-locking joints on their mechanical properties. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen res Publica Slovaca*, 59(1), 113-120.

Estudio analítico del artículo:

Entre las informaciones que interesan a esta Tesis, se profundiza, en las que tratan de justificar la realización de este tipo de uniones. El anterior trabajo carecía de esas argumentaciones. Entre ellas destacan, la evolución que han experimentado las estructuras de mobiliario que, con el

comienzo de la industrialización y la producción eficiente, las conexiones entre piezas quedaban en un segundo plano, al contrario que el tradicional, con perfectos ensamblajes con la propia madera. Estas, afirman, que quedan reemplazadas por nuevos tipos de conectores mecánicos y adhesivos. Defienden el uso de la CNC, porque propician una producción de uniones precisas y estéticas, de forma que se convertirán en un pilar para el futuro de la construcción en madera. Dada la fiabilidad, velocidad y precisión de esta tecnología, de la que no son capaces las técnicas artesanas tradicionales, y de extender la potencialidad del uso de la madera, se acreditan sus anteriores afirmaciones.



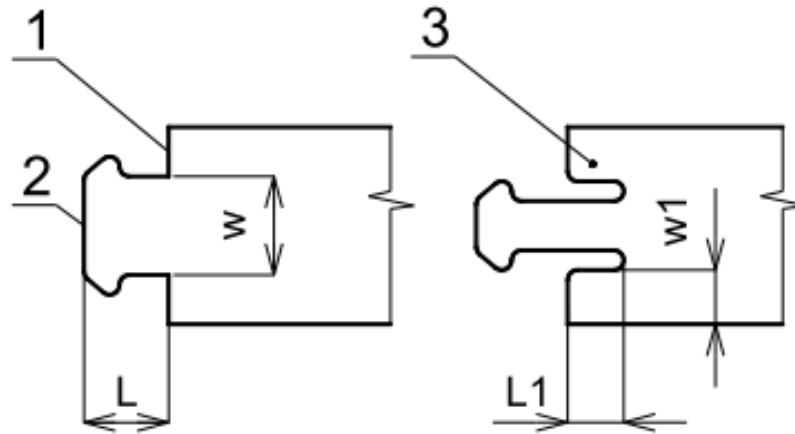
Formas de los ensamblajes testados. 1: espiga, 2: caja. a) Z, b) MK, c) MD. En Langová et al., 2017.

El tipo de unión en la que se centran, son las de auto ensamblaje, cuyos inicios, sostienen, ya fueron producidos por la arquitectura japonesa. Estas uniones aportan dos beneficios fundamentales: por un lado, proyectar mobiliario estético con estructuras fáciles de ensamblar y, por otro, una ecología del mobiliario, al no usar uniones con materiales extras. Aluden, por segunda vez, a la estética, pero dando por hecho que las uniones en madera son más estéticas que las otras, sin fundamentación alguna. Afirman que, este tipo de uniones todavía no posee mucho interés.

Se continúa, con varios estudios previos de elementos de auto ensamblaje, pero encolados, pertenecientes, entre otros, a Eckelman. Otras referencias interesantes, son, nuevamente, la de Gros y Sulzer (1997), así como otro grupo científico centrado en el diseño visual de las uniones, o, la resolución de Sebera y Šimek (2010) del problema por procesos numéricos. Citan también otras referencias en el campo de lo técnico, por lo que se recomienda ya consultar la fuente directa del artículo.

Además, describen que, entre los objetivos de este estudio, está determinar la rigidez de este tipo de uniones, enfocado a estructuras de mobiliario y sus posibilidades. Basados en otra investigación de caja y espiga de realización tradicional, los mayores estreses y deformaciones, se dan en una parte de la espiga que denominan talón. Para cumplir este objetivo, utilizan FEM, que les permite especificar los lugares de mayor estrés donde se produce el colapso, comparar los resultados con los test experimentales, y, por último, determinar las formas más adecuadas para una mejor resistencia.

La metodología de la investigación la dividen en 3 fases: 1.- diseño de la forma de la unión de la caja y espiga; 2.-, determinar las propiedades mecánicas experimentalmente; y, 3.- analizarlas numéricamente para validar el experimento.



Terminología básica. 1: brazo de la espiga, 2: cabeza de espiga con forma, 3: brazo con clavija, L: longitud de la espiga, L1: longitud de la clavija del brazo, W: ancho de espiga, W1: ancho de la clavija del brazo. En Langová et al., 2017.

En cuanto a la fase de diseño, las formas de los ensambles tienen varias partes: 1, brazo de espiga; 2, espiga con cabeza con formas; y, 3 saliente de brazo. Todo lo han planificado en contrachapado de 18 mm con tres morfologías distintas: la variante base “Z”, tiene la espiga con la cabeza modificada y brazos rectos; las otras dos variantes (MK y MD) las crearon modificando la forma y dimensiones de la cabeza y brazos de la unión, de manera que variaron las superficies de contacto entre los brazos y la unión. El cambio se consiguió creando unos salientes a ambos lados de los elementos de conexión, esperando un incremento de la rigidez de la unión. Las uniones MK y MD, tienen la misma forma, pero diferentes medidas. La unión MD tiene los salientes y la caja con anchos modificados, a diferencia de la unión MK.

También, describen las condiciones específicas de humedad del material durante los test. Utilizan como método numérico, FEA, con el programa ANSYS, por ser el más extendido entre los investigadores. Mendel University, coopera con ellos en el trabajo. De aquí se podría confirmar una cierta relación de las dos universidades, además de afirmar que, este Grupo, todavía no había introducido la técnica de FEM digitalizado en su anterior trabajo, y que comienza, a partir de aquí, a utilizarlo. Publican tablas con distintos datos técnicos relativos, tanto al material, como de las pruebas realizadas, y que se recomienda visualizar en caso de interés específico.

Recogen los siguientes resultados y discusiones tras las pruebas:

- Las tres uniones tienen comportamientos no lineales al principio de la carga, debido a las formas irregulares de las superficies de contacto que transfieren esas cargas. La siguiente fase, con comportamiento lineal continuo, hasta la falla repentina de la unión.
- La mayor carga resistida, de los tres modelos, la realizó MD (6205 N o 632 kg). El valor más bajo de carga, la registró Z, con una diferencia del 42,9%, que explican que es debido a la ausencia de salientes en los brazos de la unión básica. Las dos uniones modificadas, MK y MD, les da una diferencia de resistencia muy baja, un 4,4%. Por lo que, pese a sus disparidades dimensionales, en las de resistencia, les resultan de bajas diferencias. Sería mejor la que menores dimensiones tiene, puesto que, aparentemente, sería menos longitud de corte por cada unión.
- El valor de mayor rigidez que les alcanza fue para MD, mientras que Z, les dio el más bajo, siendo la diferencia de un 43,5%, que la comparan con la diferencia de capacidad de carga de cada uno siendo similar. La diferencia de rigidez entre MK les da menor valor que de

MD, por un 4,9%. También realizan una tabla de evaluación, por el método de la fórmula de varianza ANOVA. En ella se puede ver que las propiedades mecánicas, entre las uniones modificadas con salientes, y la básica, son estadísticamente significantes.

- Los tipos de fallos en las uniones por cargas, por fuerzas de compresión, se muestran en fotos en el artículo. En las uniones Z y MK, los elementos de falla aparecen en la parte interna de la caja, siendo en este lugar, en donde la cabeza de la espiga les está causando la concentración de estrés que excede el valor de rigidez del contrachapado. El fallo en MD es visible en el talón de la espiga, no obstante, el reducido ancho de la espiga contribuye a que no falle en la circunferencia interior de la caja, como en los otros dos casos.

-Los análisis numéricos de FEA, les mostraron que, los daños, y lugares potenciales de roturas, se encuentran justo en los puntos de concentración de estrés. Deducen que, la capacidad de carga de las uniones, están limitadas al ancho de la espiga. Una vez vistos los puntos específicos de estrés, desarrollaron un test experimental mediante posibilidades de uso de esas uniones estudiadas.

- Cambiando las dimensiones de las superficies de contacto de los ensambles, aumentan las propiedades mecánicas. Creando un saliente en el hombro de la espiga, se contribuye a incrementar las propiedades mecánicas. Las relaciones entre cada tipo de unión individual se pueden diseñar para optimizar la forma y dimensión de las uniones de auto ensamblaje.

-Comparan FEM con experimental y concluyen que las propiedades mecánicas de las espigas dependen del ancho de las mismas y de las dimensiones de los salientes adicionales. Con un saliente alargado en su ancho, las propiedades mecánicas de las uniones aumentan; de manera que las uniones se deforman o se dañan a mayores fuerzas ejercidas.

A1.8. (2011-2019) Purdue University Group. USA

A1.8.1. #16. (2011) Approach to furniture design education at Purdue University

# 16 2011	Approach to furniture design education at Purdue University	Haviarova, Eva	Purdue University USA
--------------	---	----------------	--------------------------

Haviarova, E. (2011). Approach to furniture design education at Purdue University. *Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Forestry and Wood Technology*, 73, 36-43.

Estudio analítico del artículo:

A pesar de su brevedad, el artículo resulta de máximo interés por la información acerca de los diversos métodos pedagógicos que aplican en el Departamento y que describe Haviarova detalladamente. Destacan varias aportaciones.

Define lo que denominan los componentes para obtener un buen diseño. Supone enfatizar en diseño de la estética, diseño de la resistencia y diseño de la fabricación. Pretende que el alumnado sea capaz de comprender y de utilizar estos componentes de manera sinérgica y equilibradamente.

BUEN DISEÑO...sinergias entre:

ESTÉTICA + RESISTENCIA + FABRICACIÓN

Critica que, a menudo, muchas piezas consideradas una obra de arte dejan de lado aspectos del campo de la ingeniería de los

muebles como la integridad estructural, a la que otorgan normalmente de una importancia secundaria. Abunda, además, en que las necesidades estéticas se ven favorecidas por encima de los requisitos estructurales de los productos. Se manifiesta consciente de la realidad de que, lo que está de moda vende muebles, pero también considera que es imprescindible aplicar una práctica metódica que genere muebles estructuralmente sólidos, seguros y duraderos. Incide y enfatiza en la importancia de que un diseñador se esfuerce en crear muebles que estén a la moda y que sean estéticamente agradables.

Además de lo señalado, añade que los muebles han de ser económicamente factibles, funcionales, ergonómicamente correctos, que puedan producirse con un tiempo de entrega corto, y que han de aplicarse materiales y carpintería adecuados para crear un producto estructuralmente sólido, que brinde un servicio seguro y fiable. Todo ello para conseguir que la producción sea económicamente viable.

En cuanto al diseño de estructuras de mobiliario, dentro de la ingeniería de productos, se decanta Haviarova por un enfoque sistemático, disciplinado y cuantificable. Para ello considera crucial contar en el currículum del alumnado con formación en pruebas de rendimiento que predican posibles fallos o problemas inesperados, mejorando así la durabilidad y seguridad de productos de mobiliario. Para ello capacitan a los estudiantes para testado y evaluación de piezas pudiendo aportar en general más información a agentes como diseñadores, fabricantes y clientes. Fomentan, pues, experiencia práctica mediante prototipado rápido convirtiendo a las CNC en componentes esenciales en la educación de diseño de muebles.

CONOCIMIENTOS DE LOS DISEÑADORES

-Conocimientos en Ingeniería de productos

-Conocimientos en diseño de resistencias:
Durabilidad y seguridad

-Conocimientos en realización de pruebas en
mobiliario para predecir fallos.

Estos atributos descritos son en sí mismos medibles y por lo tanto objetivos, y en ello estriba una de las diferencias entre la disciplina de ingeniería de producto y la disciplina de humanidades. El éxito del diseño estético no es medible a priori, pues hasta que

un mueble no es lanzado al mercado no se conoce la relevancia de sus ventas. En cambio, los demás atributos que sí son medibles pertenecen al campo de la ingeniería, menos estudiado en el diseño dentro de las humanidades.

Es en este punto concreto donde se requiere una mayor colaboración entre disciplinas que favorezca el progreso del diseño de mobiliario. Habría que establecer una coordinación con otros departamentos técnicos de la propia universidad. Resulta llamativo que desde la Ingeniería de Producto se incluya dentro de su descripción, esta cuestión del diseño como “sistemático, disciplinado y cuantificable”, pues con ello introducen, dentro de esta categoría, un atributo que no es posible cuantificar, como lo es la moda o la estética de un mueble, quedando este atributo como algo poco justificado. Si lo comparamos por ejemplo con el grupo de Filson y Rohrbacher el atributo de la estética está más presente y contrastado, aunque sus resultados no sean tan convincentes.

Haviarova también refiere que el diseñador de producto debe saber que los siguientes atributos son medibles como: las propiedades de los materiales, cargas aplicadas en servicio, diseño racional de juntas, determinación de los ensambles más adecuados, sistema de conexión de juntas y sus tensiones admisibles. Para poder diseñar cualquier producto aplican un proceso de diseño de ingeniería que fue definido por Carl Eckelman (2003, como se citó en Haviarova 2011) en el que siguen siete pasos que delimitan las diversas fases, de manera que facilitan el trabajo para los diseñadores, siendo además dichos pasos muy pedagógicos para replicar. Estos pasos se encuentran definidos en Capítulo 3.1.3.3.

En el documento también se recogen unas tablas sobre pruebas de resistencia de productos, desarrollados en sus laboratorios, basados en el daño acumulativo. Simula las acciones de servicio del usuario con total precisión, y utilizadas históricamente en laboratorio para investigación. Para observar, aprender y desarrollar los test poseen laboratorio de pruebas de rendimiento. Para poder medir y comprobar todo, afirma que su método de enseñanza conduce a los estudiantes a realizar diseños adecuados.

Todo este conocimiento y su metodología se desarrolla en el *Wood Research Laboratory* (WRL) dentro del *Department of Forestry and Natural Resources* (FRN). Es allí donde los estudiantes observan, aprenden y desarrollan los prototipos estructuralmente sólidos, de manera empírica, fomentando la experiencia práctica individual y grupal. Tras la realización de los trabajos se le anima a la participación en exhibiciones y concursos de estudiantes, recibiendo reconocimientos como puntos que avalan sus programas de formación.

También tratan de crear una sinergia entre la docencia y la investigación mediante el desarrollo de productos e investigación con desafíos emergentes de diseño de muebles como: mobiliario de grandes dimensiones, mobiliario ajustable, mobiliario a medida, conceptos de sostenibilidad y LCA. Otro proyecto realizado en el Laboratorio fue el mobiliario escolar para niños desfavorecidos con la participación de estudiantes graduados en áreas de desarrollo de productos y análisis de

sistemas de fabricación. Es un proyecto piloto para la construcción de una planta de fabricación de mobiliario escolar realizando el estudio de viabilidad de producción.



Dos ejemplos de proyectos realizados en el laboratorio sobre mobiliario escolar para niños desfavorecidos. Haviarova, 2011.

En una vertiente más dirigida a lo profesional, el WRL ayuda a los fabricantes a:

- Desarrollar nuevos conocimientos para la industria de productos de madera.
- Agregar valor a las materias primas de madera.
- Desarrollar nuevos usos para los residuos y subproductos en madera.
- Fomentar la innovación en madera y productos a base de ella.
- Mejorar la ingeniería de productos de madera y tecnologías de procesamiento.
- Capacitar a expertos para el campo de productos en madera.

Dentro del Departamento FRN en docencia ofrecen varios programas de Pregrado y postgrado en tecnología de fabricación de productos de madera y ciencia de la madera, así como una especialización en diseño de muebles.

Entre los cursos que desarrollan, ofrecen: Productos y procesamiento de madera, Estructura, identificación y propiedades de la madera, Propiedades de la madera relacionadas con la fabricación, Fabricación secundaria de productos de madera, Diseño y fabricación de muebles y gabinetes, y Diseño de muebles para fabricación CNC.

Es interesante constatar cómo ya en 2011 esta universidad plantea pedagogías vanguardistas para el diseño de mobiliario. Los cinco primeros cursos atestiguan la especialización técnica mencionada con todo lo relacionado con la madera y sus productos.

Entre las conclusiones más relevantes destacan:

- Las capacitaciones descritas que adquieren sus estudiantes son desafiantes pero muy exitosas.
- Parte esencial de su plan de estudios el diseño de resistencia y las pruebas de rendimiento de los muebles dentro de la vertiente técnica de ingeniería de producto.

-Los estudiantes aprenden que las evaluaciones y pruebas, como la de rendimiento, brinda la última retroalimentación en el proceso de ingeniería de muebles, antes de que éstos entren a su faceta de servicio y por lo tanto ofrece la última oportunidad para aumentar la calidad y fiabilidad de los muebles.

