

# La máquina de Sumar: Aprendizaje por descubrimiento en la toma de contacto con Arquitectura de Computadores

Carlos Garre  
GMRV. URJC  
carlos.garre@urjc.es

David Miraut  
GMRV. URJC  
david.miraut@urjc.es

Laura Raya  
GMRV. URJC  
laura.raya@urjc.es

Alberto Sánchez  
GMRV. URJC  
alberto.sanchez@urjc.es

## RESUMEN

La arquitectura de computadores es uno de los pilares sobre los que se sustenta la informática. En los planes universitarios, su estudio suele comenzar con los temas de Representación de la Información y Estructura y Diseño del Computador. En cambio, los alumnos que se enfrentan por primera vez a estos temas frecuentemente no comprenden la necesidad de estudiarlos, ya que aún no tienen el concepto de que, al abordar el diseño de una máquina capaz de procesar información, es necesario en primer lugar diseñar una forma de representar la información.

En este artículo se presenta una sencilla actividad de aprendizaje por descubrimiento en la que el alumno debe abordar el diseño de una máquina que procesa información, una máquina de sumar. Enfrentarse a los retos que supone su diseño facilita al alumno la comprensión de la necesidad de abordar el estudio de los primeros conceptos de arquitectura de computadores.

## Palabras clave

Aprendizaje por descubrimiento, Representación de Información, Arquitectura de Computadores, Informática.

## 1. INTRODUCCIÓN

En su definición más básica, un computador es una máquina de propósito general capaz de recibir unos datos de entrada, procesarlos en función de un programa y generar unos datos procesados de salida. La docencia en el área de Arquitectura de Computadores se centra en la enseñanza de cómo se representan los datos a procesar y cómo se realiza su procesamiento en un computador [5].

La primera toma de contacto de los estudiantes con la arquitectura de computadores es en ocasiones especialmente problemática, debido a una falta de comprensión del problema a abordar. Si bien cualquier estudiante comprende que para que un edificio se tenga en pie debe basarse en un diseño previo por parte de un arquitecto, o que el funcionamiento de un coche depende de la correcta distribución de una serie de piezas mecánicas, en el caso de la informática existe una gran mitificación y/o desinterés acerca del funcionamiento interno de los sistemas informáticos [9]. Este problema es especialmente notable en el caso de los alumnos que realizan estudios no directamente relacionados con la informática [12], entre los que la cuestión se suele zanjar humorísticamente diciendo que dentro de los ordenadores hay enanitos que hacen todo el trabajo.

Esta mitificación del funcionamiento interno del computador provoca que el aprendizaje en el área de arquitectura de computadores sea en muchos casos forzado, siendo la tónica común que el estudiante acepte lo que el profesor enseña sin llegar a comprender la necesidad o idoneidad de lo aprendido.

En este artículo se presenta una actividad aplicada durante varios años en la primera toma de contacto de los estudiantes universitarios con la arquitectura de computadores. Esta actividad no pretende solucionar el problema de la falta de motivación [8] ni el de la comprensión de conceptos [11], sino el de la comprensión de la **necesidad** de estudiar este tipo de asignaturas [10]. Esta técnica consiste en una aplicación sencilla del aprendizaje por descubrimiento (*discovery learning*) [4] enfocada en la comprensión por parte del alumno de la necesidad de abordar los temas de Representación de la Información y de Estructura y Diseño del Computador. Estos dos temas son casi sin excepción los que introducen el área de arquitectura de computadores en la mayoría de planes de estudios universitarios.

## 2. ESTADO DEL ARTE

Al margen del sistema clásico de impartición de conocimientos teóricos mediante clases magistrales, existen multitud de alternativas que, o bien lo complementan, o bien lo sustituyen por completo. Entre estas alternativas, destacan las que buscan una mayor participación por parte del estudiante, el cual no se limita sólo a escuchar al profesor, sino que se busca su participación activa en el proceso de adquisición del conocimiento.

