

# El razonamiento analógico activo en el estudio de Arquitectura e Ingeniería de los Computadores

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

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

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

Álvaro Pérez  
GMRV. URJC  
alvaro.perez@urjc.es

## RESUMEN

La complejidad de ciertos conceptos de Arquitectura e Ingeniería de los Computadores requiere que el alumnado posea una sólida y amplia base de conocimientos previa para su completa comprensión. El carácter multidisciplinar de los grados o másteres universitarios provocan que un porcentaje elevado de los estudiantes no cuenten con la base apropiada. En el presente artículo se expone que el uso del razonamiento analógico activo por parte del estudiante podrá facilitar la asimilación de los nuevos conceptos a partir del razonamiento cognitivo del usuario, familiarizando los nuevos conocimientos a adquirir con conocimientos previos ya entendidos.

## Palabras claves

Pensamiento analógico, Arquitectura de Computadores, Informática, analogía, enseñanza.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los planes de estudios de los grados universitarios relacionados con informática están elaborados de tal manera que los alumnos vayan adquiriendo gradualmente conceptos de menor a mayor dificultad. De esta manera, los estudiantes deben asentar las bases necesarias antes de adquirir conocimientos más específicos y complejos, desarrollando facetas del aprendizaje del alumno como son las relacionadas con los procedimientos y las actitudes. La temporalidad de los cursos, así como la dificultad que conllevan las carreras técnicas, hacen que no todos los alumnos vayan adquiriendo secuencialmente dichos conceptos, experimentando un orden diferente en su aprendizaje, lo que dificulta su entendimiento.

Existen múltiples técnicas con el fin de motivar y facilitar la integración de nuevos conceptos a los estudiantes [11][12]. Entre ellas, el razonamiento analógico, que es aquél basado en la existencia de atributos semejantes en seres o cosas diferentes, según la Real Academia Española. Constituye un recurso frecuente tanto en el lenguaje cotidiano como en el contexto escolar, cuando se quiere hacer más asequible una determinada idea o noción que se considera compleja, a través de otra que resulta más conocida y familiar [3].

El uso del razonamiento analógico es ampliamente utilizado en la

enseñanza primaria [2], ya que no debe ser aprendido, al considerarse el primer pensamiento natural que tiene el ser humano de manera cognitiva. Sin embargo, su uso va progresivamente desapareciendo hasta hacerse anecdótico en la educación universitaria. Diversos docentes consideran que, a medida que las capacidades intelectuales de los estudiantes se desarrollan, el uso de analogías debe evitarse con el fin de estimular los procesos de inducción, relación e inferencia de los alumnos por sí solos.

El presente artículo pretende dar un nuevo enfoque mixto, basado en el uso de un razonamiento analógico activo para la enseñanza de conceptos generales relacionados con la Arquitectura y la Ingeniería de los Computadores, especialmente para aquellas personas que no hayan adquirido previamente todas las bases necesarias para su correcto entendimiento. Dicho enfoque no debe ser únicamente motivado por el profesorado o por los libros docentes, sino que debe ser el propio alumno quien sugiera ciertas analogías y evalúe si son correctas o no. Tras la utilización del proceso analógico para la asimilación de los conceptos más relevantes, se incentiva al profesorado a explicar de manera más técnica y específica el temario.

Dicho enfoque mixto permite a los estudiantes entender y asimilar de manera general técnicas avanzadas de Arquitectura de los Computadores, con unos resultados más positivos que con la utilización de metodologías tradicionales.

## 2. ESTADO DEL ARTE

El razonamiento analógico es un proceso que consiste en extrapolar una estructura del razonamiento cognitivo, desde un dominio más fácil, conocido o cercano (dominio o concepto base), a otro dominio más complejo, desconocido o lejano (dominio objetivo o concepto nuevo). Para que la extrapolación sea eficaz, ambos dominios deben tener estructuras de planteamiento y de resolución equivalentes. Varios investigadores han analizado la importancia, sobre el uso de analogías en la enseñanza, de conceptos abstractos y relaciones temáticas [1][4][6]. Consideran su uso positivo para la enseñanza de conceptos totalmente nuevos o de elevada dificultad, ya que facilita su comprensión al relacionarlo con conceptos similares previamente asimilados.

Tanto en los niños como en los adultos, el razonamiento analógico facilita la capacidad de entendimiento y de explicación, de justificar las relaciones de semejanza, de encontrar conexiones entre los objetos y las situaciones, de poder hallar los esquemas de inferencia según la naturaleza del problema [7]. Sin embargo, su uso se limita la mayoría de las veces a la enseñanza básica, estando ausente en la enseñanza superior, sobretudo en

ingenierías o carreras de ciencias al considerarse negativo para el estudiante al no estimular los razonamientos inductivos, deductivos, de relación o inferencia de los alumnos [3].