- El uso de las CNC es esencial para atraer a jóvenes diseñadores, la creación rápida de prototipos y está dando lugar a diseños de estudiantes con relevancia.

Como se puede comprobar, en el artículo se muestra una metodología de enseñanza más didáctica y rápida, por el hecho de tener las CNC en el propio laboratorio. Pueden realizar sus prototipos de manera más ágil, cuestión clave para una formación rápida y de calidad. E

A1.8.2. #23. (2015) Determining Tension and Compression Strength and Basic Manufacturing Feasibility of CNC Router-cut Joints

# 23 2015	Determining Tension and Compression Strength and Basic Manufacturing Feasibility of CNC Router-cut Joints	Haviarova, Eva Uysal, Mesut	Tasdemir, Cagatay Gazo, Rado	Purdue University USA
--------------	---	--------------------------------	---------------------------------	--------------------------

Haviarova, E., Uysal, M., Tasdemir, C., & Gazo, R. (2015). Determining Tension and Compression Strength and Basic Manufacturing Feasibility of CNC Router-cut Joints. In *5th International Scientific Conference on Hardwood Processing 2015. Proceedings*, 211-212, 15-17 September, Québec, Canada.

Estudio analítico del artículo:

Antes de entrar en el fondo de la investigación los autores refieren las siguientes premisas:

-Las juntas tradicionales requieren mano de obra y maquinaria especial. Realizadas con CNC son posibles procesos de fabricación más rápidos y precisos (Šimek y Sebera 2010).

-Con estas CNC se puede fabricar formas más complejas de manera más rápida y más precisa.

-Normalmente los productos se realizan con piezas de ingeniería. Realizar juntas en madera trae beneficios dependiendo del diseño de conjunto, material utilizado y fabricación de las tolerancias. Tienen potencial para desarrollarlas con mecanismos de autobloqueo, en los que normalmente falta la validación de la fuerza conjunta.

-El equipo evalúa siete tipos de juntas para comprobar su resistencia y capacidad de fabricación, para luego ser comparada con los tipos de juntas tradicionales.

Establecidas estas premisas, dan a conocer su metodología para realizar la investigación. Describen siete tipos de uniones: cola de milano, oreja de Mickey Mouse, oreja de Mickey Mouse ciega, junta ciega a presión, junta ciega cuadrada con bloqueo, junta vista puzle con bloqueo, junta ciega de puzle con bloqueo. En el siguiente artículo, 2019, se profundiza más en el desarrollo de estas juntas, incluso adjuntando dibujos.

Todos los ensambles los diseñaron, los fabricaron, los optimizaron y finalmente los testaron. Proceso:

-1 configurar 70 muestras en tableros de DMF con uniones en forma de "L" compuestas por pieza horizontal, llamada brazo y pieza vertical, llamada poste. En la esquina se dispone el ensamble. Se cortaron en un modelo de CNC específico.

-2 Evaluaron la Factibilidad de Fabricación de cada tipo de unión mediante el cálculo del rendimiento del material y el tiempo de procesamiento. Realizan test de resistencia a la compresión y tensión en una máquina de prueba de carga estática.

-3 Comparación de resultados obtenidos de las pruebas de resistencia de las uniones CNC con las uniones de madera realizadas con los métodos tradicionales más comunes como son según ellos: juntas con espiga y uniones de caja y espiga rectangular.

Para consultar algunos resultados se recomienda visitar la fuente directa donde muestran una tabla con las capacidades de carga promedio de los distintos tipos de junta. Entre alguna de las observaciones que hacen señalan que las uniones de puzzle con bloqueo tuvieron la mayor capacidad de carga (187,7 lbf). Esta medición corresponde a la libra fuerza del sistema americano. Sin embargo, las uniones de oreja de Mickey Mouse (69,8lbf o 31,6 kgN) obtienen la capacidad de carga más baja en la prueba de compresión. Otra de las tablas recoge la factibilidad de fabricación básica de las juntas cortadas con CNC.

En alguna de las observaciones sobre sus resultados manifiestan que la cola de milano tiene un tiempo en el proceso de fabricación más corto y un rendimiento más alto; dato significativo a tener en cuenta a la hora de desarrollar productos, sopesando también los tiempos de corte con sus esfuerzos. Sin embargo, se cuestionaban sus propiedades de resistencia para la fabricación de muebles. Por otra parte, en las propiedades de resistencia de fuerzas, siendo estas balanceadas, la oreja ciega de Mickey mouse resultó “perjudicada” por el alto tiempo de procesamiento para este ensamble.

De ahí que se vea recomendable que futuros estudios se encaminaran a mejorar las propiedades de resistencia de cola de milano, mientras conserve su alto rendimiento y su menor tiempo de procesamiento. Otros estudios podrían abordar los tiempos de procesamiento elevados de la mencionada unión oreja ciega de Mickey Mouse, manteniendo sus propiedades favorables de resistencia a tensión y a compresión. Otra conclusión de interés es que el proceso de corte que más tiempo consumió se registrara en el componente poste de la junta ciega a presión, unos 86,21 segundos.

A1.8.3. #31. (2019) Manufacturing Feasibility Analysis and Load Carrying Capacity of Computer Numerical Control Cut Joints with Interlocking Assembly Feature

# 31 2019	Manufacturing Feasibility Analysis and Load Carrying Capacity of Computer Numerical Control Cut Joints with Interlocking Assembly Feature	Uysal, Mesut Tasdemir, Cagatay	Haviarova, Eva Gazo, Rado	Purdue University USA
--------------	---	-----------------------------------	------------------------------	--------------------------

Uysal, M., Tasdemir, C., Haviarova, E., & Gazo, R. (2019). Manufacturing Feasibility Analysis and Load Carrying Capacity of Computer Numerical Control Cut Joints with Interlocking Assembly Feature. *BioResources*, 14(1), 1525-1544.

Estudio analítico del artículo:

Como paso previo a la descripción de la esencia de su propio estudio documentan una base teórica relacionada con varias temáticas del artículo, de gran interés para la fabricación de mobiliario. Justifican el uso de las CNC, sobre los ensambles, y el estudio de la viabilidad de los mismos.

Las ideas principales sobre CNC que se recogen en esta investigación son:

-La introducción de nuevas tecnologías en una industria tiene un impacto directo en cambios en el sistema de producción. Afirmado ya en escritos de Gros o Šimek.

- Las CNC se desarrollan primero para el campo de la metalurgia y se vuelve popular para procesar madera tras el desarrollo de la ingeniería de la computación, en particular, el desarrollo de paquetes de software especiales (Tannert et al 2008).

-Beneficios que aportan las CNC: flexibilidad, la capacidad de cortar formas geométricas complejas, la capacidad de producir estructuras tridimensionales complejas, el alto nivel de precisión de mecanizado y la disminución de los pasos de procesamiento de la máquina (Tannert et al. 2008; Cheng et al. 2015, como se citó en Uysal et al. 2019). Además de esto, mayor velocidad de fabricación, mayores tasas de productividad, tolerancias estrictas y menor coste de mano de obra (Tannert et al. 2007, 2008; Tamke et al. 2008; Šimek y Vaclav 2010, como se citó en Uysal et al. 2019). La calidad de fabricación y la variación dentro del proceso pueden controlarse, lo cual es muy beneficioso en contraposición al sistema tradicional de producción.

-Inconvenientes CNC: tiempo de procesamiento, comportamiento térmico, respuesta dinámica, las respuestas del material (Akturk e Ilhan 2011; Cheng et al. 2015, como se citó en Uysal et al. 2019), otros asociados a la naturaleza del material como la orientación de la veta, quebrado de esquinas o quemado del material durante el corte por recalentamiento. Y la incapacidad de cortar y rebajar esquinas interiores.

Ideas principales sobre ensambles que se recogen en esta investigación:

-Los ensambles de un mueble son partes vitales de la estructura. Rompen o colapsan debido a que se encuentran algo sueltas o con fallos en vez de obtener rotura en patas o perfiles Eckelman (2003, como se citó en Uysal et al. 2019).

- Los ensambles poco fiables dan resultados de muebles poco fiables Smardezewski (2009, como se citó en Uysal et al. 2019).

-Los ensambles con mecanismos de auto encaje o autobloqueo proporcionan una mejor capacidad de servicio y durabilidad (Snow et al. 2006; Tamke et al. 2008; Tannert et al. 2008; Šimek y Vaclav 2010; Pang et al. 2011, como se citó en Uysal et al. 2019).

- Profundizaron en lo que se había escrito hasta el momento sobre juntas cortadas con fresadoras CNC para muebles y edificios, y en lo que concierne a los de mobiliario citan a (Gros 2001; Davis 2006; Anastas 2007; Šimek y Vaclav 2010, como se citó en Uysal et al. 2019)

Todas estas citas corresponden a autores que en su mayoría ya han sido estudiados en esta Tesis.

Cuando entran en materia de su investigación señalan que, al localizar muy poca información previa sobre relación entre capacidad de carga y viabilidad, tratan de centrar el estudio en estas dos vertientes.

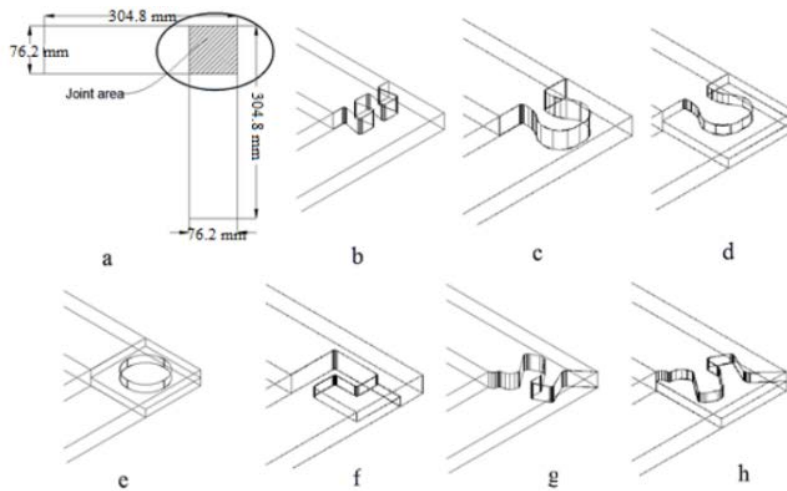


Fig. 1. CNC router-cut joints configuration: a: L-shaped joint, b: DT, c: MME, d: B-MME, e: S, f: SL, g: PL, and h: B-PL joints

Ensamblajes del Grupo de la Universidad de Purdue. Uysal et al., 2019.

- Para la capacidad de carga probaron diferentes tipos de uniones para compresión y tracción, y los compararon con ensamblajes tradicionales como caja y espigas.

Los ensamblajes digitales que estudian los denominan: Cola de milano (DT), Mickey Mouse ear (MME), la misma pero oculta con rebaje a mitad de material (B-MME), uniones a presión (S), juntas ciegas cuadradas con bloqueo (BSL), junta puzle con bloqueo (PL) y junta ciega puzle con bloqueo (B-PL).

-La viabilidad de fabricación de cada tipo para determinar el rendimiento del material, el tiempo de procesamiento y la puntuación que adquieren de piezas DFMA se basan en (Boothroyd 1994; Boothroyd et al. 2010, como se citó en Uysal et al. 2019).

Un factor indispensable que agregan valor a cualquier estudio de investigación es la practicidad y la capacidad para resolver problemas industriales. Un estudio de viabilidad evalúa y analiza los inconvenientes y puntos fuertes de un proyecto propuesto para facilitar el proceso de toma de decisiones. De ahí su esfuerzo adicional en los análisis de factibilidad que constituye una herramienta útil para lograr un proceso de producción eficiente de fabricación y costes, reflejado en trabajos de (Whitten et al. 2001; Blanchard y Fabrycky 2010; Liu 2015, como se citó en Uysal et al. 2019). Por lo tanto, un análisis de factibilidad ayuda a determinar si la idea del proyecto satisface las limitaciones tecnológicas y de costos.

Según sus indagaciones las tendencias actuales del mercado y el aumento de la competitividad dentro de la industria obligan a desarrollar una forma de optimizar la rentabilidad del proceso de

DFM + DFD = DFMA
-Ayudan en la eficiencia de costes
-Reducen cantidad de material al eliminar desperdicios
-Reducen costes de mano de obra
-Mejoran los procesos de diseño

diseño. A principios de 1980 surgen los sistemas que ayudaban a la estimación del tiempo de ensamblaje como atestiguan (Lefever y Wood 1996; Boothroyd et al. 2010; Arnette et al. 2014, como se citó en Uysal et al. 2019). Posteriormente se hacen populares el diseño para la

fabricación (*Design for Manufacturing DFM*) y diseño para el ensamblaje (*Design for Disassembly*)

DFD) que fueron creados para ayudar con la eficiencia de costos al eliminar el desperdicio a través de mejoras en el diseño y los procesos como se refleja en (Boothroyd 1994; Meeker y Rousmaniere 1996, como se citó en Uysal et al. 2019). Tanto DFM como DFA tienen como objetivo tratar de reducir los costes de materiales y mano de obra como una función del diseño y la fabricación optimizados del producto. Los dos conceptos juntos en una metodología integrada son llamados DFMA (*Design For Manufacturing and Assembly*) (Ashley 1995; Emmatty y Sarmah 2012; Barbosa y Carvalho 2013, como se citó en Uysal et al. 2019). Toda esta temática de optimización tiene una gran importancia ya que afirman que del 70% al 80% del coste total se lo lleva la fabricación,

COOPERACIÓN ENTRE:

Ingenieros <-> diseñadores de procesos y productos

Durante las facetas de diseño de un nuevo producto no se presentan muchos problemas de este tipo, pero desde el punto de vista del diseño de la resistencia del

producto ya entran en la ecuación otros factores que condicionan el diseño final. Por lo tanto, manifiestan que los ingenieros, en cooperación con los diseñadores de procesos y productos, deben idear el diseño más práctico y factible, teniendo en cuenta la tecnología actual y las limitaciones de capital.

Siguiendo con el estudio y su parte de profundización industrial de productos señalan que en cualquier industria, minimizar la cantidad de piezas sin comprometer el rendimiento del producto es una buena manera de reducir el inventario, que es la fase clave de transformación hacia una

EFICIENCIA DE UNA EMPRESA

Menos piezas de un producto sin comprometer el rendimiento.

empresa más eficiente (Demeter y Matyusz 2011; Hofer et al. 2012, como se citó en Uysal et al. 2019) Otro objetivo que pretenden conseguir con este estudio es garantizar que los

diseños conjuntos propuestos sean compatibles con la implementación de la automatización tipo CNC. Es decir, los diseñadores han de pensar sus diseños teniendo ya en cuenta las posibilidades y limitaciones de la fabricación digital. Concluyen esta parte de procesos industriales indicando que esperan que los resultados de este estudio sirvan como guía para los interesados en muebles en general, diseño de carpintería, comprensión de la viabilidad de fabricación y propiedades de resistencia de diferentes tipos de juntas producidas con maquinaria CNC.

Una vez centrada toda la base teórica con sus referencias pasan a la metodología que aplican en la fase experimental de testado de sus ensambles.

-En cuanto a los materiales y construcción de las muestras hacen referencia al uso de tableros de fibra de densidad media (MDF) y contrachapado de abedul báltico de empresas cercanas a Purdue. Sin entrar en mayor profundidad indican que son éstos los materiales más utilizados para fabricación de muebles y estructuras de gabinete.

Las muestras se configuran de igual manera que la mencionada en la ponencia de 2015, en forma de "L", y con dos piezas cortadas con CNC: la horizontal llamada brazo y la vertical llamada poste; y ¿en? la unión en esquina de las dos piezas se disponía el ensamble. Al tratarse de dos materiales diferentes presentan las propiedades mecánicas de cada uno. Para construir los ensambles tradicionales utilizaron espigas de madera de roble blanco y ensamblaron las juntas con adhesivo de acetato de polivinilo (PVA).

-En las definiciones tecnológicas indican que las figuras y dibujos de los ensambles se realizaron con AutoCAD de Autodesk; para el mecanizado de las piezas se utilizó el programa CAM MasterCAM y el modelo de fresadora CNC Thermwood 45.

Para el diseño de estas uniones señalan que las DT, S y SL fueron diseñados y desarrollados por los autores, mientras que para los diseños PL, B-PL, MME y B-MME se inspiraron en Gros (2001).