Es, por ejemplo, el caso de la metodología de Aprendizaje Basado en Problemas [2], que busca el aprendizaje enfrentando al estudiante directamente al problema a resolver, siendo el profesor únicamente un mentor o guía para encaminar los esfuerzos del alumno. El aprendizaje basado en problemas ha demostrado obtener excelentes resultados, pero requiere un gran esfuerzo por parte del profesorado, que debe monitorizar y dirigir constantemente el trabajo de los estudiantes. Por este motivo, esta metodología es difícilmente aplicable cuando el número de alumnos y de profesores es demasiado desproporcionado [6].

Este inconveniente es aún mayor en el caso del Aprendizaje Basado en Proyectos [7], en el cual se aborda la resolución ya no de un problema concreto, sino de grandes proyectos que pueden incluir la solución de múltiples problemas y una integración de las soluciones. Aún así, una variante de esta metodología es habitual en las universidades españolas, pero como un esfuerzo único a lo largo de toda la carrera en el momento de realizar el proyecto de fin de grado o de fin de carrera.

Estas y otras tendencias se engloban dentro del marco general del Aprendizaje por Descubrimiento [4], dentro del cual también se podría incluir la actividad propuesta en el presente artículo. Una diferencia importante es que, en el caso de nuestra actividad, el esfuerzo por parte del profesorado es mínimo al no tratarse de una actividad guiada, ya que se deja total libertad al alumno en la búsqueda de soluciones. En este caso, ya no interesa tanto la solución encontrada, sino simplemente el hecho de que el estudiante haya intentado buscarla.

Nuestra actividad se relaciona también con el Aprendizaje Significativo [1], ya que una de sus funciones principales es la búsqueda de una referencia sobre la que el estudiante se pueda apoyar cuando, durante el desarrollo de la asignatura, se estudien conceptos sobre los que se pueden realizar analogías con el trabajo desarrollado durante la actividad.

### 3. LA MAQUINA DE SUMAR

Los alumnos de carreras directamente relacionadas con la informática deben enfrentarse tarde o temprano (normalmente desde el primer curso) con el estudio de la arquitectura de computadores, ya que es uno de los pilares de la informática y existen numerosas asignaturas troncales y obligatorias de esta área en la mayoría de planes de estudio.

Pero éste no es el único perfil de alumno que debe enfrentarse a la toma de contacto con esta área ya que, especialmente en los nuevos planes de estudio europeos [3], se intenta fomentar la inclusión de asignaturas multidisciplinares. Es por este motivo bastante habitual que se incluyan asignaturas de informática en los planes de estudio de asignaturas no técnicas, como pueden ser Periodismo, Publicidad y Relaciones Públicas o incluso Derecho.

Estas asignaturas menos técnicas suelen incluir algún tema que, aunque ni siquiera reciba explícitamente este nombre, cubre los conceptos básicos de la arquitectura de computadores.

Se tienen, por tanto, dos perfiles diferentes de alumno en la toma de contacto con el área: el alumno de perfil técnico (estudiantes de Ingeniería Informática y similares) y el alumno de perfil no técnico (otras titulaciones).

En el resto del artículo se explicará la actividad desarrollada para ayudar en la toma de contacto con el área de Arquitectura de Computadores y que, concretamente, ha sido realizada en dos grupos de alumnos: alumnos de Grado en Ingeniería Informática (perfil técnico) y alumnos de Licenciatura en Publicidad y Relaciones Públicas (perfil no técnico).

#### 3.1 Descripción de la actividad

Para desarrollar esta actividad, el primer día de clase de la asignatura no se comienza a desarrollar el temario, sino que simplemente se hace una presentación de la asignatura: normas de evaluación, tutorías de los profesores, etc. Al terminar esta presentación, antes de finalizar la clase, se presenta a los alumnos un reto que deben completar antes de la siguiente clase (que, generalmente, será entre dos y siete días después).

El reto consiste en diseñar una máquina que sea capaz de sumar dos números. No tiene por qué ser capaz de sumar cualquier número (puede limitarse sólo a unos pocos como, por ejemplo, números del 0 al 9) y no tiene por qué construirse, sino

únicamente diseñarse en papel, a ser posible acompañando la descripción textual de algún esquema o dibujo.