Por otro lado, uno de los problemas más importantes del uso de este razonamiento en la docencia es que la vía más asidua para introducir las analogías es la explicación del profesor. Sin embargo, se recurre escasamente a la realización de actividades como vías alternativas para la construcción de la analogía; por ejemplo, promoviendo que los alumnos ideen sus propias analogías, que los estudiantes utilicen las analogías previamente proporcionadas para hacer predicciones, o descubran y expliciten la analogía que hay de fondo tras las metáforas que se emplean [3]. Esto implica que el alumno no desarrolle procedimientos ni actitudes de dicha materia, no fomente su inteligencia deductiva o inductiva, así como que no llegue a profundizar en los conocimientos nuevos.

Por ello, resulta necesario involucrar al estudiante en el proceso de razonamiento analógico en un contexto de enseñanza interactiva en vez de presentar simplemente la analogía [5].

En este artículo se presenta un nuevo enfoque de enseñanza en ingeniería, basado en la utilización del razonamiento analógico activo para la explicación de conceptos generales. En él, se pretende utilizar las ventajas del uso del razonamiento cognitivo haciendo partícipe al alumno de las analogías, de su desarrollo y de sus similitudes y diferencias.

### 3. UTILIZACIÓN DEL RAZONAMIENTO ANALÓGICO ACTIVO

Como se ha indicado en la segunda sección del artículo, uno de los principales problemas del uso abusivo del razonamiento analógico es que, en la mayoría de los casos, las analogías son generadas por el profesor y no se profundiza en ellas.

En el presente trabajo, denominamos *razonamiento analógico activo* aquel proceso que conlleva una alta participación del alumnado en la generación y evaluación de las propias analogías. Es decir, se involucra al alumno en el debate y la discusión sobre la analogía sugerida por el profesor, o el propio profesor estimula a los alumnos en la construcción de una analogía propia.

Según Sternberg [8], la analogía se concibe como una asociación directa de pares de elementos (objetos y atributos); de una parte, internamente entre los que conforman cada dominio de conocimientos y, de otra, externamente entre los elementos análogos que cruzan ambos sistemas.

Según dicho autor, el proceso de generación de analogías lleva una serie de etapas que van desde la identificación o codificación de los valores y atributos del nuevo conocimiento hasta la aplicación y evaluación de la regla analógica establecida. Todo ello pasando por una fase intermedia de “extrapolación” desde el conocimiento análogo al conocimiento familiar.

Sin embargo, para Gentner [9] las analogías en dominios de aprendizaje complejos, como los de las Ciencias o Ingenierías, van más allá de la mera asociación directa entre pares de elementos dentro de un conjunto de cuatro términos. En este sentido, el razonamiento analógico se concibe como una tarea más rica y compleja en la que son muchos los elementos que pueden barajarse en la comparación, aunque solo algunos participan en la misma dando así a la analogía un determinado sentido y no otro [3].

Las analogías que debe utilizar este enfoque de razonamiento activo serán las de tipo antonimia (antónimos), sinonimia (sinónimos), atributivas (adjetivos), funcionales (utilidad del objeto), causativas (agente que realiza la acción), metonimia (la designación de una cosa con el nombre de otra) e hiperonimia (el uso de palabras generales que involucran palabras que comparten rasgos semánticos [10]. El uso de solo un tipo de analogía evita la comprensión total del concepto nuevo y de sus características. Por ello, se recomienda que por cada concepto nuevo a introducir al alumno, se utilicen al menos dos tipos de analogías.

Trabajar con este tipo de enfoque docente basado en analogías activas aumenta el trabajo del profesor a la hora de diseñar los apuntes con los que desea impartir la clase. A continuación, se pueden observar los diferentes pasos a seguir entre la creación de una analogía tradicional o una analogía activa.

Basándose en las etapas de Gentner, los pasos que debe seguir el docente para crear una analogía pasiva pueden resumirse en:

- Evaluación del nuevo concepto a enseñar. Grado de dificultad.
- Búsqueda de un concepto familiar para el alumno (concepto base).
- Análisis del concepto base y sus valores y atributos. Deben estar todos directamente relacionados con el concepto nuevo a introducir.
- Exposición de la analogía en clase y todas sus características, relacionándolo con el concepto base.