Entran también a describir otras fases de producción para las muestras. En el caso de los ensambles digitales explican cómo fresaron las piezas, con el número de pasadas, profundidades, tipos de fresa, etc. Para los ensambles tradicionales también se explica pormenorizadamente el procedimiento de preparación de las piezas con sus partes de brazo y poste con las medias específicas, el tipo de cola, tiempos de secado y demás. Es interesante estudiar, conocer y mostrar toda esta metodología a estudiantes de diseño ya que se obtiene una imagen general sobre diseño de mobiliario, y que podrán tener en cuenta a la hora de comenzar el diseño de un mueble.

Una vez descritos los ensambles profundizan en los criterios de viabilidad de los test que, principalmente, se basan en la dificultad de inserción y la dificultad de manejo en el montaje de las muestras. El factor de dificultad de inserción y montaje lo calcularon en función de los resultados de las pruebas realizadas de acuerdo con las pautas preestablecidas que involucran el tiempo de inserción, la dificultad de alineación, la tasa de seguridad de ajuste tras la inserción y la asistencia mecánica requerida durante la misma, como la necesidad de usar un martillo para completar el proceso de instalación. El factor de dificultad de manipulación lo determinaron como una función combinada del tiempo de manipulación, el peso, la fragilidad y la flexibilidad (Kamrani y Nasr 2010, como se citó en Uysal et al. 2019).

Unieron los resultados de varios análisis en una hoja de cálculo de Microsoft Excel (Microsoft Cooperation, v. Windows 10, Redmond, WA, EE. UU.) y lo convirtieron en una calificación final en una escala del 1 al 10, lo que dio como conclusión un único indicador de rendimiento de DFMA. Durante toda la fase de diseño trataron de garantizar los principios de DFMA comúnmente aceptados tras las discusiones que detallaron y seleccionaron entre varios diseños alternativos. Esperaban que los productos con mayores tasas de cumplimiento de DFMA tuvieran menor tiempo de fabricación, ensamblaje y costo. Los diseños más confiables conducirían a un tiempo de ciclo de producción de alta velocidad desde el principio hasta el final en toda la línea de producción.

La eficiencia de fabricación para los ensambles digitales la determinaron calculando los porcentajes de rendimiento para los siete tipos de ensambles cortados con fresadoras CNC. Profundizan en la investigación sobre la preparación de los parámetros a tener en cuenta para poder realizar todas sus comprobaciones mediante fórmulas que también explican, como los tiempos de procesamiento de corte aportados por el programa CAM utilizado, pérdidas de peso medio por corte del material, pesos iniciales, dimensiones de los tableros donde se cortaron las muestras, etc. En definitiva, describen toda la metodología sobre la eficiencia de fabricación, del mayor interés para un diseñador desde el inicio o concepción de un mueble, facilitando estas labores de optimización.

Otra metodología cuyo conocimiento también es importante y se explica detalladamente en el documento, consiste en las pruebas de carga estática realizadas a un total de 90 prototipos, de los que 70 fueron cortados con fresadora y los 20 restantes con métodos tradicionales. Evaluaron la capacidad de carga de tracción y compresión. Describen toda la fase de aplicación de fuerzas con su tiempo, unidades de carga, lugar de aplicación de la carga, etc.

Una vez se han definido todas las partes técnicas de la investigación se pasa al análisis de los resultados y de las discusiones, que incidirán en la industria del mueble. Asimismo, se consideran de interés para ser mostrados en docencia ya que el alumnado de diseño de mobiliario cuenta con referencias de tamaños, morfologías, materiales, espesores de materiales, capacidades de carga, etc. para trabajar posibles ejercicios de muebles.

Se recomienda consultar las tablas que aporta este estudio junto con los resultados analizados por los autores, lo cual ayudará a la toma de decisiones directas, a la hora de diseñar ensamblajes para mobiliario. No obstante, aquí se recogen los resultados más generales, omitiendo los pormenores específicos del texto.

RESULTADOS MÁS RELEVANTES
-Tiempos de corte similares entre piezas cortadas en MDF o contrachapado (MDF ligeramente mejor).
-Los ensamblajes con rebajes conllevan mayor tiempo de corte, pero a su vez mejor rendimiento de esfuerzos.
-Todos los materiales cumplen con éxito los requisitos de DFMA.
-Ensamblajes de MDF tienen valores de rendimiento algo mejores que los de contrachapado.
-Compresión: ensamblajes cortados con CNC, capacidades más altas o iguales al método tradicional.
-Compresión: ensamblajes en contrachapado superan significativamente a los de MDF.
-Compresión y Tracción: mayor capacidad de carga los de contrachapado que los de MDF.
-Relación significativa entre el área de pegado y resistencia del ensamblaje.
-Valores de tracción < valores de compresión

Mencionamos además algunas otras **conclusiones** de los autores dirigidas al lector en sus pautas principales. Para poder contrastar datos evaluaron la viabilidad de ensamblaje y fabricación de cada uno de los diseños por medio del mencionado método DFMA de manera que justificaran si los tipos de ensamblajes propuestos cumplían con ciertos requisitos de resistencias críticos típicos para la industria del mueble. Dentro del alcance técnico de este estudio señalan que los argumentos y justificaciones teóricas las respaldaron con aplicaciones prácticas y análisis estadísticos para brindar a los lectores una comprensión completa de los procesos de diseño y fabricación relacionada con los tipos de uniones propuestos, así como para documentar las propiedades de resistencia bajo las condiciones específicas establecidas. Las preguntas de investigación relacionadas con los conceptos de diseño de factibilidad y resistencia se respondieron a través de una metodología sistemática y se obtuvieron resultados valiosos.

Entre las conclusiones basadas en las tablas presentadas y ampliado el resumen de resultados indicados más arriba, recogen:

1. A través de estudios DFMA, encontraron que la mayoría de los tipos de ensamblajes propuestos podrían fabricarse en un entorno industrial. El tiempo de corte de los ensamblajes hechos de MDF fue menor en comparación con las de madera contrachapada, mientras que proporcionaron un rendimiento más alto excluyendo los ensamblajes de *Mickey Mouse Ear* (MME) (-1,7%) y *Blind Puzzle Lock* (B-PL) (-1,8%).
2. Los ensamblajes hechos de madera contrachapada tenían propiedades de mayor resistencia en comparación con las de MDF, debido a su mayor fuerza de unión interna y propiedades mecánicas. Por lo tanto, se recomienda utilizar juntas de madera contrachapada en estructuras de muebles donde se requieren valores de resistencia más altos; por consiguiente, marcos de sofás, etc. Por otro lado, las uniones hechas de MDF

podrían usarse en muebles o estructuras de gabinetes en los que se requiere una carga ligera y una estructura liviana, como las puertas de los gabinetes.

3. La capacidad de momento de flexión en los resultados de la prueba de compresión para ensamblajes hechos tanto de madera contrachapada como de MDF fueron más altas que las de tracción, con la excepción de los ensamblajes *Blind Mickey Mouse Ear* (B-MME) y Snap (S), para los cuales, los valores de resistencia a la compresión y a la tensión estuvieron razonablemente cerca uno del otro. Los tipos de ensamblajes que carecían de sistema de autobloqueo proporcionaban menor resistencia a la tracción. Por lo tanto, este tipo de uniones no deben usarse en estructuras de muebles donde la fuerza impuesta exceda su resistencia, siempre que el ensamblaje esté sujeto a carga de tracción.

4. El análisis de capacidad de carga les reveló que las uniones cortadas con una fresadora CNC hechas tanto de madera contrachapada como de MDF proporcionaban valores de resistencia mejores o razonablemente cercanos en comparación con los de las uniones tradicionales. Esto se debió, especialmente en las pruebas de compresión, a la compleja geometría de los ensamblajes. Por lo tanto, podría preferirse utilizar ensamblajes cortados por CNC en estructuras de muebles donde la carga de compresión es la principal preocupación. Por otro lado, para los casos en que los ensamblajes de los muebles deban resistir carga de tracción, se deben utilizar juntas tipo B-MME y S de madera contrachapada, ya que pudieron proporcionar valores de resistencia más altos en comparación con los ensamblajes tradicionales.

5. La reducción del tiempo de fabricación y el aumento del rendimiento afirman que podrían ayudar a las empresas a ahorrar dinero si se implementan metódicamente los principios de DFMA. En conclusión, aunque los ensamblajes hechos de MDF les proporcionaron un tiempo de corte más rápido y un mayor rendimiento en comparación con las de madera contrachapada, no fueron tan eficientes como sus homólogos hechos de madera contrachapada, en términos de puntuación de cumplimiento de DFMA y de resistencia tanto a la compresión como a la tracción. Por lo tanto, se deben considerar bien los requisitos de las diferentes estructuras de muebles, antes de tomar una decisión final, sobre qué junta y tipo de materia prima utilizar.

A1.9. Década 2010. Investigaciones aisladas

A1.9.1. #24. (2016) Parametrically Fabricated Joints: Creating a Digital Workflow

# 24 2016	Parametrically Fabricated Joints: Creating a Digital Workflow	Cormack, John Sweet, Kevin	Victoria U. of Wellington New Zealand
--------------	---	-------------------------------	--

Cormack, J. & Sweet, K. (2016). Parametrically Fabricated Joints: Creating a Digital Workflow. In *XX Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital. Crowdfunding*, 412-417, 9-11 November, Buenos Aires, Argentina.

Estudio analítico del artículo:

Como antecedente y, para centrar su objeto, ensalzan la habilidad y precisión de llevar a cabo la carpintería de madera de forma manual. Se transmiten o desarrollan por medio de la iteración y la reflexión práctica. Pero indican, así mismo, que, la fabricación digital, proporciona formas nuevas, inexploradas, para crear y diseñar uniones. Y aquí, llama la atención, que no se mencione a Gros, puesto que, desde 1998, se tenía un documento rico en exploración sobre estas formas.

Además, evidencian, que las uniones pueden ser más avanzadas con esta tecnología, puesto que la Fabricación Digital no está sujeta a las limitaciones del ser humano. Aunque, por otro lado, como se ha mencionado en varios artículos estudiados (3.1.5.) las fresadoras poseen otras limitaciones que la forma tradicional no tiene. Por lo tanto, existen ventajas y desventajas en ambos casos; y lo óptimo sería una conjunción entre ambas opciones.

Tras explicar la potencialidad que tienen los ensamblajes de madera realizados con CNC, abren vías de profundización para su investigación, en donde, de forma resumida, sus ideas principales son las siguientes:

- Exploran la capacidad de crear conjuntos de uniones en entornos paramétricos producidas con CNC, redefiniendo la idea de unión por medio de herramientas contemporáneas de creación y fabricación.
- También pretenden proporcionar un flujo de trabajo digital continuo, desde la creación paramétrica y flexible del ensamble, hasta la fabricación física final.
- Crearon digitalmente los ensamblajes tradicionales más simples, por primera vez, para tratar de aprender los desafíos educativos en un flujo de trabajo computacional que implicaba la creación y fabricación de uniones programadas geoméricamente. Siguen alegando la exclusividad sobre este enfoque cuando no es del todo real.
- Tras diseñar ensamblajes en CAD, los prueban en fresadoras CNC e impresoras 3D, y posteriormente, los perfeccionan en un proceso iterativo o de retroalimentación. Pero la transformación de lo virtual a lo físico les requiere más investigación y pruebas.
- La selección de un ensamble lo basan en su resistencia, calidad estética y presencia dinámica. Engloba gran complejidad y reto para un artesano, ya que debe responder a las habilidades de tolerancia, aplicación y ensamble para tener una unión exitosa.
- Con el uso de las CNC, se precisa colaboración entre el entorno humano y tecnológico, mediante el entorno paramétrico, para un mecanizado automático. Este entorno es un proceso de pensamiento avanzado que permite programar las capacidades de la máquina en el ensamble, separado del proceso de diseño. Si se diseña para las capacidades de la

máquina, los diseñadores deben involucrarse en los procesos de fabricación. Ya no se diseñan las formas sino el proceso de producción en sí. (Gramazio & Kohler., 2008).

Tras estas premisas, pasan a describir los problemas que les surgen del paso a la práctica del proyecto. Utilizan el programa CATIA, para la creación del catálogo de uniones, debido a que consideran, en un principio, sus cualidades específicas, como beneficiosas. CATIA es un programa de ingeniería que, tradicionalmente, era usado, en la industria de la aeronáutica y de la fabricación, por sus poderosas posibilidades colaborativas, de parametrización y creación de producto. Integra programas CAD y CAM en un mismo entorno multidisciplinar, por lo que, cualquier cambio, modifica todo el conjunto optimizando ineficiencias. Definen algunas dificultades y particularidades que presenta el programa a la hora de ir configurando las relaciones paramétricas; por lo que, si se tiene un mayor interés, es mejor consultar el documento directamente.

Posteriormente, pasan a la parte de diseño, en sí, de los ensambles de forma paramétrica, por lo que han de ir estableciendo relaciones, e introduciendo paulatinamente restricciones, para ir creando ensambles. Se les genera ciertos inconvenientes en la parametrización a medida que se iban complejizando las formas de los ensambles.

Tras la creación de algunos modelos CAD, investigaron la producción y la creación física de los ensambles seleccionados, unos en 3D y otros con CNC. En este preciso momento es cuando introducen, y se familiarizan, con uno de los condicionantes más importantes entre el paso de lo virtual a lo físico. La Tolerancia.



Inconvenientes de tolerancia en los ensambles realizados. Cormack y Sweet, 2016

La Tolerancia es el parámetro al que le dan más importancia tras las iteraciones, puesto que, como definen en el entorno virtual, no existen las relaciones físicas y las limitaciones de los materiales. Algunos no necesitaron tolerancia, pero sí ejercer mucha fuerza para el encaje. Inciden en la importancia de conocer el propósito, puesto que no es lo mismo contar con tolerancias para elementos arquitectónicos que para objetos o mobiliario. Llama la atención que nunca antes tuvieron en cuenta la tolerancia hasta que trataron de producirlos. Alegan de la inconsistencia en la calidad de los tableros, y propiedades defectuosas, y que diferían hasta en $\pm 1\text{mm}$. Estos inconvenientes en el grosor variable del material rompieron la relación paramétrica de todo el proceso, dando muchos errores en cortes inexactos. Por todo ello, trasladan la tolerancia del diseñador al fabricante puesto que es éste el que puede hacer los ajustes finales.

Como conclusión de esta experiencia específica, dan pie para registrar varias afirmaciones:

-Los programas digitales son herramientas muy poderosas, pero, a veces, al cambiar algunas variables, todo el árbol de relaciones puede dar error y no sirve el diseño paramétrico, por lo que no es algo infalible. Esto exige un perfecto dominio del programa y del diseño.

- Pero también es visto como una ventaja, ya que, la plataforma del programa, fuerza al diseñador a pensar sobre el proceso entero, incluso en etapas fundamentales de creación. La constante retroalimentación de las relaciones entre lo físico y lo virtual redefinen el proceso de diseño haciendo cada etapa más robusta cada vez.

- Tras esta experiencia, afirman que la creación de un catálogo de ensambles puede fácilmente instalarse en cualquier programa, e introducir propiedades estructurales además de comportamientos de los materiales. El diseñador podría elegir el material, y los requerimientos estructurales de los ensambles, y recibir retroalimentación de los modelos virtuales en cuanto a si el diseño previsto es posible o no.

- El diseñador describe unas condiciones ya establecidas y programa unas reglas a ciertas partes para generar geometría más eficiente. Con las reglas de los materiales y estructura, llevados a esas partes, el arquitecto puede confiar en el programa para generar diseño que es posible producir.

- El método sería el mismo; ir de lo particular a lo general, de una pieza mínima, como el ensamble, para, una vez controlada esta escala, se pueda pasar a escalas y sistemas mayores, como paredes, estructuras de techo, etc. No se pretende que el programa genere arquitectura, sino que ayude en la fabricación de sistemas arquitectónicos, diseñados e implementados por el arquitecto, dando más control al proceso de diseño y menos preocupación por el proceso de construcción.

Como conclusión general, que aportan estos investigadores, se combinan diversas ideas innovadoras, como fundamento hacia un concepto de sistema digital de trabajo, en el campo de la arquitectura. Creen que, mediante la construcción de un catálogo de partes digitales que, paramétricamente, puedan cambiarse o adaptarse a casos concretos, el arquitecto tendría más control en el resultado del diseño. Los ensambles que configuraron manualmente, para más funcionalidad que estética, tras esta experiencia, pueden ahora crearlos para ambos propósitos. Se les ocurre que, los módulos de diseño pueden tener la “inteligencia” estructural y materiales programados en ellos, de manera que el diseñador puede focalizarse en configurar las relaciones, en vez de en las partes técnicas, sin saber si funcionarán o no. El éxito del funcionamiento de su investigación, afirman que dejaría paso a una nueva manera de pensamiento sobre el diseño arquitectónico, en el que se integran las consideraciones de producción de las piezas de producción, desde el principio, en vez de alterar el diseño al final para que encaje en las limitaciones de producción. A su juicio, traerían nuevamente el título de maestro constructor a los arquitectos.