Estas son todas las instrucciones que se les da a los alumnos. El profesor debe insistir mucho en que deben utilizar la creatividad y la imaginación en lugar de buscar soluciones en Internet u otras fuentes: no se pretende encontrar la solución, sino sólo pensar en ella.

Es importante motivar a los alumnos haciendo que esta actividad sea evaluable (el primer año que se llevó a cabo no se ofreció esta recompensa, y la participación fue muy escasa). Aún así, es necesario ponderar bien la influencia de esta actividad sobre la nota ya que, además de ser una actividad extremadamente sencilla, no puede reflejar la adquisición de conocimientos por parte del alumno ya que precisamente se ha realizado antes de que se imparta ningún contenido.

#### 3.2 Objetivos

A pesar de la gran sencillez de esta actividad, son varios los objetivos por los que fue pensada:

**Representación de información.** Al enfrentarse al problema de diseñar una máquina que trabaja con números, el alumno debe pensar en primer lugar una forma de representar esos números. Las opciones más habituales suelen ser utilizar elementos contables (como canicas o bolas) o propiedades medibles (como peso o volumen de un líquido). En cualquier caso, el alumno comprenderá por sus propios medios que una máquina que procese algún tipo de información, por simple que sea, debe en primer lugar escoger una forma de representar esa información. El tema de Representación de la Información es precisamente con el que empiezan ambas asignaturas (tanto en Ingeniería Informática como en Publicidad y R.R.P.P.).

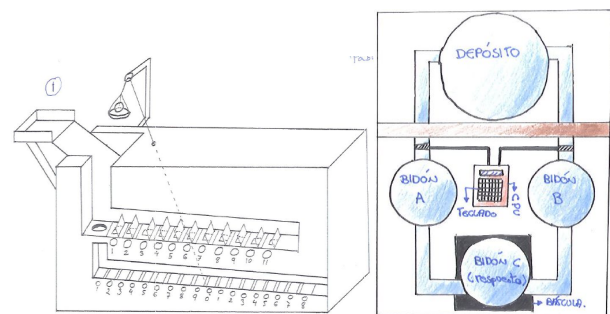


Figura 1. Algunas de las opciones más habituales de representación de la información en la máquina de sumar. *Izquierda*: elementos contables como canicas o bolas. *Derecha*: propiedades medibles como volúmenes de líquido.

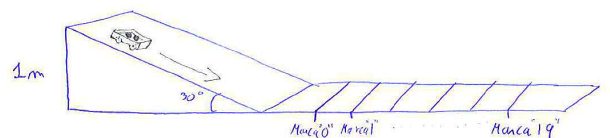
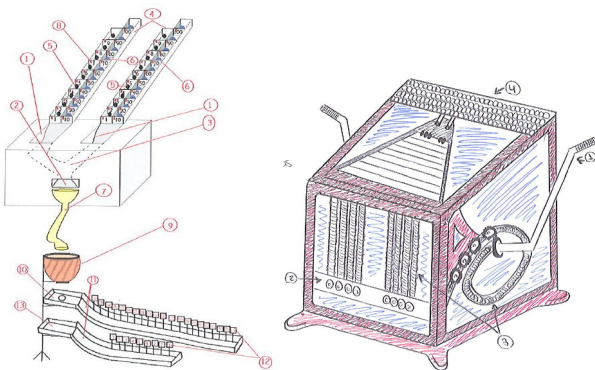


Figura 2. Una solución mixta que utiliza como representación de los datos de entrada (sumandos) el peso y, como representación de la salida (suma), la longitud.

**Desmitificación del procesamiento de información.** Los alumnos descubren que, con sólo pensar unas horas, son capaces de diseñar esquemáticamente una máquina que realice algún tipo de procesamiento. Una vez recogidos los trabajos, el profesor expone cómo se puede extrapolar esto hasta llegar al diseño de los computadores actuales: "si vosotros, sin tener aún ningún conocimiento técnico, habéis sido capaces de llegar a esto en unas horas, imaginad lo que podrían hacer miles de ingenieros y expertos a lo largo de décadas".