Los pasos que debe seguir el docente para crear una analogía activa pueden resumirse en:

- Evaluación del nuevo concepto a enseñar. Grado de dificultad.
- Búsqueda de un concepto familiar para el alumno (concepto base).
- Exposición del concepto base por parte del profesor en clase de manera básica.
- El alumno debe analizar los valores y atributos del concepto base.
- Exposición del concepto nuevo de manera básica por parte del profesor.
- El alumno debe analizar si todas las características del nuevo concepto son directamente relacionadas con el concepto base.

En este último proceso, el alumno se vuelve activo en la creación de analogías. Desarrolla la inteligencia creativa, aumenta la capacidad de relación y potencia al alumno en la profundización del nuevo concepto, al tener que determinar si la propia analogía es correcta o no. La evaluación de la analogía ayuda al alumno a tener que ir entendiendo poco a poco el nuevo concepto para confirmar si es realmente igual o no al concepto base. En este paso de análisis, la ayuda del profesor puede ser vital, ya que en caso contrario, el alumno puede concluir conceptos erróneos. Sin embargo, el esfuerzo tiempo extra a la hora de desarrollar el material didáctico por parte del docente se ve compensado en el número de tutorías o resolución de dudas.

Esta metodología es altamente aconsejable de seguir en el caso de que se deban exponer conceptos nuevos o de cierta complejidad sin una base completa por parte de los alumnos.

#### 4. CASO PRÁCTICO

Con el objetivo de evaluar si la aplicación de dicho enfoque obtiene buenos resultados, se ha puesto en práctica en el curso cero del Máster en Informática Gráfica, Juegos y Realidad Virtual, de la Universidad Rey Juan Carlos, en la asignatura de Arquitecturas Avanzadas.

El grupo de alumnos estaba formado por ocho estudiantes, 3 chicas y 5 chicos. Los estudios de grado de los alumnos eran variados e iban desde Ingeniería Informática hasta Bellas Artes. La impartición de una clase sobre Técnicas de Arquitecturas Avanzadas (conceptos de segmentación, paralelismo, multiprocesadores) era un reto para el docente, ya que la mayoría de los alumnos no tenían la base técnica suficiente para entenderla.

Se plantea este escenario como el más adecuado para hacer uso del razonamiento analógico activo como alternativa para facilitar la adquisición de los nuevos conceptos a todos los estudiantes sean del perfil que sean.

##### 4.1 Concepto de segmentación mediante analogías

La segmentación en arquitectura de computadores consiste en descomponer la ejecución de cada instrucción (suma de registros, operaciones lógicas de registros, salto a una nueva instrucción) en varias etapas independientes para poder empezar a procesar una instrucción diferente en cada una de ellas y trabajar con varias a la vez dentro del procesador. Para entender correctamente dicho concepto y poder trabajar con él, es necesario tener conocimientos base sobre lo que es un procesador, su arquitectura, el camino de datos, qué es un registro, qué es una instrucción, etc. El concepto de segmentación trae consigo la explicación de sus problemas (riesgos de datos, riesgos de control y riesgos estructurales), optimizaciones de la técnica (adelantamientos, especulación, predicción dinámica de saltos). Además, para su correcto entendimiento, es necesario tener conocimientos de ensamblador (en especial del procesador MIPS) para poder tratar cada uno de sus problemas. El conjunto de todos estos conceptos en profundidad componen el currículum de la asignatura anual de cuarto de Ingeniería Informática Superior.

La duración del curso cero imposibilita una explicación detallada de todos los conceptos y una asimilación de ellos por parte de los estudiantes. Sin embargo, el concepto general de la técnica, sus ventajas y desventajas debe quedar claro para poder asumir la materia del máster.

Debido a que la segmentación consiste en descomponer la ejecución de una acción en varias etapas independientes, se les planteó a los alumnos la analogía de la cadena de trabajo de una lavandería. Cada instrucción binaria del procesador se correspondía con una instrucción en una lavandería (lavar, planchar, secar, etc.). Una vez identificada una instrucción, por ejemplo, el proceso de lavar, se les pedía a los alumnos que encontrarán cinco diferentes pasos independientes (cinco para ajustarlo a las cinco etapas que componen el camino de datos del procesador MIPS). La participación de los estudiantes era activa,

ya que encontraban la clase amena y divertida. Los estudiantes descompusieron el proceso de lavar inicialmente en cinco etapas. Sin embargo, inicialmente no eran independientes. Unas etapas dependían del resultado de la anterior o necesitaban recursos simultáneamente en etapas diferentes. Se les obligó a volver a pensar en las cinco etapas y, esta vez, teniendo en cuenta los recursos a utilizar en cada etapa, los valores devueltos, el tiempo de cada etapa. En las siguientes figuras se puede ver la diferencia de la explicación del concepto de segmentación mediante analogías (Figura 1) frente al concepto de segmentación de manera técnica (Figura 2). Para entender el diagrama de la segunda figura, es necesario tener conocimiento sobre el significado de las instrucciones en ensamblador, así como de cada una de las etapas (IF, ID, EX, MEM, WB)