Siendo unos ingenieros computacionales se valora positivamente la mención a un programa informático, que integre un catálogo de ensambles para poder tener soluciones que, a medida que se va diseñando, el programa pueda mostrar si es posible o no determinada opción. Como ya se sugirió, también podría ser factible conectar con otro programa, para que se pueda calcular si toda la configuración del mueble va a soportar sus solicitaciones, a través de por programas FEM como ANSYS, sin tener que introducir ese catálogo preestablecido.

A1.9.2. #29. (2018) Furniture Design with Digital Media

# 29 2018	Furniture Design with Digital Media - A participative educational experiment of digital craftsmanship	Symeonidou, Ioanna	U. of Thessaly Greece
--------------	---	--------------------	--------------------------

Symeonidou, I. (2018). Furniture Design with Digital Media - A participative educational experiment of digital craftsmanship. *Computing for a better tomorrow – Proceedings of the 36th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, vol. 2, 417-426, 9-21 September, Łódź, Poland.

Estudio analítico del artículo:

El artículo se estructura, primero, describiendo algunos datos sobre el perfil del taller y sus particularidades. Posteriormente, se presenta una base de referencias relacionadas con las metodologías pedagógicas que se van a impartir. A continuación, las etapas del sistema de trabajo que se implanta pasando por las primeras ideas, la fabricación, y el montaje del proyecto. Finalmente, pasa a las fases de análisis de todo el taller con metodología de análisis y evaluación de cada fase, para efectuar las conclusiones.

El taller fue organizado por el programa de Diseño de Producto Estratégico, de la universidad Helena. Los participantes eran de diversas disciplinas y formaciones, como arquitectos, ingenieros mecánicos, tecnología de la madera y automatización. La formación digital de disponía de forma que algunos sabían modelar en 3D con Rhinoceros; muy pocos sabían modelar paramétricamente con Grasshopper; y, también, muy pocos, familiarizados con maquinaria CNC u otras máquinas para trabajo con madera. Se experimentó en un tiempo límite de dos fines de semana, desde los primeros diseños hasta la producción. El esquema de trabajo fue el siguiente:

1.- El primer fin de semana, se desarrolló el Diseño y prototipado virtual:

- Breve introducción teórica sobre diseño de mobiliario, ergonomía y antropometría.
- Breve introducción práctica sobre tutoriales de Rhinoceros para, seguidamente, diseñar las primeras ideas de muebles de manera individual o pequeños grupos.
- Producción de modelos escalados, pruebas físicas de uniones de piezas y prototipos reales.

2.- El segundo fin de semana se desarrolló la fabricación a escala real.



Proceso de montaje del mueble. Symeonidou, 2018.

Uno de los objetivos del taller era explorar la nueva metodología híbrida de diseño donde, “la investigación de las ideas, están directamente relacionadas con lo táctil, la naturaleza física de la arquitectura y los procesos de construcción (Sheil, 2005, como se citó en Symeonidou, 2018).

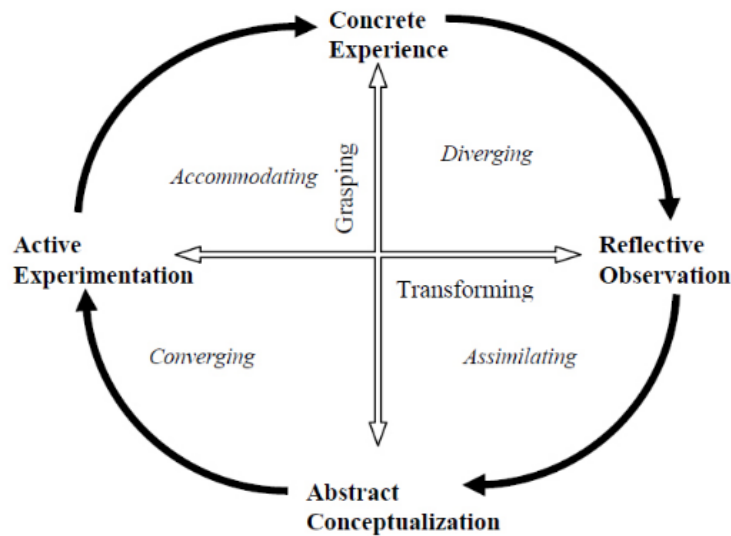
Sobre ello, pasan a describir una importantísima base de referencias, sobre varias metodologías, para aplicar en el taller como, “Aprender Haciendo” (*Learning by doing*), mediante reflexiones con diversos autores de la importancia en Docencia, entre las que destacan:

- Ryle y Dennett (2000, como se citó en Symeonidou, 2018) el proceso mental no puede estar aislado del proceso físico. Y establecer la distinción entre “saber cómo” y “saber qué”, es de vital importancia para la docencia en diseño.
- El conocimiento es una consecuencia de la experiencia, y el rol de la tecnología digital, en docencia para diseño, es muy significativo para construirlo. (Stager, 2014, como se citó en Symeonidou, 2018)
- A Leonardo da Vinci lo consideran uno de los padres de esta escuela, quien está considerado como el mejor constructor de todos los tiempos.
- Seymour Papert, en el MIT Media Lab, es una de las principales figuras de aprendizajes activos, siendo partidario de la idea de ir aprendiendo mediante la activa construcción de conocimiento, por medio del proceso de construcción, y compartir, tanto artefacto como conocimiento (Papert, 1994, 1993(Stager, 2014, como se citó en Symeonidou, 2018). Muy en la línea de lo que defendía AtFAB y todos los autores a los que referenciaron en su libro, para una mayor difusión de las tecnologías digitales.

Otra de las metodologías que estudian, es la de Aprendizaje Basado en Proyectos, establecida en la educación arquitectónica, en donde se recogen las aportaciones de muchos autores que han escrito sobre ello, y de la que se recomienda su estudio, si se tiene un mayor interés. Entre las ideas principales que destacan están:

- En diseño y arquitectura, en general, la mayoría de su formación se basa en el desarrollo de diseño de proyectos.
- Los talleres de diseño colaborativo, están estructurados como un proceso interactivo “de abajo a arriba” -bottom up-, en donde el educador está presente y en constante alerta y preparado para “redimensionar el momento de enseñanza”.
- Se saca a los estudiantes de su zona de confort, en donde los resultados no son los esperados como sorpresas o incertidumbre que en restricciones de fabricación ocurren.
- Los estudiantes necesitan reflexionar sobre sus acciones, en el acto, de manera que tengan un impacto en el resultado.
- Se les enseña a desarrollar su “reflejo de acción” (Schon, 1984, como se citó en Symeonidou, 2018).

En este taller, se combinan principios de aprendizaje activo y proyectos basados en acercamientos a la materia estudiada. Los estudiantes trabajan en grupo y aprenden a trabajar, también, independientemente, y construyen aptitudes para completar el proyecto del mueble. El hecho de que la propuesta se tiene que construir, implica una serie de nuevos problemas relacionados con estrategias de fabricación, eficiencia en el uso de materiales, y un rendimiento estructural.



Ciclo experimental de aprendizaje de Kolb. Symeonidou, 2018.

Otra metodología de trabajo que estudian es la Teoría del Aprendizaje Experimental (ELT), un modelo para entender y evaluar estos experimentos participativos y educativos, también conocido como el círculo de Kolb (Kolb and Kolb, 2009, como se citó en Symeonidou, 2018). Este modelo actúa como una referencia metodológica que asegura que, la experiencia del estudiante le conducirá a la adquisición de un nuevo conocimiento. Según Kolb, *“aprender es el proceso donde el conocimiento es creado a través de la transformación de la experiencia”* (Kolb, 1984, como se citó en Symeonidou, 2018). Su modelo comprende 4 elementos: experiencia concreta, observación y reflexión, la formación de conceptos abstractos, y testado de la nueva situación. Este esquema debe ser visto como una espiral conceptual, un círculo de retroalimentación, en donde cada etapa influencia a la otra. Para una mayor profundización se aconseja ir al artículo y a las referencias que presenta. En particular, para la construcción de talleres experimentales, el modelo de Kolb, demuestra ser una gran referencia para establecer el proceso educativo como para evaluar su eficacia.

Dentro de la propia metodología del taller, se trabaja con programas CAD y CAM para desarrollar procesos de producción de modelos escalados. Durante la fase exploratoria del diseño, utilizan sketches manuales y digitales, además de maquetas físicas. Generaron varias propuestas basadas en parámetros de diseño, como ergonomía, estética, funcionalidad, uso de material y procesos CAD-CAM. Posteriormente crearon prototipos a escala 1:10 y 1:5. Por la premisa de fabricarse a escala real, se tenían en cuenta requerimientos como ensamble y uniones que estaban reflejados desde los sketches.

La producción de prototipos escalados ofrece una visión sobre las propiedades materiales, el rendimiento estructural y la tecnología, la secuencia de montaje, y la logística de la construcción, que son factores clave que influirían en la construcción durante las últimas etapas de producción a escala real. Las propuestas de diseño se examinaron desde los puntos de vista del valor estético, la funcionalidad y la constructividad.

Se pasa a la fase en la que se diseña la propuesta final, y la fabricación de los componentes para CNC. La geometría que surgió a través de este proceso de diseño participativo se definió y optimizó paramétricamente para la fabricación CNC, con el objetivo de minimizar el desperdicio de material, maximizar el volumen y el área, para asentarse, mientras se mantenía dentro de las restricciones presupuestarias establecidas por la universidad, y los socios de construcción. Se

produce un ciclo de retroalimentación en un proceso empírico de modificaciones optimizadas, de manera que se descartaban colectivamente, lo que ofrecía una valiosa oportunidad educativa para la racionalización del diseño.

El modelo paramétrico final, incorporó todos los parámetros, como procesamiento de varios materiales (los tableros, las varillas, arandelas, etc.), tamaños y cantidades disponibles, el tiempo de fresado CNC requerido para cada pieza, y un etiquetado alfanumérico completo de cada pieza de madera y acero, para facilitar el proceso de montaje. Por lo que, finalmente, desarrollan todos los componentes del mueble.

El diseño y construcción del mueble resultó ser una actividad altamente participativa; hubo intercambio de conocimientos e interdisciplinariedad, que enriquecieron el flujo de trabajo CAD/CAM de este experimento de diseño, con consejos prácticos y soluciones ad hoc. Debido a las particularidades de la máquina utilizada, citan otras problemáticas surgidas durante el proceso de mecanizado, y que lograron solucionar, para un fresado óptimo. El principal problema era que, al no haber mesa de vacío, las piezas saltaban, por lo que hubo que dejar “puentes” entre cada pieza para asegurar la estabilidad. También describen, otro tipo de estrategias, que son interesantes de consultar, para enriquecimiento de la propia docencia. En ausencia de los arreglos ad hoc, antes mencionados, el fresado CNC, no habría sido rentable y efectivo en cuanto a tiempo, pues las piezas cortadas habrían saltado de la máquina, y los participantes habrían dedicado una cantidad significativamente mayor de tiempo al acabado manual de las piezas.

El perfil multidisciplinar de los participantes fue muy útil, ya que, cada uno aportó su parte de conocimiento, que transfirió al resto, y que explican en el texto cada uno de ellos. Así, los experimentados en ingeniería, aportaron muchas soluciones que optimizaron en gran medida el proceso de montaje; los experimentados en madera, también aportaron muchas soluciones cruciales, como protección de ciertas zonas, aspecto visual, etc. En definitiva, la toma de decisiones y el flujo de trabajo real no habrían sido tan eficientes sin el enfoque participativo y el aporte multidisciplinario en cada etapa del flujo de trabajo, de diseño a producción.

Para la etapa final del montaje, a escala real, aportan otros datos de interés para consultar más en profundidad, como duración de la actividad y procesos aproximados que llevaron para evitar errores que pueden ser muy comunes cuando se tiene gran cantidad de piezas.

En cuanto a la evaluación del taller, se basó, por un lado, en la observación sistemática de los alumnos y su proceso de aprendizaje, y, por otro lado, en un cuestionario anónimo, que los alumnos participantes han respondido al finalizar los talleres. La fase de los cuestionarios constituye un conocimiento de gran valor para evaluar toda la actividad. El objetivo era abordar temas adicionales y recopilar información, que no era fácil de obtener de la mera observación. Las preguntas fueron formadas con base en la metodología sugerida por investigadores adscritos a la Escolarización de Enseñanza y Aprendizaje (Bishop-Clark and Dietz-Uhler, 2012) y calificaron ciertos aspectos de los talleres utilizando la escala de calificación de Likert.

Entre las ideas principales, sacadas exclusivamente de los cuestionarios, destacan:

- Los estudiantes están más comprometidos de lo habitual cuando se realizan ejercicios prácticos, participando activamente, haciendo preguntas y experimentando.
- El educador estuvo la mayor parte del tiempo en la *FlowZone*, lo que impulsó su creatividad dando lugar a diseños innovadores.
- Gran progreso día a día en sus capacidades de pensamiento de diseño, así como el dominio de las herramientas digitales necesarias.

- La mayoría había experimentado una fase de confusión al comienzo del proceso creativo, junto con la dificultad de familiarizarse con los nuevos medios digitales. Las fases posteriores del taller fueron mucho más fluidas y productivas.
- Confirman la hipótesis inicial de que la participación activa y la creación real mejoran el conocimiento y la creatividad.
- Así mismo, también confirman la hipótesis inicial de que los estudiantes aprenden más efectivamente cuando son capaces de conectar conocimientos y métodos.
- Los tutoriales de software les ayudarían a superar las dificultades iniciales, sin embargo, el autodescubrimiento de conceptos a través de ejercicios y tareas guiadas les ayudaría a asimilar los nuevos conocimientos.

Finalmente, proceden a exponer sus conclusiones generales, hilando toda la base teórica que se ha mencionado, y que estudiaron, junto con la parte empírica de realización del taller y la evaluación de los cuestionarios. Entre sus conclusiones más relevantes destacan:

- Los experimentos de construcción participativa, aspiran a ofrecer múltiples oportunidades de aprendizaje, fomentan el paso de la escucha pasiva a ese aprendizaje activo, con el objetivo de producir nuevos conocimientos, un amplio espectro de actividades mentales y físicas.
- El flujo de trabajo empleado y el aporte constante de los participantes, está de acuerdo con la tendencia actual en las disciplinas del diseño, que rechaza el papel del arquitecto como genio solitario, y fomenta la idea contemporánea de colaborador. Este era un planteamiento parecido al que introduce AtFAB en sus escritos, sobre el arquitecto como colaborador o coreógrafo (como ellos lo denominaban), pero no lo llegan a justificar como Symeonidou.
- De (Carpenter, 1997, como se citó en Symeonidou, 2018), destacan la importancia del oficio en la educación arquitectónica, ya que, sostiene, que este tipo de experiencias inspiran a arquitectos y artistas a ver la construcción como un acto creativo, y se inspira en ejemplos del trabajo de artistas de renombre como Richard Serra y Donald Judd.
- En relación a (Kolb, 1984, como se citó en Symeonidou, 2018), que las pedagogías de aprendizaje autodirigido tienen un valor educativo muy alto.
- El carácter experimental y colaborativo del estudio de muebles digitales reconfirmó, una vez más, el valor del aprendizaje experiencial y del aprendizaje basado en proyectos para la educación en diseño.
- La toma de decisiones, y el diseño del proceso, no habrían sido tan eficientes sin el enfoque participativo y el aporte multidisciplinario, en cada etapa del diseño, en todo el flujo de trabajo de producción.
- El experimento educativo ha abordado los modelos de adquisición de conocimiento procedimental (saber cómo) y declarativo (saber qué), ya que, a medida que los estudiantes procedían en el desarrollo de sus modelos de prueba, obtendrían una idea de cómo hacer que una estructura sea estable; qué parámetros necesitan considerar; cómo pueden lograr una transferencia fluida entre el proceso de diseño y la construcción.
- Al diseñar el prototipo a escala real, los estudiantes ya eran conscientes de los puntos críticos, para producir un concepto factible y proceder a su fabricación real.