**Figura 3.** Diferentes esquemas de máquinas con un funcionamiento perfectamente descrito.

**Base para analogías.** Durante el desarrollo de la asignatura habrá varias ocasiones en las que el profesor podrá recurrir a analogías entre lo explicado y el desarrollo de la máquina de sumar. De esta manera, el alumno parte ya de una base sobre la que el profesor puede construir una analogía que es bastante próxima a los conceptos que se desea enseñar. De esta manera, la actividad facilita el aprendizaje significativo en un área en el que inicialmente el alumno carecía de referencias.

**Análisis del perfil del alumno.** Como beneficio secundario del desarrollo de esta actividad, se pretendía analizar el perfil de los alumnos de cada titulación, haciendo una sencilla estadística sobre los diferentes tipos de soluciones encontradas en función del perfil del alumno. Las soluciones se etiquetaron dentro de cuatro grupos para analizar las tendencias de cada perfil, tal y como se expone en la siguiente sección del artículo.

#### 4. RESULTADOS

En los últimos días del curso, cuando los alumnos ya habían tenido ocasión de aprender los conceptos de la asignatura, se propuso a los alumnos realizar un breve debate acerca de la actividad. Las opiniones más ampliamente expuestas se pueden resumir en los siguientes puntos:

- La actividad despertó la curiosidad y el interés de los alumnos por la asignatura antes de empezarla, por lo que mejoró su predisposición.
- Las analogías entre los conceptos de la asignatura y el desarrollo de la máquina de sumar habían sido muy fáciles

de entender, ya que era un problema con el que directamente ellos habían trabajado.

- La actividad les ayudó a entender la necesidad de abordar el estudio de las diferentes formas de representar la información.
- La actividad les hizo ver que una máquina capaz de procesar información no es producto de la magia, sino que su diseño es mucho más abordable de lo que podían pensar en un principio.
- Algunos alumnos expusieron como queja que, cuando se les pidió realizar la actividad, no sabían cuál era su utilidad y no la entendieron hasta mucho más adelante. Consideramos que este aspecto no tiene por qué ser necesariamente negativo, ya que otros alumnos expusieron que el misterio de no saber qué podían esperar de esta actividad les motivó a realizarla por simple curiosidad.

Tras la realización de la actividad durante varios años en distintos grupos de alumnos, se han obtenido estadísticas del tipo de solución más habitual entre los alumnos en función de su perfil técnico o no técnico. Las soluciones se han agrupado en cuatro tipos diferentes:

**Técnicas:** soluciones técnicamente correctas y descritas con precisión.

**Interfaces:** soluciones que describen la interfaz de una hipotética máquina, pero no su funcionamiento interno.

**Atractivas:** soluciones visualmente atractivas más enfocadas a vender un hipotético producto que a explicar su funcionamiento.

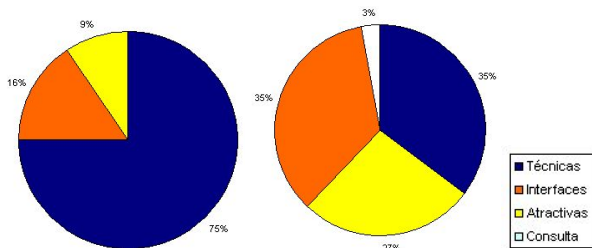
**Consulta:** soluciones basadas no en la creatividad del propio alumno, sino en consulta de otras fuentes (descripciones del funcionamiento de un ábaco, o de una calculadora, etc.).



**Figura 4.** Ejemplo de máquina visualmente atractiva pero sin ninguna posibilidad de llegar a funcionar.

En la figura 5 se observan los resultados estadísticos obtenidos. Destaca claramente la mayor tendencia de realizar soluciones técnicas por parte de los alumnos de Informática (perfil técnico), así como una gran tendencia a hacer soluciones visualmente

atractivas por parte de los alumnos de Publicidad (perfil no técnico). Esto podría resultar obvio si se tratase de alumnos de últimos cursos pero, en ambos casos, se trataba de alumnos de primer curso que aún no habían recibido formación específica en un sentido o en otro, salvo la obtenida en los estudios previos (Bachillerato). Es interesante observar cómo existe una predisposición hacia lo técnico o hacia lo visual en función de la carrera escogida.