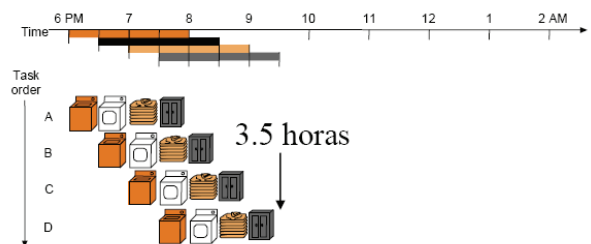


Figura 1. Concepto de Segmentación mediante analogías.

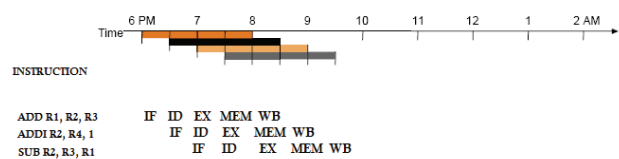


Figura 2. Concepto de Segmentación de manera técnica.

Se les hizo pensar sobre los obstáculos que habían tenido a la hora de diseñar esas etapas, lo que dio origen a explicar los típicos problemas que surgen con la segmentación y su diseño.

En este punto, se les explicó la analogía entre el concepto nuevo y el concepto base. Los problemas de diseño al dividir las etapas y los riesgos que aparecen entre las siguientes etapas o instrucciones ya fueron directamente sugeridas por ellos. Se les explicó que los valores que necesitan las instrucciones son los registros, que los recursos que se utilizan (lavadora, secadora) serán los componentes hardware del ordenador. Inferieron ellos solos que si dos instrucciones utilizaban el mismo recurso a la vez había un problema (denominado riesgo estructural). Dedujeron que si en su proceso de lavar a continuación alguien realizaba la instrucción de secar, no podían hacerse las dos instrucciones simultáneamente ya que se debe esperar a que la prenda salga de la lavadora (denominado riesgos de datos), lo que empeora el rendimiento. Entendieron la duración de cada una de las etapas y como todas no duraban lo mismo, por lo que serían más costosas computacionalmente.

Se continuaron explicando conceptos más avanzados a partir de lo dado. Los alumnos eran capaces de recordar cada uno de los problemas vistos al inicio de la clase, familiarizándolo con la analogía de la lavandería, lo que aceleraba el ritmo al no tener que recordar constantemente los conceptos ya dados.

Secuencialmente, los procesos de lavar, secar y planchar iban apareciendo en la pizarra con las palabras clave en ensamblador de otras instrucciones (add, and, sub...). Los elementos utilizados en cada instrucción pasaban de ser prendas, detergente, plancha, etc., a ser registros de almacenamiento (R1, R2, R3, etc.). Sin embargo, los alumnos eran capaces de manipularlos y trabajar con ellos sin extrañarse, incluso, no habiendo trabajado previamente con el lenguaje ensamblador. Progresivamente, cada vez se hablaba menos del concepto base y los estudiantes eran capaces de explicar el concepto nuevo sin recurrir a la analogía.

Se les animó a diseñar técnicas de optimización que evitaran los problemas que aparecían en la lavandería. Curiosamente, los propios alumnos concluyeron métodos semejantes a los que se les debía explicar. Al ser así, parte de las razones de diseño no eran explicadas, ya que los propios estudiantes habían concluido que dicho método era el mejor para el concepto base. Así, se les motivó la capacidad de análisis, de crítica y se potenció la resolución de problemas.

Además del concepto de segmentación, se utilizó el enfoque del razonamiento analógico activo para la explicación de técnicas avanzadas como la predicción dinámica de saltos, la especulación, los procesadores superescalares y los multiprocesadores.

## 5. RESULTADOS

Con el objetivo de obtener una retroalimentación por parte de los alumnos sobre la metodología utilizada en la clase, al finalizar la asignatura se les preguntó su opinión. Se les pidió que indicasen las ventajas del nuevo enfoque, las desventajas y que sugirieran posibles mejoras. Los alumnos mostraron una actitud positiva con el enfoque del razonamiento analógico activo. Indicaron que la clase les había sido amena y divertida, a pesar de no tener ninguna base inicial sobre el temario. Ciertos alumnos sugirieron que a partir de ese momento, cada vez que realizaran algunas actividades de su vida cotidiana lo asemejarían con el concepto de segmentación y propusieron nuevas analogías a utilizar. Esto conlleva a que dicho concepto había sido integrado y que, posiblemente, será memorizado.