- Se utilizó la metodología de enseñanza como medio de validación de la estrategia de enseñanza experiencial de Kolb.
- La mezcla de actividad digital y manual, dio la oportunidad de obtener conocimientos tácitos sobre la madera y la construcción, siendo que, en varios puntos críticos, tomarían decisiones de diseño mientras “reflexionaban-en-la-acción”.
- La multidisciplinariedad entre los miembros del equipo también resultó de gran valor. Resultando que, *“La mayor parte del gran aprendizaje ocurre en grupos”. y que “la colaboración es la esencia del crecimiento”*, como sostenía (Robinson, 2010, como se citó en Symeonidou, 2018).
- El modelado tridimensional por computadora, y la fabricación digital, han dinamizado el pensamiento de diseño y ampliado los límites de la forma arquitectónica y la construcción.
- Y, como decía (Iwamoto, 2013, como se citó en Symeonidou, 2018) *“Los proyectos se centran en un modo de investigación cuyo método de creación finalmente forma la estética del diseño”*.

El experimento educativo, sobre el diseño de muebles con medios digitales, dio resultados, en general, exitosos en cuanto al proyecto y el proceso de aprendizaje dentro de la configuración digital-analógica antes mencionada. Varias de las hipótesis relativas a los enfoques de aprendizaje práctico las deja confirmadas, pero aún cree que queda un largo camino por recorrer con grandes oportunidades de mejora y sinergias cruzadas entre pensar, hacer, enseñar y diseñar.

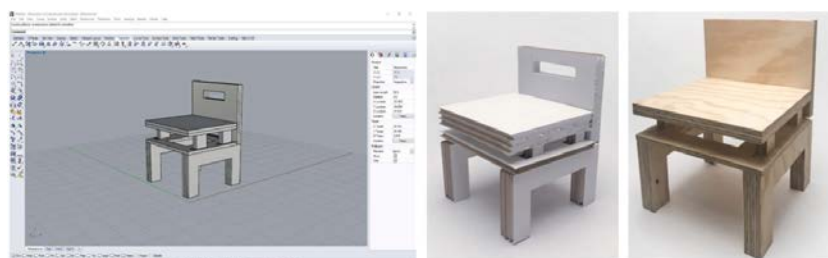
A1.9.3. #32. (2019) Assembly furniture

# 32 2019	Assembly furniture	Kim, Joan	University of Iowa USA
--------------	--------------------	-----------	---------------------------

Kim, J. (2019). *Assembly furniture*. Master Thesis, University of Iowa.

Estudio analítico del artículo:

Para introducirse en el diseño de sus prototipos, Kim cita varios muebles icónicos de arquitectos relevantes como base de referencia. Su mención, son los diseños cúbicos de muebles, además de que se pueda montar fácilmente. En lo formal, queda más influenciada por los diseñadores modernos referido al énfasis en la funcionalidad de sus diseños, su geometría de formas simples, que las convierten en favoritas frente a elementos más decorativos y elaborados, como los de los movimientos de Arts and Crafts. Se referencia el F51 de Gropius, por su forma cúbica, la mesa café de Laccio de Breuer, por su función apilable, y las 4 mesas Nesting de Albers.



Modelo renderizado en Rhinoceros. Modelo a escala en cartón pluma. Modelo a escala en contrachapado. Kim, 2019.

Defiende, tanto los muebles *flat-pack* como los DiY. Los primeros, por la facilidad de un producto sencillo de transportar y, de comercializar por internet, debido a que, tal y como afirma, en 2050, aumentará la población, centrada en las ciudades, y demandarán nuevos muebles en viviendas más pequeñas. Los DiY, por su facilidad para montarlos planteando la eliminación de herramientas y simplificación de los pasos de construcción de sus muebles, y argumentando que, este proceso, se puede conseguir, pudiendo visualizar las uniones mediante programas informáticos y posteriormente, usar la tecnología CNC.

Diseña 3 tipos de muebles: una silla, una mesa y un taburete escalón. Antes de esto, la autora había profundizado en el diseño y producción de un juego de muebles plegables, compuestos por un perchero, una mesa y un taburete. Diseñó todos sus componentes de forma que rotaran sus conexiones mediante telas, que actuaban como bisagras, reduciendo, de esta manera, el número de piezas que precisaban ensambles. Pero este sistema no obtiene buenos resultados y, por ello, profundiza luego, en esta nueva investigación.

La silla la resuelve diseñando cinco componentes en seis pasos, normalmente, una silla estándar, está compuesta por unos 10 elementos: cuatro patas, cuatro travesaños, el asiento y el respaldo. Ella trata de combinar las patas y travesaños para simplificar a 5 componentes. Indica que, para poder construir los ensambles funcionales, tuvo que realizar muchos test con modelos y prototipos escalados

- Comienza el proceso por bocetos manuales seguidos de modelado CAD.
- Dentro del proceso CAD su proceso fue dibujar en 2d con autocad.
- Posteriormente, importarlo en Rhinoceros para pasar a 3d y poder crear el visualizar las piezas en sólidos, que orientaba y ensamblaba virtualmente. Se podría haber ahorrado pasos y programas directamente en rhino.
- A continuación, pasa a la producción CNC, para comprobar posibles problemas de gravedad o capacidad portante:
 - Primero, utilizando la máquina de corte láser con láminas de foam blanco. Apunta que prefiere el foam blanco para la primera maqueta física, porque es fácil de realizar ajustes y el color blanco la focaliza en la propia forma del diseño sin interrupciones.
 - Y, segundo, cuando los diseños cumplían sus propósitos, pasaba al corte con fresadora CNC con contrachapado ACX que, pese a ser un material de baja calidad en su interior y con apariencia baja, es suficiente para comprobar la funcionalidad de las uniones. Una de las ventajas por las que usa la fresadora, es por la capacidad de realizar rebajes del material, que fue clave para el mecanismo de ajuste del asiento, y que necesitó tres capas de material para crear el espacio para que la parte macho de la sección se autoajustara.

Cada una de las 5 piezas, tiene varias capas de material, dependiendo en la necesidad funcional, siendo las patas los únicos componentes con 3 capas para soportar el peso humano. El marco horizontal, bajo el asiento, tiene un corte interior para reducir el peso de la silla y, el del respaldo, es a modo funcional de tirador. Por medio de los programas FEM se hubiera optimizado el material y, nuevamente, como le ocurría a AtFAB, el diseño se debería de perfilar, pues el propio diseño no está bien configurado.

En cuanto a la mesa con cajón, también fue diseñada en cinco componentes y ensambles parecidos a la silla. Tiene dos componentes, a modo de patas, con superficie para que se ajusten y, una superficie superior de la mesa, con una trasera que se ajusta, completada con un cajón. Escondió los ensambles en la mesa, porque no quería que la mesa chocara visualmente con la silla.

Ilustra también que, pese a que en cajón precisaría de piezas metálicas para una correcta función de movimiento, considera realizar un raíl para que se moviera mejor.

En cuanto al escalón taburete, no lo diseñó hasta el final de su construcción, pero lo refleja modelando virtualmente con los mismos principios de diseño que los anteriores. Lo plantea de manera que se puedan encajar unos encima de otros, para ahorrar espacio, mediante apilamiento, girándolos 180º unos de otros. Está También diseñado con 5 piezas, pero, en este caso, encola la pata trasera con una espiga entre sí. El taburete y la silla soportan el peso de una persona, pero matiza que el taburete parece más sólido y voluminoso porque estos elementos tienen diferentes funcionalidades y puntos de peso. Mientras que en una silla repartimos el peso, en un taburete, si lo pisamos, debe ser estable desde el primer apoyo del peso, por lo que requiere una estabilidad extra con respecto a otros muebles.

Posteriormente, explica ciertas conexiones visuales que ha querido introducir en sus diseños para unificar su estética.

Entre sus conclusiones, tras el estudio de diferentes mecanismos de uniones, tiene la intención de investigar en mobiliario de mayor tamaño, como divisiones de espacio o cama. También usar el color para mayor identidad en los diseños, y a modo de elementos de instrucciones en los pasos de ensamblaje. Esta idea se asemeja, en parte, a la propuesta por AtFAB de introducir códigos, o grabados, en el propio mueble, de forma que facilite el montaje de sus piezas con las instrucciones.

Poco después, otra Tesis de maestría (Kim, 2019), presentó un diseño, paso a paso, de tres elementos, de muebles de paquete plano de fácil montaje que no requieren herramientas. El valor de esta aportación no radica tanto en la propuesta de nuevas soluciones técnicas, como en la difusión y documentación de su sistema de diseño.

A1.9.4. #33. (2021) Simply Wood. Design of All-Wood Furniture Joints

# 33 2021	Simply Wood, Design of All-Wood Furniture Joints	Braun, Moritz	Linæus University Sweden
--------------	--	---------------	-----------------------------

Braun, M. (2021). Simply Wood: Design of All-Wood Furniture Joints. Master Thesis, Linæus University.

Estudio analítico del artículo:

Dejando de lado la parte sostenible de este trabajo, que se analizará en el Capítulo 4, se va a citar la base teórica en la que basa su investigación práctica. Explicada esa base de abstracción, Braun estudia y revisa, literatura de uniones tradicionales y patentes internacionales. Posteriormente, alude sobre las formas de fabricación industrializada, para proceder después a describir un taller que realiza para procurar soluciones alternativas, más eficientes, para unir piezas.

Braun describe la teoría en la que se ha documentado, para enfocar su investigación, que está basada en aproximaciones, ya realizados por Ponn y Lindemann (2011, como se citó en Braun, 2021), en los que se focaliza en modelos de productos, divididos en tres niveles de abstracción: Nivel Funcional, Nivel Efecto y Nivel Componente.

En cuanto a los aspectos funcionales de las uniones de mobiliario, afirma Braun, que debe ser posible que se ensamblen fácilmente y, deben transmitir las fuerzas con fiabilidad, y restringir los movimientos entre las diferentes partes. Por lo que, como el proyecto se basa en el desarrollo de nuevos tipos de uniones, Braun trabajará en el Nivel Efecto. Para poder tener más campo de conocimiento sobre ensambles, cita varias obras relevantes en ensambles de madera tradicionales, tanto japonesas como europeas, en el mundo del mobiliario y de la construcción,

así como una revisión de patentes de mobiliario. Tras este análisis, en ocasiones, observa patrones de transformación para diversos ensambles de madera, que se aplicaban para mejorarlas, cambiando algunos parámetros; pero que en su planteamiento base el concepto era el mismo.

Apunta Braun que, las diferentes soluciones de fabricación son muy diversas en el mercado actual, por lo que, para tener un diseño eficiente, en cuanto a costes, es importante que la geometría seleccionada se adapte a la técnica de fabricación que será usada. El acercamiento a de esta investigación está enfocado, hacia la tecnología de producción existente que, como se verá, es a nivel muy industrializada, o, como mínimo, con una tecnología demasiado sofisticada como para tener acceso en un centro docente corriente o laboratorio digital; este es el principal escollo en muchas de las aproximaciones a las teorías o estudios planteados por Braun, y que no son aplicables a esta Tesis. Pese a la automatización o sofisticación de dichas maquinarias, en lo que concierne al corte de madera, los tipos de herramientas son pocas: perfiladora, fresadora, torno, sierra de cinta, sierra circular, cepilladora y motosierra. Aunque indica que se podría prescindir de cepilladora, puesto que se supone que el material ya viene con la superficie preparada, y de la motosierra, porque no va enfocado exactamente a producir mobiliario.

Tras estas informaciones, Braun pasa a describir, mediante el ejemplo práctico de un taller, que pretende activar la manera de desarrollar soluciones, por los participantes para ensambles de madera, recolectando los principios y patrones, así como las abstracciones de las técnicas de producción.



Lluvia de ideas durante el taller. Braun, 2021

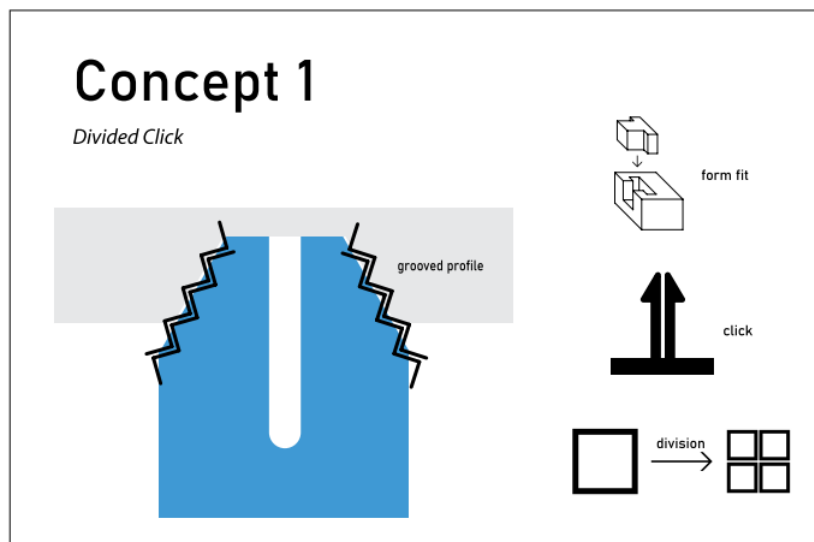
El taller lo realizó en dos horas, con dos desarrolladores de producto y dos ingenieros de prototipado, del centro de desarrollo de Ikea, así como el propio Braun. Seleccionaron una mesa de noche de Ikea porque utilizaba demasiadas piezas de uniones en metal y plástico, que es lo que querían evitar. Una vez construida la mesa, imprimieron unas tarjetas con los principios, efectos y patrones recopilados de la literatura citada, y comenzó la lluvia de ideas; de forma que iban sacando cartas aleatorias para tratar de encontrar soluciones sobre cómo se podrían aplicar a una conexión específica. De los resultados del taller se seleccionaron las ideas más prometedoras e innovadoras.

El punto de interés planteado, durante la creación del prediseño, era crear una secuencia lógica y enseñar, cómo los diferentes principios, pueden usarse con todos sus efectos. El otro punto, fue mostrar cómo el diseño es guiado por las limitaciones de las técnicas de fabricación. El siguiente paso, sería probar una muestra, bajo estándares internacionales, quedando el diseño probado, tanto por los esfuerzos y estabilidad como por la capacidad de ser fabricado y fácil ensamblaje,

convirtiéndolo en un diseño eficiente. Para no construirlo se decidió hacer simulaciones virtuales, en las situaciones críticas de los esfuerzos planteados, y para ello, se utilizó, para esos modelos virtuales, y las simulaciones FEM, el programa de Autodesk, Fusion 360.

En el grueso de su investigación, realiza un relevante y minucioso estudio, esquematizando los principios que Braun ha recolectado de toda la bibliografía que ha estudiado sobre ensambles, que se recomienda visitar directamente. Entre ellos, se encuentran 14 principios que nombra, estudia y describe; junto con los 6 patrones de transformación que también pormenoriza.

En cuanto a la producción de las piezas, dentro de las capacidades para fabricación, describe las que ha estudiado. Taladrar y fresar que, a diferencia de la otra, se puede mover en perpendicular al eje de rotación. Con las maquinarias modernas, prácticamente se puede realizar cualquier movimiento libre para realizar cualquier geometría. Pero también sugiere que, para ser razonables económicamente, se debería hacer ciertas restricciones en la geometría. Los costes en maquinaria pueden reducirse pasando de una máquina de 5 ejes a una de 3 ejes. Además, el tiempo de fresado se puede reducir si la geometría se puede cortar de una sola pasada. Dentro de otro tipo de máquinas que realizan cortes menciona: perfiladora, sierra circular, sierra de cinta, torno y doblado laminar.



