

Lámpsakos, No. 5, Enero-Junio 2011.

LÁMPSAKOS

LA REVISTA DIGITAL

ISSN 2145-4086

**FACULTAD DE
INGENIERÍAS**

**FUNDACIÓN
UNIVERSITARIA
LUIS AMIGÓ**

No. 5, Enero-Junio 2011

**MEDELLÍN - ANTIOQUIA
2011**

No. 5, Enero-Junio 2011

Director Luis Fernando Vargas C.
Editor Edgar Serna M.

COMITÉ EDITORIAL

Ms.C. Paula Andrea Tamayo O.	<i>IUE - Colombia</i>
Ms.C. Jonier Rendón P.	<i>IUE - Colombia</i>
Esp. Ramiro H. Giraldo N.	<i>Universidad de Antioquia - Colombia</i>
Ms.C. José Eucario Parra C.	<i>USB Medellín - Colombia</i>
Ms.C. Carlos Mario Durango Y.	<i>UPB Medellín - Colombia</i>
Esp. Jorge Mauricio Sepúlveda C.	<i>UniRemington - Colombia</i>
Ms.C. Carlos A. Hernández M.	<i>Sede Univ. Municipal Camajuaní - Cuba</i>
Dr. Mario Tamayo y T.	<i>Universidad del Valle - Colombia</i>
Dra. Susana Carreras G.	<i>Sede Univ. Municipal Camajuaní - Cuba</i>
Dr. Fernando Arango I.	<i>UNAL Medellín - Colombia</i>
Dr. Amit Chaudhry	<i>UIET, Panjab University - India</i>
Lic. Valerio Adrián Anacleto	<i>Epidata Consulting - Argentina</i>
Dr. Gabriel Hernán Uribe	<i>UNAL Medellín - Colombia</i>
Dr. Qiao-Guo	<i>Beijing Institute of Technology - China</i>
Dr. Darío Jaén N.	<i>USB Medellín - Colombia</i>
Dr. Ulf Hakansson	<i>Royal Institute of Technology - Sweden</i>
Dr. Ugo Bilardo	<i>Università di Roma, Italy</i>
Dr. Rando Pikner	<i>Tallinn University of Technology - Estonia</i>
Dr. Zeljko Vukelic	<i>University of Ljubljana - Slovenia</i>
Dr. Wilhelm Hoeflinger	<i>Vienna University of Technology - Austria</i>
Dr. Jimbo Itaru	<i>Tokai University - Japan</i>
Dr. Adedayo Adeniran	<i>University of Lagos - Niger Republic</i>
Dr. Piero Marietti	<i>University of Rome - Italy</i>
Dr. Karla Kucek	<i>University of Rio Grande - Brasil</i>
Dr. Regita Bendikiene	<i>Kaunas University Technology - Lithuania</i>
Dr. Prashant Jindal	<i>UIET, Panjab University - India</i>

Distribución gratuita Online, Open Access

Se permite la copia y utilización del contenido, se solicita realizar la cita respectiva

Los autores son responsables del contenido de sus aportes

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LUIS AMIGÓ
FACULTAD DE INGENIERÍAS

Tv. 51A 67B-90. Medellín - Antioquia, Colombia
Tel. +574 448 76 66. Fax +574 384 97 97

lampsakos@funlam.edu.co
revistalampsakos@gmail.com

CONTENIDO

4. EDITORIAL

Acerca del arbitraje y de los árbitros en las publicaciones científicas

7. CARTAS AL EDITOR

8. DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

9. L. Prados M. “El Conocimiento del Dominio como Valor Agregado al Plan de Pruebas”. (*Domain Knowledge as Test Plan Value Added*).

12. R. Melero & M. F. Abad G. “Revistas Open Access: Características, Modelos Económicos y Tendencias”. (*Open Access Journals: Characteristics, Financial Models and Trends*).

24. M. Dogerty. “La Experimentación en los Procesos Formativos en Matemática Discreta”. (*Experimentation in Discrete Mathematics Learning Processes*).

28. A. Flores P. “Desarrollo del Pensamiento Computacional en la Formación en Matemática Discreta”. (*Development of Computational Thinking in Discrete Mathematics Training*).

34. F. Tiglioli H. “Evolución del Concepto del Tiempo Cosmológico”. (*Evolution of the Cosmological Time Concept*).

37. G. Peña J. “La Filosofía de la Ingeniería y la Formación en Ingeniería”. (*The Philosophy of Engineering and Engineering Education*).