Aseguraron que, el hecho de que fuera activo, les hizo recapacitar y analizar los problemas del nuevo concepto. Indicaron que

## 6. CONCLUSIONES

El uso del razonamiento analógico puede ser positivo para el alumno, sobre todo cuando aparece la ausencia de las bases necesarias para la adquisición de nuevo conocimiento. Sin embargo, el mal uso del razonamiento analógico puede provocar que los estudiantes no entiendan de manera detallada el nuevo concepto y no desarrollen la capacidad de relación, de inferencia o deducción.

En este trabajo se ha propuesto un enfoque de razonamiento analógico altamente activo, empleado en estudiantes universitarios. En dicho enfoque se pretende expresar las ventajas del razonamiento analógico pero aumentando la participación del alumno en la creación de las analógicas y en la evaluación de las

mismas, no viéndose reducida a las explicaciones del profesor. Las analogías utilizadas deben ser de diferentes tipos y deben ser evaluadas, en la medida de lo posible, por el estudiante. De esa manera, se pretende desarrollar las aptitudes del alumno en la resolución y simplificación de problemas.

Con el experimento realizado, queda patente la disposición de los alumnos a este nuevo enfoque. Descubrieron por sí solos los problemas de la segmentación y obtuvieron por sí mismos las soluciones empleadas en diseño. Estos datos se compararon con los obtenidos años anteriores en la clase de cuarto de grado en Ingeniería de Computadores, donde se explica de manera con un enfoque tradicional el concepto la segmentación. Se observó que el grupo que utilizó el enfoque analógico activo fue capaz de analizar y resolver un mayor número de problemas, a pesar de no tener una base previa de la materia.

En trabajos futuros se pretende aplicar dicho enfoque a un número mayor de alumnos y no sólo a los que carezcan completamente de una base previa. Estudiantes de la propia carrera podrían verse beneficiados de dicho enfoque, ya que mejora el pensamiento crítico, la capacidad de análisis y la relación entre conceptos.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Mario Rodríguez-Mena García. Aprendiendo a través de analogías. Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, CLACSO.
- [2] Materson, J. J ; L. H. Evans; and M. Aloia (1993): Verbal analogical reasoning in children with language-learning disabilities. *Journal of Speech and Hearing Research*. Vol 36. pp 76-82.
- [3] José M<sup>a</sup> Oliva. El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de Ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 3, N<sup>o</sup> 3, 363-384 (2004).
- [4] Goswami, U y A. L Brown (1990): Higher-order structure and relation reasoning: contrasting analogical and thematic relations. *Cognition*. Vol 37, # 3, pp 41-67.
- [5] Brown, D.E. y J. Clement (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science*, 18, 237-261.
- [6] La estimulación del razonamiento analógico en el Programa PRYCREA. Implicaciones para el aprendizaje escolar. En *Creemos*. Revista Hispanoamericana de Desarrollo Humano y Pensamiento. San Juan, Puerto Rico. Año 5. no. 2 pp. 53-58
- [7] Ali, M., Motta, I. y Risueño, A. (2005). Procesos neuropsicológicos implicados en el aprendizaje a la luz del MPC (Raven). [En línea]. Universidad Argentina JF Kennedy (UK). 2005.
- [8] Sternberg, R.J. (1977). Component processes in analogical reasoning. *Psychological Review*, 84(5), 353-378.
- [9] Gentner, D. (1983). Structure-mapping. A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, 155-170.
- [10] Ricardo Benítez Figari, Georgina García Escala. El razonamiento analógico verbal: una habilidad cognitiva esencial de la producción escrita. *ONOMÁZEIN* 22 (2010/2): 165-194.
- [11] La máquina de Sumar. C. Garre, D. Miraut, L. Raya, y J. S. Zurdo. En *Actas de las III Jornadas de Innovación y TIC Educativas*, JITICE 2012, España, 2012.
- [12] Certamen Arquímedes como elemento motivador en el aprendizaje basado en proyectos de Ingeniería Informática D. Miraut, C. Garre, L. Raya, y , J. S. Zurdo. En *Actas de las II Jornadas de Innovación y TIC Educativas*, JITICE 2011, páginas 29-32, España, 2011.