Ejemplo de 1 de los 6 patrones de trabajo que plantea. Braun, 2021

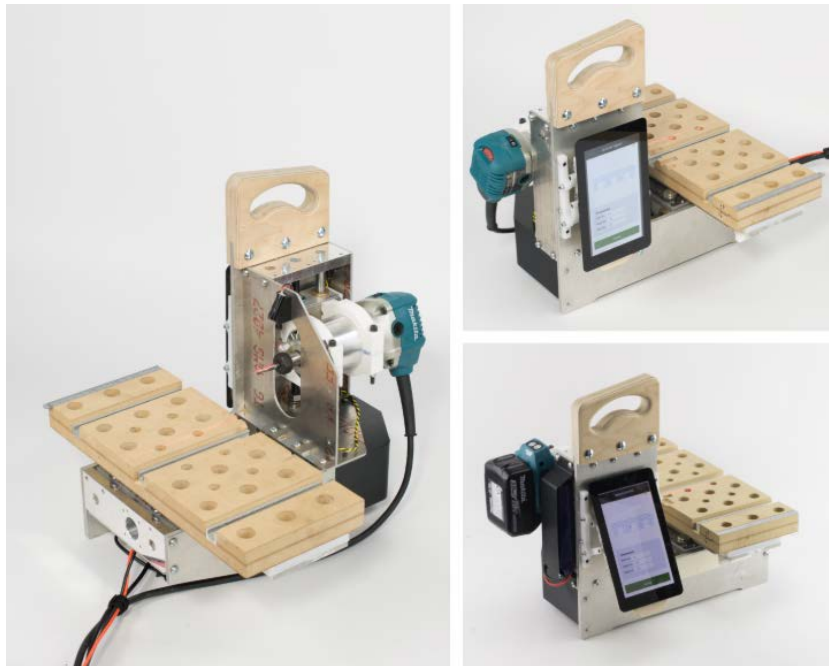
Finalmente, recoge los resultados tras sus análisis, que indica que no deben ser vistos como dibujos de fabricación, sino representaciones de principios de trabajo y patrones; han de tomarse como como una caja de trabajo. En ellos va mezclando y combinando, todo lo mostrado hasta ahora, para posibles soluciones, y que convendría explorar. Y, así, concluye, haciendo una mezcla entre los principios y los patrones estudiados, para mostrar finalmente 6 conceptos de posibles actuaciones. Con esa sintetización esquemática, propicia un sistema de trabajo consistente en buscar soluciones para unir piezas de muebles. Por ello, incide en que sus imágenes no son soluciones constructivas, sino esquemas de trabajo según las necesidades. Posteriormente, hace una propuesta de una mesa que combina varios de los principios estudiados.

A1.10. Otras publicaciones

A1.10.1. (2018) MatchSticks: Woodworking through improvisational digital fabrication

Tian, R., Sterman, S., Chiou, E., Warner, J., & Paulos, E. (2018). MatchSticks: Woodworking through improvisational digital fabrication. *UC Berkeley*.
<http://dx.doi.org/10.1145/3173574.3173723>

Estudio analítico del artículo:



Apariencia de la MatchSticks. Tian, et al., 2018

Este trabajo compara, entre métodos manuales, uso de CNC y su máquina específica, para explicar las ventajas e inconvenientes que justifican esta nueva herramienta. A continuación, se explican cómo se compone la máquina y su flujo de trabajo. Posteriormente, explican la realización de un taller de prueba de la máquina que incluía métodos de evaluación, como cuestionarios. Y, finalmente, las conclusiones de los cuestionarios.

Se van a introducir las ideas principales, en las que los autores van justificando, comparativamente con otras técnicas de procesamiento de la madera, los beneficios de usar su nueva máquina. Son las siguientes:

-Si la mayoría de los diseños de muebles tienen líneas rectas, sería más eficiente producirlas con otras herramientas, y no con fresadora CNC, ya que, realmente, sólo es necesaria para perfilar con detalle los ensamblajes, sin diferenciar entre cortes rápidos y los ensamblajes, que son una parte pequeña del mueble.

- Normalmente, los muebles están constituidos por tablas de madera que son dificultosos de cortar con fresadora CNC.
- *MatchSticks*, es una herramienta portátil, especialmente, para crear ensamblajes en tablas de madera.

- Enriquece y explora las prácticas artesanales, aumentando las habilidades de un usuario y manteniendo su autonomía, en vez de focalizarse en programas de modelos 3D.
- Uno de los principales problemas que presentan las herramientas de fabricación digital, es modelar ensambles complejos, y ello provoca que *makers* principiantes se alejen de esta técnica.
- Las Fases del proceso de construcción con Fabricación Digital, requieren: el diseño de un modelo digital por parte del usuario; convertir ese modelo hacia una forma susceptible de fabricación, tal y como ya se mostró que investigaron (Sass et al. 2006, Vamvakidis 2009 y Cardoso 2010); y, finalmente, la producción de la máquina del objeto final.
- Con las CNC, una sola máquina opera sobre todo el material por igual, y el trabajo se ciñe a la escala del área de trabajo.
- *MatchSticks* desarrolla un proceso creativo de construcción fluido e híbrido, puesto que posiciona a la máquina y al usuario como colaboradores.
- Es una herramienta autónoma, sin programas externos como CAD o CAM.
- Capacidad de la máquina para trabajar con varias de ellas mismas, conectadas entre sí en paralelo.
- Sus pequeñas dimensiones y precio, ya que se podrían tener varias en los *makerspace*.

El uso de la máquina, lo explican, pensando en la realización de una silla de madera normal que, en vez de tener que diseñarla en un modelo 3D detallado, el usuario puede enfrentarse directamente con el material, y algunas ideas bocetadas. No se delega toda la fabricación a una máquina, sino que el sistema trabaja interactivamente con los materiales, determinando qué ensambles son adecuados para el diseño. El sistema, al analizarlo, queda preparado para realizar el ensamble y guía a la máquina para fijar las piezas. Si ocurriera algún error, el sistema lo reconoce, y puede, tanto recortar la unión individual como modificar la geometría para reacomodar.

Características y premisas que comprende *Matchstiks*:

- Máquina de fácil ajuste de las maderas en varias orientaciones.
- Capaz de cortar en los cantos y partes finales del material.
- Pantalla táctil para interactuar con la máquina.
- Librería paramétrica que adapta los ensambles automáticamente a diversas medidas. Cormack 2016, ya planteaba esta idea de la librería con ensambles, como hemos visto.
- Un generador de trayectoria de corte.

Y una aplicación web que se encarga de almacenar datos.

En cuanto a las capacidades que debería tener un productor de mobiliario, indican que, crear ensambles, requiere, tanto conocimiento teórico de las capacidades y estética de las uniones, como conocimiento tácito, que se necesita para su construcción. Valoran positivamente, los ensambles en madera y sin herramientas adicionales por su resistencia y adecuada estética. Sus morfologías quedan delimitadas por la destreza del artesano. Las máquinas fresadoras también tienen sus limitaciones, como por la disposición de su motor y posición del material laminado, que limita la geometría, la estética y la fuerza de los ensambles a fabricar.

Este equipo destaca que, su herramienta, no requiere un alto nivel de habilidades manuales para su uso; tampoco requiere de otros elementos, como herramientas o archivos, para crear cada ensamble, puesto que los tiene integrados en un programa; y tampoco precisa que la máquina sea de grandes dimensiones. Las herramientas manuales tienen su valor, por la libertad de dirección de trabajo por parte del usuario, y la maquinaria CNC son valoradas por su precisión y repetibilidad.

Dentro del diseño mecánico de su herramienta, es la posición de la fresadora, lo que la aventaja; en concreto, poniéndola horizontalmente, ya que, esta posición, combinada con la posibilidad de la fácil fijación de las maderas, y con la variedad de orientaciones, permite realizar cortes que, en otro caso, serían muy difíciles debido a cortes inversos, uniones, y limitaciones de volumen de la máquina. Sus áreas de trabajo son de 90 mm en el eje Y, de 60 mm en el eje Z, y de 180 mm en el eje X. Tiene, además, una estructura reforzada para evitar las inercias propias del movimiento con piezas en aluminio, MDF y HDPE.

Enfatizan los beneficios de varias de las características de su máquina, como: pequeño tamaño, portátil, fijación versátil de la posición de los materiales, o control de alineamiento del motor automatizado. Su fresadora CNC personalizada, permite: versatilidad en la posición del material, optimiza el tamaño de los cortes, es extensible, modular o se alimenta por batería. Describen otras particularidades sobre la electrónica que se puede consultar en el artículo.

Así mismo, posee una pantalla táctil con un interfaz de usuario para interactuar con ella, de manera que el diseño y fabricación son manuales, en lugar de múltiples y complicados programas, estaciones de trabajo o pérdidas de tiempo por todo ello. El interfaz guía al usuario paso a paso. Posee una librería primitiva de ensambles que categorizan, según su forma de unirse: de final a final, en L, de final a mitad, en T, y de mitad a mitad, en X; las uniones múltiples están categorizadas separadamente. Mientras que *MatchStick* no es capaz de realizar todas las uniones por un artesano, sí que es capaz de crear ensambles comunes fácil de realizar.

El flujo de trabajo sería el siguiente: El usuario boceta algo, la máquina corta un primer ensamble y, evalúa el resultado, para seguir con los demás y montar la pieza final. La única guía es la biblioteca de ensambles digitales paramétricos, que los resuelve por jerarquías, tipo X, L o To, por el tipo de objeto que el usuario quiere hacer. El usuario posiciona la pieza y decide el tipo de unión para el corte. Tras la selección del ensamble:

1. Se introducen las dimensiones de la madera y el programa ajusta el ensamble.
2. El sistema indica gráficamente cómo se fija la madera para su localización.
3. Se confirma la posición fijada.
4. Se corta la geometría dispuesta.
5. El sistema almacena la unión recién creada para futuras operaciones.

La máquina, solo corta el ensamble, por lo que, para crear el diseño, el usuario decide la topología del objeto. La complejidad de los ensambles está en el sistema, el punto de inflexión en el diseño radicaría simplemente en los bocetos, en contra del uso de programas como CAD y CAM para simplificar.

Realizaron, también, tutoriales para que los usuarios que se inician practiquen el realizar un objeto. Además, los autores, construyeron 4 objetos como ejemplos, y que explican también en el artículo.

Se realizó una especie de taller de prueba, que lo componía 6 participantes, que usaron la máquina durante 2 horas con explicaciones básicas en herramientas y maquinaria con madera, y cuyos niveles variaban, para las manuales, en medio altos, y ningún nivel de experto, en Fabricación Digital. Todos realizaron una caja y fueron entrevistados tras la experiencia. Los participantes siguieron los tutoriales de la pantalla táctil con el mismo flujo de trabajo descrito: elegir dimensiones y tipo de uniones, corte del material, y montaje final de la caja a mano.

Gracias a las entrevistas, pudieron sacar distintas conclusiones, para evaluar la viabilidad de uso de la máquina. Las principales fueron:

Basados en su experiencia manual, seleccionaron ensambles que son rápidos de elaborar, pero esta máquina abrió su capacidad para tratar de usar ensambles más complejos.

- Los más experimentados, mostraron interés y seguridad en la máquina.
- Los inexpertos, percibieron la realización de ensambles como una técnica accesible.
- La calidad, fue una de las opiniones comunes de satisfacción y disfrute.
- La máquina la perciben como más flexible e interactiva, para formas libres y más naturales que con fresadora CNC, y mayor capacidad que una herramienta manual tradicional.
- Encontraron el flujo de trabajo de una CNC tradicional como lineal, lenta, e inflexible.
- Por su manejo la asemejaban más con una herramienta manual.
- Consideran práctico la versatilidad de utilizar material que podría ser de deshecho.
- Un diseño específico en CAD, necesitaría un ensamble específico y, con la librería se cubren mejor las necesidades generales que la población quiere construir.
- Sugirieron otros usos, como para estructuras de madera, para vigas de madera.
- Sensación de seguridad sin aspecto agresivo, como la mayoría de las máquinas en carpintería analógica.

Entre los aspectos intangibles que registraron, están:

1. Trabajar manualmente con la madera en vez de hacerlo calibrando una 3D.
2. Respeto del sistema, con el conocimiento y valores del trabajo de la madera, manteniendo resultados estéticos de los ensambles tradicionales, sin que la herramienta imparta su propia estética en el material.

3. Algunos veían en la fabricación digital que no controlaban el proceso de fabricación.

Para finalizar el artículo, recogen varias discusiones y enfoques futuros, entre los que destacan:

- La máquina no pretende suplantar al tradicional trabajador, sino introducir un proceso complementario en un ecosistema de herramientas y técnicas usadas para el trabajo con la madera.
- Permite aplicar precisión y repetición, característica de las CNC, pero fuera del flujo específico de trabajo de éstas.
- Revelan una postura positiva al uso de esta máquina, que también los acerca a la fabricación digital, además del acceso a otras formas de ensambles.
- La falta de control y entendimiento con la tecnología puede plantear una opción fructífera para futuros trabajos repensando el rol de las herramientas CNC.
- Interés en introducir esta herramienta a su trabajo diario, tanto los que ya tienen familiaridad con fabricación digital, como los que comenzarían con ella.
- Interesados en introducir más dispositivos para explorar un ecosistema de trabajos de fabricación en paralelo, planificación óptima y flujo de trabajo colaborativo.

Como conclusión general de todo el trabajo, resumen que su propósito con esta máquina es introducir una herramienta de fabricación digital para ensambles de madera, que introduce capacidades complementarias al campo de lo digital y, como una nueva herramienta manual para trabajos con madera. Este sistema permite fabricar geometrías y ensambles que son:

1. Difíciles de crear usando otras herramientas.
2. Más grandes que la propia herramienta.
3. Producción paralelizable.

Conseguir eliminar la necesidad de interactuar con un ordenador separadamente, para el diseño de ensambles, con su máquina es otro factor positivo para el usuario. Esto empodera a novales a incorporar ensambles en sus trabajos, y, a su vez provee a expertos de un mayor abanico de diseños de ensambles. Validan las capacidades de su herramienta por medio de la producción de artefactos de ejemplo, y un estudio de usuario de tutorial de flujo de trabajo.

A1.10.2. (2020) Traditional Knowledge on Modern Milling Robots

Schwarzmann, W. (2020). "Traditional Knowledge on Modern Milling Robots - How CNC-joinery machines promote a renaissance to lost techniques in the profession of a carpenter" en Werner, L y Koering, D (eds.), *Anthropologic: Architecture and Fabrication in the cognitive age - Proceedings of the 38th eCAADe Conference - Volume 2*, TU Berlin, Berlin, Germany, 16-18 September 2020, pp. 597-604.



El ser humano y la máquina trabajando juntos. Schwarzmann, 2018

Estudio analítico del artículo:

Se introduce el artículo con datos de interés histórico, relacionados con la carpintería. La Historia de la carpintería, en Europa, se remonta a 4.000 años atrás (Gerner, 2002, como se citó en Schwarzmann- 2020), y que, durante mucho tiempo, se mantiene sin cambios. En los últimos dos siglos, la actividad del carpintero, ha cambiado mucho, debido a una continua innovación tecnológica evolucionando hacia un soporte de la máquina, como apoyo, para el carpintero. Se requería alta precisión y habilidad. Al principio del siglo XIX, la revolución industrial, hace que estas necesidades cambien, puesto que se introducen elementos metálicos que hacen que las antiguas labores de unión desaparezcan. Schindler afirma que, la aparición de los clavos de acero, son el fin de las habilidades manuales de los artesanos (para unir las piezas, supongo). Aparecen máquinas de ensambles con CNC desde los años 80, pero se observa su incremento de uso, en construcción, desde 1990, según los datos de la marca de fresadoras que cita. Estas ventajas tecnológicas establecen nuevas bases de reintegración de conexiones en madera y, hoy en día, estas máquinas operan rápidas y precisas, con bajo coste, además, comparado con antaño. Reemplazan las conexiones en metal e incrementan la estética en arquitectura; se posicionan como el renacimiento de las técnicas de producción tradicionales renovadas. Como ya se ha comentado en esta Tesis y, también lo expresó Schwarzmann, estos acercamientos de reinterpretar el conocimiento histórico en formas modernas de producción, ya las realizó específicamente en mobiliario, Gros. Referencian el taburete reversionado de Max Bill, mostrando un diseño clásico reinterpretado en un lenguaje de producción moderno. También referencian otros ejemplos de reinterpretación, pero no es específico de mobiliario.

Una de las aportaciones referenciales de este trabajo, es la entrevista que se realiza a un carpintero experimentado y su visión sobre la introducción de nuevas tecnologías en el gremio. Como afirma Kumar (2019, como se citó en Schwarzmann- 2020), un caso de estudio puede conducirse como una exploración interna del proceso de producción, que provee de profundo análisis en determinada cuestión, para poder sostener la metodología introducida. La información fue aglutinada, a través la observación en el taller, el análisis de su web, y una entrevista con él,

que es considerado experto en el campo de construcciones con madera, especialmente, en los procesos de producción de estructuras de madera.

Las nuevas oportunidades tecnológicas, extienden el abanico de posibles soluciones, pero, por otro lado, causan una transformación inevitable sobre las cualidades que antes caracterizaban al artesano, como oficio, habilidad, percepción, etc. Equipado con estas nuevas extensiones físicas y digitales, el artesano ahora debería describirse como un "carpintero de carpintería CNC", o, como lo denominaría tanto C-Lab como AtFAB, carpintero digital. La tecnología que utilizamos define qué soluciones podemos ofrecer y ello implica cómo trabajamos, infiriendo en cómo será el producto final. Como también mencionara Gros, Schwarzmann lo describe como un momento de permanente traducción que afecta a ambos, objeto y sujeto, dando lugar a un continuo proceso de transformación en la percepción/profesión de carpintero y las tecnologías de apoyo.