41. A. M. Saravia G. & L. F. Amorim. “Influencia de la Ingeniería en el Desarrollo Comercial de la Humanidad: Edad Moderna”. (*Influence of Engineering in the Commercial Development of Mankind: Modern Age*).

50. C. Cooke. “Análisis a los Algoritmos Utilizados por el Software para BI”. (*Analysis Algorithms Used by the BI Software*).

53. H. E. Jaramillo S. “Un Análisis de la Resistencia de Materiales a partir de los Postulados de “Consideraciones y Demostraciones Matemáticas sobre dos Nuevas Ciencias” de Galileo Galilei”. (*An Analysis of Strength of Materials from Postulates of “Discourses and Mathematical Demonstrations Relating to two New Sciences” of Galileo Galilei*).

60. M. Butler. “La Saeta del Tiempo: Una Lectura a Gerald Whitrow”. (*The Arrow of Time: A Reading Gerald Whitrow*).

66. PRODUCCIÓN INTELECTUAL

67. E. Serna M. “Algunos Comentarios a los Objetivos del Mirfac”. (*Some Comments on the Aims of Mirfac (EWD-68)*).

69. NOMBRES DE CIENCIA

70. E. Serna M. “Marie Curie”.

76. JÓVENES INVESTIGADORES

77. L. C. Pallares V. “Reflexiones Acerca del Viaje en el Tiempo”. (*Reflections on time travel*).

EDITORIAL

Acerca del arbitraje y de los árbitros en las publicaciones científicas

Los árbitros o pares evaluadores son académicos o profesionales responsables que tienen como objetivo contribuir al desarrollo de la investigación en su área de especialización. Están dispuestos a evaluar la calidad de los trabajos realizados por otros investigadores, destacando las fortalezas y debilidades de su trabajo, y asegurando la exactitud y el rigor de la investigación antes de difundirla ampliamente por medio de una revista [1].

Los pares evaluadores de la revista Lámpsakos son de diversas procedencias: todas las Ingenierías, Ciencias de la Computación, Sistemas de Información, Negocios, Pruebas y Calidad del Software, Astrónomos, Físicos, Matemáticos, Filósofos, entre otros. Esto hace que sea difícil aplicar exactamente las mismas normas para la revisión de artículos y también hace más difícil proporcionar directrices concisas para ellos. La tarea del arbitraje es difícil, pero también es un proceso informativo. Un árbitro puede contrastar artículos muy buenos con otros no tan buenos, a la vez que aprenden acerca de lo que hay que hacer (o no hacer) cuando esté escribiendo su propio artículo. De forma voluntaria revisan artículos y se mantiene al corriente de los últimos acontecimientos en su área de investigación, así como de los métodos de investigación de vanguardia. El papel del árbitro es muy importante para la comunidad investigadora en general, además, le puede proporcionar un alto grado de prestigio dentro de redes de investigación más amplias. Cuando sus comentarios son bien preparados, reflexivos y críticos pueden ganar una reputación instantánea como árbitro; pero una revisión poco preparada puede influir de manera negativa en su hoja de vida.

Los editores apreciamos en gran medida a aquellos árbitros que logran de forma excelente su objetivo de proporcionar evaluaciones justificadas y poder retroalimentar con calidad a los autores. La mayoría de las revistas proporcionan certificados a los árbitros para resaltar las tareas emprendidas por el académico o profesional. El logro de la excelencia como árbitro por varios años también puede ser clave para conformar el Comité Editorial de una revista. A la vez que es desalentador cuando la tarea del árbitro no es reconocida o recompensada por su institución académica. Este importante papel para el progreso de una comunidad investigadora y para el éxito de las facultades en las universidades tiene poco o ningún valor cuando un árbitro aplica para una promoción o durante las evaluaciones anuales a su desempeño. Desde la Revista Lámpsakos creemos que la gestión universitaria debe dar más importancia a la tarea del árbitro a la hora de establecer los procedimientos de evaluación y de promoción académica.

Llegar a convertirse en árbitro puede parecer simple, pero convertirse en un buen árbitro es difícil y a veces incomprendido por quienes realizan esta tarea. La principal función del árbitro es decidir si un artículo es una contribución suficiente para un campo específico de investigación [3]. Smith describe esta contribución como: resultados de una investigación nueva e interesante; una nueva y profunda síntesis de los resultados existentes; un estudio o tutorial útil en un campo; o una combinación de ellos [3]. Un buen reporte de un árbitro debería tener cuatro componentes principales [3]:

1. Resumir el artículo en unas pocas frases para asegurar que lo comprende, y para el uso del editor
2. Evaluar la validez y la importancia de los objetivos de investigación
3. Evaluar la calidad del trabajo real presentado en el artículo (metodología y rigor, estructura, técnicas, modelos, métodos de validación, resultados, discusión)
4. Proporcionar una recomendación general para aceptar o rechazar el artículo.