**Figura 5.** Izquierda: estadísticas de los tipos de soluciones realizadas por los alumnos de Informática. Derecha: estadísticas de los tipos de soluciones realizadas por los alumnos de Publicidad.

Como último dato, cabe destacar que dos alumnos (uno de Publicidad y otro de Informática) llegaron a construir físicamente la máquina, a pesar de que se dejó bien claro que sólo era necesario realizar un esquema en papel de su funcionamiento.

## 5. CONCLUSIONES

La máquina de sumar es una muestra de que a veces basta con tener una idea sencilla, que no requiere gran esfuerzo ni por parte del profesor ni por parte del alumno, para ayudar en la comprensión y motivación de los estudiantes desde el mismo comienzo de la asignatura.

La idea puede ser fácilmente extrapolable a asignaturas de otras áreas totalmente diferentes, ya que la conclusión más importante que se puede extraer del éxito de esta actividad es que puede ser positivo enfrentar a los estudiantes a un problema antes de comenzar a abordar su estudio.

Los autores han comenzado ya la realización de otras actividades algo más complejas que suponen una evolución de la idea de la máquina de sumar y, tras la finalización del presente curso, se espera obtener resultados que podrán ser contrastados con los presentados en este artículo.

## 6. REFERENCIAS

[1] Ausubel DP. The psychology of meaningful verbal learning. *Grune & Stratton*. xiv 255 pp. Oxford (England) 1963.

[2] Barrows H.S. A taxonomy of problem-based learning methods. *Medical Education*, Volume 20, Issue 6, pages 481–486. November 1986.

[3] The Bologna Declaration of 19 June 1999. Joint declaration of the European Ministers of Education: [[http://www.bologna-bergen2005.no/Docs/00-Main\\_doc/990719BOLOGNA\\_DECLARATION.PDF](http://www.bologna-bergen2005.no/Docs/00-Main_doc/990719BOLOGNA_DECLARATION.PDF)]

[4] Bruner J. The Act of Discovery. *Harvard Educational Review*, 31, 21-32. 1961.

[5] Hennessy J. y Patterson D. Computer Architecture: A Quantitative Approach. *Morgan Kaufmann Publishers*. 2006.

[6] Marañillo E., Mirapeix RM., Reig J., Branda L. Aprendizaje basado en problemas aplicado a grupos numerosos. *Educ méd*. 2005; 8: 140A.

[7] Markham T., Larmer J., Ravitz J. Project Based Learning Handbook. *Buck Inst for Education; 2nd Rev Spl edition*. Mayo 2003.

[8] Miraut D., Garre C., Raya L., y Zurdo J. S. Certamen Arquímedes como elemento motivador en el aprendizaje basado en proyectos de Ingeniería Informática. *En Actas de las II Jornadas de Innovación y TIC Educativas*, JITICE 2011, páginas 29-32. España, 2011.

[9] O'Lander R. Factors effecting high school student's choice of computer science as a major. *In Proceedings of the symposium on Computers and the quality of life*, CQL '96, pages 25–31, New York, NY, USA, 1996. ACM.

[10] Parra de Gallo H. B. Sobre la motivación para el aprendizaje: las asignaturas "Necesarias", de "Estilo" e "Ignoradas". *Cuadernos de la Facultad de Ingeniería e Informática*, nº 2. Universidad Católica de Salta. 2007.

[11] Raya L., Garre C., Miraut D. y Pérez A. El razonamiento analógico activo en el estudio de Arquitectura e Ingeniería de los Computadores. *En Actas de las III Jornadas de Innovación y TIC Educativas*, JITICE 2012. España, 2012.

[12] Saiz Adalid L., Gracia Morán J. Mapas conceptuales y motivación hacia la informática de alumnos no informáticos. *Jornadas de Innovación: Metodologías Activas para la Formación en Competencias & Estrategias de Evaluación Alternativas*. Instituto de Ciencias de la Educación, Universidad Politécnica de Valencia. 2009.