Es destacable la visión moral del carpintero Berchtold, que, para él, la profesión de un carpintero no es solo la construcción de una estructura de madera de la forma más eficiente, sino que debe de incluir los 3 valores principales en artesanía:

1. Que una construcción en madera debe ser asequible por un cliente medio,
2. Que los materiales deberían estar disponibles a nivel regional, en un radio de unos 20-40 km, lo que apoya, además a las economías locales.
3. Variedad de métodos de construcción, en sintonía con decisiones económicas, y constante optimización en los procesos.

Este carpintero, adquirió una CNC para su taller, y se dio cuenta de que, a las soluciones que aportaba el programa, le faltaban detalles cruciales relacionados con necesidades estructurales y funcionales. Al advertirlo, lo comunica a la empresa, haciendo un aporte relevante que une la práctica y experiencia, con la programación tecnológica. Pese a que

Sobre las distintas discusiones existentes, se mencionan algunas de interés, debido al aporte experimental que reflejan sus reflexiones y que, por tanto, las sustentan:

Así, Schwarzmann, cita a Picon (2014, como se citó en Schwarzmann, 2020), que abogaba por que, el debate sobre la transformación digital en artesanía debe ser vista como una discusión que involucre a todos los actores.

- Una máquina debe ser interpretada como un compañero, y no como una simple herramienta, trabajan los dos en conjunto.
- Hay que servirse de la experiencia de estos artesanos, pues tienen un profundo conocimiento, adquirido en incontables horas de trabajo y reflexionando sobre el uso del material.
- Hay que encontrar una forma de comunicar, a modo de traslación, para que interactúen todos los actores.
- Un carpintero, con una máquina, es un profesional diferente que transfiere o introduce innovación.

Como resumen a las conclusiones, Schwarzmann, afirma que, en esta discusión sobre la colaboración entre el hombre y la máquina, en este caso, el carpintero introduce tecnología que usa para reintegrar en su experiencia. Un conocimiento, desarrollado durante cientos de años, que era encubierto, y que, por la nueva tecnología reaparece con una interpretación contemporánea. La máquina no solo optimizó tiempos y precisión, sino que posibilitó aplicaciones

en uniones en madera que, de otra manera, no hubieran estado disponibles nunca. La solución, en ese sentido, de Berchtold, sugiere una reintegración del conocimiento humano en una tecnología producción moderna. Este punto de integración de conocimiento entre un humano experto y soluciones robóticas, es la base marco de esta investigación.

A1.10.3. (2020) Snap-Fit Joinery System Using Pinewood Material Elasticity Properties. (Samboro et al. 2020)

Samboro, M.Y., y Kuswanto, D. (2020). Snap-Fit Joinery System Using Pinewood Material Elasticity Properties. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 52, 798-804.

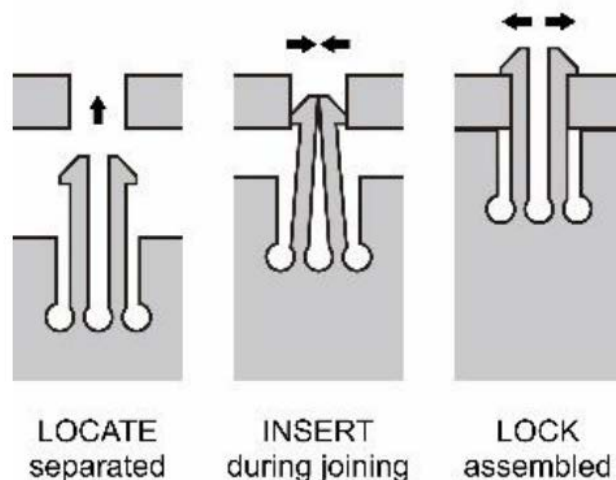
Estudio analítico del artículo:

Para este tipo de uniones de autoencaje solo se había estudiado con mayor pormenorización en materiales de plástico, debido a que tolera una gran elasticidad de flexión. Pretenden investigar, para ampliar su utilización, sirviéndose de la madera, para ver cómo se comporta. Indican, que se puede mejorar el mecanismo, añadiendo partes integradas, por lo que podría inspirar a diseñadores a desarrollar nuevas funciones, según necesidades, y material a usar. En este caso, gracias a la alta resistencia a la flexión, la madera puede volver a su forma original al dejar de forzar. Por otra parte, refieren que, la precisión de las CNC en el corte es la adecuada para la que requiere el ancla del dispositivo.

Para el experimento, diseñaron varias siluetas que se pudieran cortar en alistonado de pino, de las que realizaron test empíricos y digitales, creando, con sus resultados, base de conocimiento para crear otros productos. En el análisis digital no pudieron simular la similitud de las fibras, como es lógico pensar. Testaron tres mitigadores de estrés: circular-redondo, circular-circular y redondo-redondo. Una diferencia llamativa, era la distancia de deflexión, sobre la cual se desplazaban los componentes móviles cuando el componente de gancho recibía cierta fuerza. Se supone que, cuanto mayor sea la distancia, más elástico será el diseño en forma de gancho. A su vez, Cuanto más elástico sea el componente del gancho, más probable es que el material no se rompa cuando se conecte el ajuste a presión.

El gancho se mueve, cuando la articulación está conectada o desconectada. La figura de abajo muestra los esquemas de encaje de los diferentes módulos de diseño del sistema de encaje a presión que se probaron. Cada módulo completa 3 pasos principales durante el montaje y el desmontaje.

MATERIAL SHIFTING WHILE ASSEMBLY



Cambio de forma durante el encaje. Samboro et al., 2020

Tras estas pruebas de resistencia, se investigaron dos componentes específicos: la pieza macho o gancho, y el agujero hembra, que recibe las partes. Al cambiar la forma del componente hembra de un cuadrado a un círculo, la conexión podría girarse.

Entre las conclusiones finales, destacamos que, cuanto más grande sea la forma del liberador de tensión, mayor será la elasticidad que se produzca en el componente de ajuste a presión; sin embargo, ello reducirá la fuerza de agarre del componente de gancho. Esto puede ser una consideración al personalizar el agarre de los componentes de encaje a presión, mediante el diseño del tamaño y, la forma de los liberadores de tensión.

La superioridad de la conexión fue el objetivo principal, en el desarrollo de este producto de madera de pino. El ensamblaje, se basa en un sistema de ajuste a presión/desmontaje, para que no se necesiten herramientas, y se pueda hacer fácilmente. Los componentes de la parte hembra se pueden utilizar como bisagras de puertas o centros de rotación, porque pueden girar sobre su eje.

Se descartó la profundización en este trabajo porque, mayoritariamente, está enfocado a un estudio concreto y experimental, cuyo aporte no es muy significativo. Por una parte, porque utiliza un material, como es el tablero de pino alistonado, que quiebra muy fácilmente cuando se fresa, por lo que hubiera sido más eficiente para el estudio, probar con contrachapado, que es el material algo más adecuado para las flexibilidades que pretenden los autores. Tampoco aporta muchos más datos y, su nivel de profundidad es algo escasa. Es de utilidad en cuanto a las morfologías de ensamble, y habría que seguirlo. Pese a que en su bibliografía cita a Filson y Rohrbacher, y a la revista *Maker*, no hace un uso más profundo de lo que aportan estos autores, y que le hubieran podido procurar mejores soluciones a la investigación, en el campo del mobiliario; aunque sus premisas de investigación tampoco van por esa vía específica. Pese a ser un artículo científico, no posee mucha profundidad en la bibliografía, por lo que adolece de información, que hubiera ayudado mucho a mejorar el método.

A1.10.4. (2021) Fabrication-aware Design for Furniture with Planar Pieces

Yan, W., Zhao, D., & Mehta, A. (2023). Fabrication-aware design for furniture with planar pieces. *Robotica*, 41(1), 48-73. doi:10.1017/S0263574722000443

Estudio analítico del artículo:

En una parte de su desarrollo, entre uno de los trabajos que se fijan para su sistema de diseño, es en el mencionado, *SketchChair*. Este artículo plantea muy bien las premisas a considerar, pero se centra demasiado en todo el proceso matemático y de configuración de algoritmos, para lo que es el interés de esta Tesis, que está enfocada a constituir un sistema novedoso para producir mobiliario.

Con este estudio, pretenden que el usuario no precise tener conocimientos en la disciplina de diseño de mobiliario, ni en producción, para poder configurar piezas como desee. Se podría decir que es un público que necesita cubrir una necesidad, pero que el diseño no es ni necesario ni útil, y no se detienen ni a pensarlo; simplemente facilitan una sucesión de planos rectos horizontales y verticales. El diseño estético no se plantea como premisa, ni como objetivo.

La parte de las conclusiones es muy relevante, por la aparente llamada que hace a otras disciplinas para posibles colaboraciones, en todos los ámbitos, para poder concluir con un servicio mucho más completo. Por lo que, queda claro, que a este tipo de ingenieros les preocupaba inicialmente la solución de un problema matemático, pero que entendieron que también necesitaban de la parte más humanística o del diseño para acabar de configurar su sistema.

Y, concluyen afirmando que, su diseño, posibilita a cualquiera sin conocimientos, a producir un mueble, gracias a su configuración libre, esquemático, sin modelos predefinidos que dependan de diseños establecidos por expertos. De este modo, introducen un diseño personalizable, para el público en general, que valida su posibilidad de fabricar. Reflexionan que, este trabajo, es inspirador para otros equipos, y hacen una llamada para, por ejemplo, crear una interfaz sencilla, para que facilite el proceso de diseño al usuario. También, el aproximarse a disciplinas que son más técnicas, para conocer cómo sería el explorar los ensambles de los modelos resultantes de su sistema. Éstos no están validados en el plano teórico, pero sí se comprobaron manualmente, y podrían ensamblarse.

Otro de los elementos en lo que no profundizaron, es en las múltiples propiedades mecánicas existentes en diseño de mobiliario, que debieron de investigar para garantizar la funcionalidad de su producto, como serían la resistencia de los ensambles, la estabilidad, y la distribución de los esfuerzos, bajo las sobrecargas típicas diarias. También les hubiera sido productivo profundizar en uniones con articulaciones, para posibilitar diseños que puedan modificar, de forma que enriquezcan los espacios en las casas del futuro.

Toda esta última parte a la que habrían de enfrentarse ya está solucionada por otra disciplina, que ya hemos estudiado; y es que, este equipo no hubiera tenido más que contactar con Purdue University, o, cualquiera de los otros equipos de investigación técnicos estudiados, puesto que ya disponen de un completísimo análisis, con parámetros definidos de ensambles, que les sería de gran ayuda. Incluso se podrían complementar los datos de estas dos disciplinas: ingeniería de la madera, con ingeniería de la computación, para ampliar las capacidades el sistema creado por Yan et al. 2021.

Por ejemplo, el programa de Yan et al. verificaría que se puede construir como también lo apuntó Cormack y Sweet (2016). También el sistema específico de trabajo de *matchstiks* podría introducir

sus ensamblajes de su librería para tratar de unir estas piezas que crea este programa por lo que las uniones de las que hablan ya no serían abstractas. Quizás uniendo estos dos programas podría salir una buena solución para ambos. También si dicho programa genera las piezas 3D quizás se pueda conectar con FEM mediante ANSYS o Fusion360 para crear los análisis de esfuerzos.

A1.10.5. (2016) Towards Zero-Waste Furniture Design

Koo, Bongjin & Hergel, Jean & Lefebvre, Sylvain & Mitra, Niloy. (2016). Towards Zero-Waste Furniture Design. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. DOI: 10.1109/TVCG.2016.2633519.

Estudio analítico del artículo:

Partiendo de la base de que, en el diseño tradicional, primero se conciben las formas, y luego, se fabrican, se plantean que este procedimiento puede generar un desperdicio de material, no deseado, sobre todo, cuando las piezas sobrantes son difíciles de reutilizar. Si no existen premisas específicas sobre el uso del material, sostienen que, el diseñador, sigue siendo incapaz de adaptar el diseño de forma efectiva, incluso, cuando existen variaciones de ese diseño. Por ello, este equipo, ha querido investigar un diseño de muebles que minimicen el desperdicio; en el que al usuario se le presenten variaciones en las formas, que le den como resultado, un menor desperdicio. En la base del estudio computacional, analizan dinámicamente, el diseño del espacio material - para determinar qué partes cambiar y cómo -, mientras mantienen la intención del diseño original, especificado, en forma de restricciones de diseño. El enfoque lo evalúan en varios escenarios de diseño, y demuestran un uso efectivo del material, que es difícil, si no imposible, de lograr sin utilizar el soporte computacional. Con lo cual supone un gran adelanto para la sostenibilidad a través de las ciencias de la computación.

Esta optimización, en las operaciones de fabricación, se ha convertido en una necesidad apremiante para la sostenibilidad (Chandel et al., 2022), pero necesitan ser controladas y gestionadas por un operador experto (Lotti et al., 2019) y esta Tesis quiere contribuir a la enseñanza del CNC con las técnicas de diseño indicadas para lograr ese conocimiento.

A1.10.6. (2021) El Diseño de mobiliario de madera fabricado por router CNC.

Becerril, V., Rosas, V., López, P, y Rosel, M. (2021). El Diseño de mobiliario de madera fabricado por router CNC. *Actas de Diseño*, vol. 37. Facultad de Diseño y Comunicación. Universidad de Palermo. pp. 31-375. ISSN 1850-203

Estudio analítico del artículo:

Uno de sus enfoques, lo centran en la importancia que es fomentar una educación tecnológica. Esta importancia radica, y propicia, según los autores, el que, a los estudiantes de diseño industrial, se les debe capacitar para que entiendan estas tecnologías y las utilicen. Para hacerlo factible, hay que proveer conocimientos sobre las propiedades de la madera y el dominio de las tecnologías CAD, CAM y CNC. En las partes en las que habla sobre esos procesos de diseño, señalan cómo, en los países más industrializados, han conseguido sustituir el trabajo humano por máquinas, entre otras cosas por el alto coste de aquella.

Debido a este incipiente cambio en sistemas de producción, sumamente sofisticado, creen que es muy importante que la formación de los alumnos ofrezca herramientas que estén acordes a dicho cambio. Sin embargo, también introducen un cierto carácter humanista, en el sentido de que es igual de necesario introducir estas tecnologías, como introducir un mayor aporte de las ciencias sociales, agregando la experiencia de usuario como una tendencia emergente.

Este carácter humanista, dentro del diseño, lo suelen introducir los grupos de investigación de diseño estético, como se ha visto, pero no se había identificado tan contundentemente este interés en el diseño de producto.

Aportan una metodología, para aplicar en ingeniería industrial - con base en Zhang et al. (2012) -, en la que se define el proceso de diseño, y que, desde la industria, se puede clasificar en siete problemas de diseño.

Se recuerda que Haviarova presentó, en 2011, otro esquema de trabajo enfocado, específicamente, a diseño de mobiliario con madera que, a su vez, se basaba en uno de Eckelman de 2003. Este último define los pasos de forma más eficiente, para mobiliario, que el aportado por Becerril et al.

Así mismo, hacen referencia, sobre las ventajas relacionadas con el pensamiento sistémico, que permite simplificar la complejidad, y se analizan los problemas como un todo, con el objetivo de proponer mejoras con el mínimo esfuerzo, como también lo hacía AtFAB en sus escritos. Este pensamiento propicia una correcta observación del proyecto a producir que permite definir la solución de forma más adecuada y que además se aporta la capacidad a los alumnos de aprender a visualizar de manera sistémica, incorporando en el análisis, también la parte social, cultural y ambiental.

En cuanto a la situación de la industria moderna del mueble, aportan varios datos relevantes, como que, dentro de Europa, en Italia, en 2005, el 81,4% de la industria del mueble de la madera, utiliza CNC, siendo la industria de la madera y el mueble, la que mayor impacto tiene en el uso de estos equipos (Me- celli, 2015, como se citó en Becerril et al. 2021). En América latina, indican que hay un gran rezago en esta introducción de tecnología, y, por ejemplo, en 2003, en Argentina, es donde se integra, sobre todo, donde se dedican al mueble plano. En EE.UU., sin embargo, a partir de 1957, recogen que, la tecnología CNC, ya fue aceptada por la industria; principalmente, en el área metalmecánica y, a partir de 1980, también, por la industria del mueble (Wiedenbeck & Parsons, 2010, como se citó en Becerril et al. 2021). Sugieren que, para repuntar estos datos, se precisarían factores, como el dar un valor agregado a los productos a través del diseño, procesos y materiales.

En cuanto a la tecnología para la industria del mueble con Fabricación Digital, reflejan que, en la actualidad, prácticamente todas las disciplinas del diseño, en educación, se desarrollan en entornos CAD, produciendo diseños rápidos y altamente complejos gracias a la visualización inmediata que ofrecen (Manja et al., 2013, como se citó en Becerril et al. 2021). También afirman que, la educación tecnológica, permite al estudiante de diseño industrial, tener un acercamiento a la industria manufacturera, o, generar trabajos por cuenta propia que mejoran su comprensión de los programas CAD/CAM y CNC. Insisten sobre la necesidad de conocer estas metodologías, pues ya se tiene en cuenta la producción desde las primeras fases del diseño, y se considera, de forma paralela, todo el ciclo de vida del producto: Concepción, diseño, prototipado, producción, comercialización, utilización y eliminación. Y, para esto, otorgan importancia al uso de una herramienta para la metodología de diseño, que llaman "Análisis de modo y efecto de falla" (FMEF, por sus siglas en inglés), que trata de determinar el atractivo estético del mueble, tomando factores a evaluar, como ese atractivo estético, la armonía del color, el material, el estilo, la

armonía, las proporciones y la elegancia (Antal, 2016, como se citó en Becerril et al. 2021). Aplican este análisis, durante el proceso de producción, y al diseñar y configurar las formas, uniones y ensambles, pudiendo evaluar tanto el proceso como el diseño. Es claro que estas tecnologías han venido a facilitar el proceso de Diseño. Al final de esta parte, nombran varios autores relevantes ya estudiados en esta Tesis, dando una visión del uso y alcance de la tecnología, como es Šimek, Diatom Studio por *SketchChair*, y Opendesk, de Ian Bennink et al.

Entre las conclusiones del trabajo, enfatizan lo siguiente:

- La importancia para la asimilación de estas tecnologías es introducir en la formación del diseñador industrial, la Enseñanza Aprendizaje.
- La industria del mueble requiere de diseñadores que integren un enfoque centrado en lo humano, con enfoques sociales, culturales y ambientales, en paralelo con lo tecnológico, propiciando una innovación en el sector.
- La tecnología CAD/CAM y CNC potencian la creatividad del alumno.

APÉNDICE 2:

A2.1 Silla LFC

Título: *Silla LFC*

Autoras de la idea: Nora Abad, María de María, Loreto del Valle y Silvia Gancedo

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Nora Abad, María de María, Loreto del Valle y Silvia Gancedo

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Curso: 2019-20

Medidas máximas (H/A/F mm): 700 x 570 x 550

Referencias: Reinterpretación de la silla LCW de Charles y Ray Eames

Material: Contrachapado de abedul. Espesor 18 mm

Función: Sentarse (silla)

Número de piezas / número de minitableros (1250 x 600): 12 piezas cortadas en 2 tableros

Ensamblaje: Caja y espiga, encajes a media madera

CAD y CAM: Rhinoceros, RhinoCam

Acabado: Cera color nogal



Silla LFC. Fuente: autoras del proyecto

A2.2 Mueble Kerfing

Título: *Mueble Kerfing*

Autores de la idea: Natalia Bru, Alberto Kittsteiner, Ainhoa Montejano y Raquel Torre

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Natalia Bru, Alberto Kittsteiner, Ainhoa Montejano y Raquel Torre

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Curso: 2019-20

Medidas máximas (H/A/F mm): 700 x 570 x 550

Referencias: Mobiliario orgánico. Doblado de madera mediante Kerfing

Material: Contrachapado de abedul. Espesor 12 mm

Función: Almacenaje. Mesa para almacenaje

Número de piezas / número de minitableros (1250 x 600): 8 piezas cortadas en 3 tableros

Ensamblaje: Caja y espiga, encajes a media madera

CAD y CAM: Rhinoceros, RhinoCam

Acabado: Barniz acrílico transparente mate



Mueble kerfing. Fuente: autores del proyecto

A2.3 Ermel chair

Título: *ermel chair*

Autores de la idea: Laura Bioque, Patricia Ruíz, Miguel A. Vilán

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Laura Bioque, Patricia Ruíz, Miguel A. Vilán

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Curso: 2020-21

Medidas máximas (H/A/F mm): 900 x 600 x 500

Referencias: Reinterpretación de la silla del diseñador Ethan Rothermel

Material: Contrachapado de abedul. Espesor 18 mm

Función: Sentarse (silla)

Número de piezas / número de minitableros (1250 x 600): 4 piezas cortadas en 2,5 tableros

Ensamblaje: Caja y espiga

CAD y CAM: Rhinoceros, RhinoCam

Acabado: Cera color nogal



ermel chair. Fuente: autores del proyecto

A2.4 Shell lounge chair

Título: *Shell lounge chair*

Autores de la idea: Ana San Martín, Ikram El Ghamashi y Carlos Vargas

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Ana San Martín, Ikram El Ghamashi y Carlos Vargas

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Curso: 2020-21

Medidas máximas (H/A/F mm): 600 x 760 x 700

Referencias: Reinterpretación de la silla del diseñador Marco Sousa Santos

Material: Contrachapado de abedul. Espesor 18 mm

Función: Sentarse (silla)

Número de piezas / número de minitableros (1250 x 600): 22 piezas cortadas en 4,5 tableros

Ensamblaje: Caja y espiga, encajes a media madera

CAD y CAM: Rhinoceros, RhinoCam

Acabado: Cera incolora



Shell lounge chair. Fuente: autores del proyecto

A2.5 organík table

Título: *organík table*

Autoras de la idea: Lorena Cayuelas y Sara Lucía

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Lorena Cayuelas y Sara Lucía

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Curso: 2020-21

Medidas máximas (H/A/F mm): 500 x 720 x 570

Referencias: Mobiliario orgánico Zaha Hadid

Material: Contrachapado de abedul. Espesor 18 mm

Función: mesa

Número de piezas / número de minitableros (1250 x 600): 85 piezas cortadas en 3 tableros

Ensamblaje: encaje de piezas rebajadas

CAD y CAM: Rhinoceros, RhinoCam

Acabado: Cera para madera clara



organík table. Fuente: autoras del proyecto

A2.6 Talbum

Título: TALBUM

Autoras de la idea: Elvira Castellanos, Inés Cifuentes y Henar González

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Elvira Castellanos, Inés Cifuentes y Henar González

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Curso: 2020-21

Medidas máximas (H/A/F mm): 500 x 400 x 600

Referencias: Mobiliario CNC de C-Lab, Offenbach. Taburete de Ulm

Material: Contrachapado de abedul. Espesor 18 mm

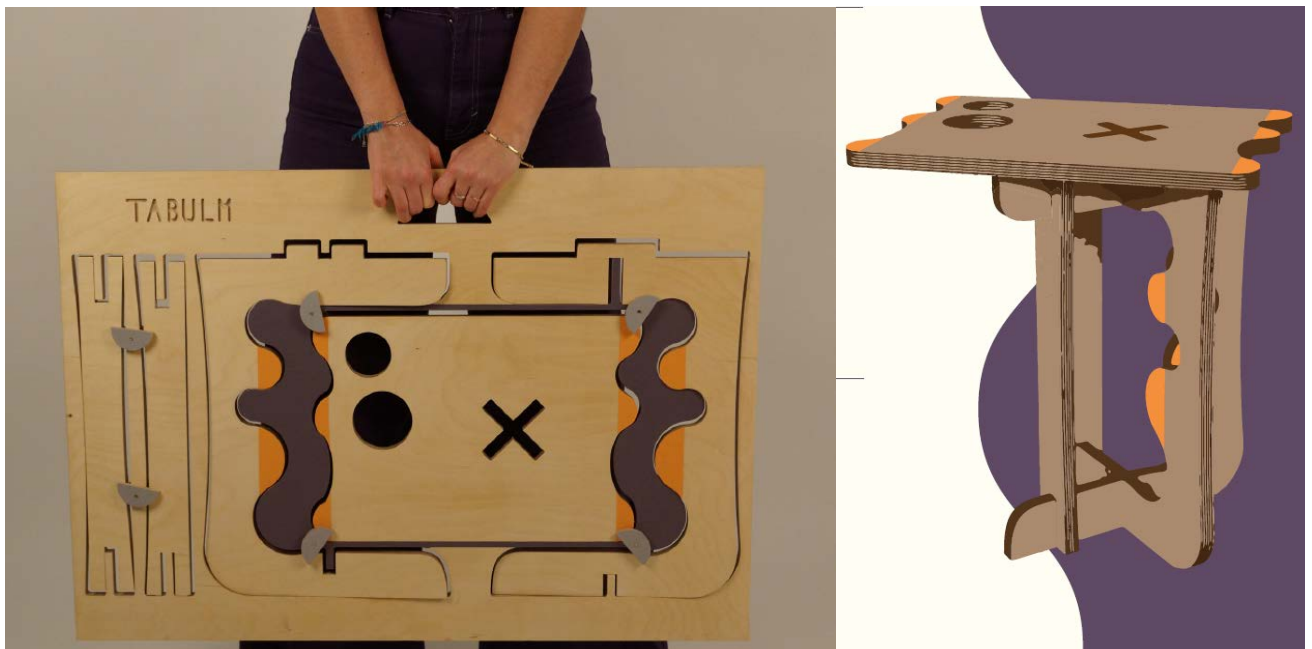
Función: sentarse (taburete transportable)

Número de piezas / número de minitablero (900 x 600): 5 piezas cortadas en 1 tablero

Ensamblaje: caja y espiga, encajes a media madera

CAD y CAM: Rhinoceros, RhinoCam

Acabado: Aceite para madera incoloro. Pinturas acrílicas.



TALBUM. Fuente: autoras del proyecto

A2.7 Silla b-8

Título: *Silla b-8*

Autoras de la idea: Lucía Martín, Lucía de la Peña y Clara Rodríguez

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Lucía Martín, Lucía de la Peña y Clara Rodríguez

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Curso: 2021-22

Medidas máximas (H/A/F mm): 820 x 800 x 500

Referencias: Diseño paramétrico. Frank Gehry, Matthias Pliessnig, Zaha Hadid.

Material: Contrachapado de abedul. Espesor 12 mm

Función: Sentarse (silla)

Número de piezas / número de minitablero(s) (1250 x 600): 9 piezas cortadas en 2 tableros

Ensamblaje: Caja y espiga, rebajes a media madera.

CAD y CAM: Rhinoceros, Cut2D

Acabado: Jabón de lagarto



Silla b-8. Fuente: autoras del proyecto

A2.8 Arakne

Título: *Arakne*

Autoras de la idea: Natalia Ameijeiras, Nicole Dávila y Raquel Gómez

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Natalia Ameijeiras, Nicole Dávila y Raquel Gómez

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Curso: 2021-22

Medidas máximas (H/A/F mm): 1600 x 500 x 400

Referencias: Diseño biomimético.

Material: Contrachapado de abedul. Espesor 6,5 mm

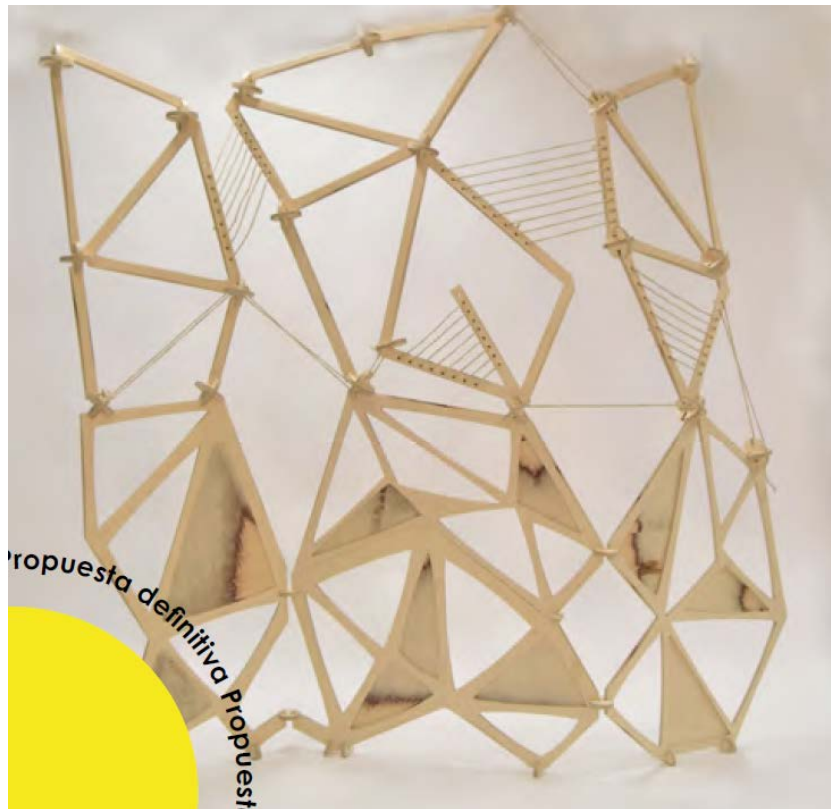
Función: Separador de espacios (panel, biombo)

Número de piezas / número de minitableros (1250 x 600): 100 piezas cortadas en 4,5 tableros

Ensamblados: Caja y espiga, rebajes a media madera.

CAD y CAM: Rhinoceros, Cut2D

Acabado: Jabón natural



Arakne. Fuente: autoras del proyecto

A2.9 Duit

Título: *Duit*

Autoras de la idea: Lidia Gallego, María Gómez y Alicia de Inés

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Lidia Gallego, María Gómez y Alicia de Inés

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo **Curso:** 2022-23

Medidas máximas (H/A/F mm): medidas según construcción creada

Referencias: Mobiliario de juguetes creativos. Cas Holman, Elinor Goldschmied

Material: Contrachapado de abedul. Espesor 6,5 mm

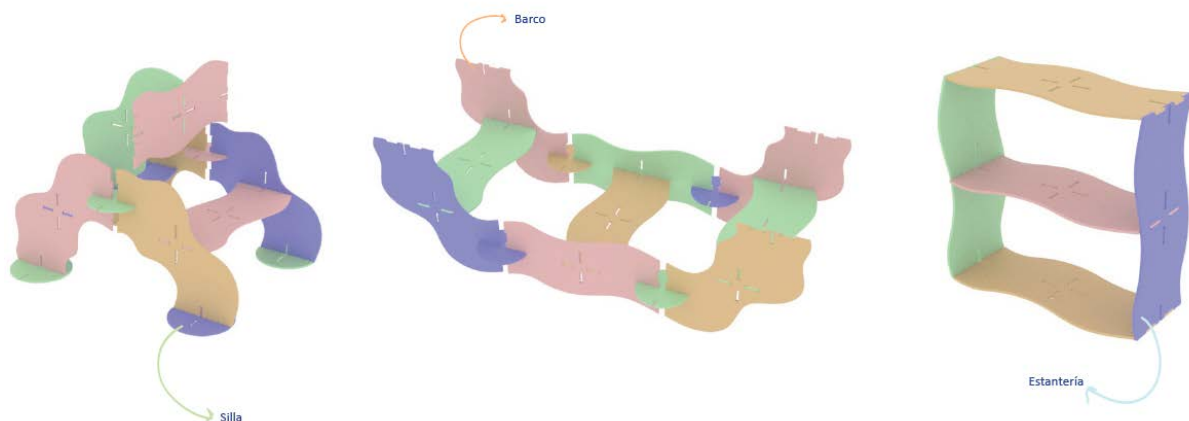
Función: Jugar (mobiliarios a base de piezas de juguetes modulares creativos)

Número de piezas / número de minitablero (1250 x 600): 31 piezas cortadas en 5 tableros

Ensamblajes: Caja y espiga, rebajes a media madera

CAD y CAM: Rhinoceros, Cut2D

Acabado: Pintura acrílica



Duit: juguete modular. Fuente: autoras del proyecto

A2.10 Loungechair Vol 4

Título: *Loungechair Vol4*

Autoras de la idea: Celia García, Ana Belén Gil y Alejandra Moreno

Autores de ejecución: Víctor Armas Crespo, Celia García, Ana Belén Gil y Alejandra Moreno

Dirección, supervisión y fresado CNC: Víctor Armas Crespo

Curso: 2022-23

Medidas máximas (H/A/F mm): 700 x 600 x 600

Referencias: Mobiliario Alvar Aalto

Material: Contrachapado de abedul. Espesor 12 mm

Función: Sentarse (silla)

Número de piezas / número de minitableros (1250 x 600): 9 piezas cortadas en 2 tableros

Ensamblaje: Caja y espiga, rebajes a media madera

CAD y CAM: Rhinoceros, Cut2D

Acabado: Barniz satinado



Loungechair Vol4. Fuente: autoras del proyecto