Sea cual sea la recomendación que el árbitro considera conveniente, debe estar claramente justificada, especialmente cuando se trata de un rechazo, ya que el autor desea recibir información acerca de las principales razones por las que su artículo fue rechazado. Siempre es necesario distinguir entre los artículos de investigación que pueden tener una oportunidad de ser publicados luego que sus autores realizan los cambios, y aquellos que no la tienen. Una aceptación requiere que el árbitro presente una lista de las modificaciones que son necesarias y de las que él mismo sugiere [3]. Desde Lámpsakos recomendamos leer a Smith para una comprensión detallada de cómo evaluar un artículo de investigación y para hacer las recomendaciones necesarias [3].

Si bien es cierto que la evaluación técnica de un artículo de investigación es importante, el respeto concedido a los autores a través del proceso de arbitraje también es muy importante. Harrison [2] nos recuerda que todos los árbitros también son autores, pero normalmente tienen sentimientos diferentes dependiendo de si se están usando el sombrero de autor o de árbitro. El primero nos hace sentir creativos, mientras que el segundo nos hacen tomar un papel más destructivo.

A continuación se presentan las responsabilidades de los árbitros aprobadas por el Council of Science Editors [1]:

- *Los manuscritos de los autores tienen derecho a un trato interpersonal, respetuoso y cortés. Siempre [2].* Los árbitros que aceptan evaluar el trabajo de otro investigador y comentar acerca de su importancia, precisión, claridad, y utilidad para la comunidad investigadora y el mundo, tienen una importante responsabilidad: es su obligación tratar al autor y al manuscrito con respecto [1]
- *Los autores de los manuscritos tienen derecho a una lectura completa y cuidadosa de sus trabajo [2].* Cuando los árbitros no tienen el tiempo apropiado para leer cuidadosamente y evaluar un manuscrito del que se ha pedido la revisión, deben declinar como árbitro.
- *Los autores de los manuscritos tienen derecho a esperar que las críticas de su trabajo sigan las mismas normas de la lógica y la evidencia aplicadas por ellos mismos [2].* Los árbitros deben proporcionar una evaluación honesta y clara del valor de la investigación. Una adecuada evaluación incluye un análisis a las fortalezas y debilidades de la investigación presentada, sugerencias para mejorar el estudio y hacerlo más completo o pertinente, preguntas específicas a los autores para contrastar el objetivo de hacer que su estudio sea aceptado y útil para la audiencia a la que se destinan los resultados presentados [1].
- *Los autores de los manuscritos tienen derecho a esperar que las críticas de su trabajo sean priorizadas [2].* Los árbitros deben indicar claramente cuáles críticas y sugerencias relacionadas son más importantes que otras. Si el árbitro considera que el manuscrito adolece de una falla importante, debe indicarla al principio de su informe.
- *Los autores de los manuscritos tienen derecho a obtener retroalimentación sobre su trabajo en un lapso de tiempo razonable [2].* Los árbitros deben cumplir con su responsabilidad simultáneamente para la comunidad científica y para la revista que ha solicitado su ayuda. Para que la evaluación del manuscrito cumpla rigurosamente con los tiempos determinados por la revista, los árbitros deben cumplir su responsabilidad con la comunidad científica [1].

Las responsabilidades de los pares evaluadores o árbitros, tal como se presenta en la declaración de las políticas editoriales del Council of Science Editors [1], incluyen otros temas importantes. Los árbitros deberán informar a los editores o declinar la evaluación de un manuscrito cuando:

1. Tienen algún prejuicio en contra de cualquiera de los autores, en el caso de conocerlos, del manuscrito o de la investigación presentada en el mismo
2. Tienen conflicto de intereses con la investigación presentada en el manuscrito o con los patrocinadores de la misma
3. No tienen un buen conocimiento acerca del área de investigación en la que se enmarca el manuscrito que se le ha pedido a evaluar.

Los árbitros también deben mantener la confidencialidad acerca de los manuscritos que evalúan. Es inadecuado utilizar los datos de dichos manuscritos antes de que el trabajo sea publicado. Es igualmente inadecuado compartir los datos con otros colegas, o reproducir el manuscrito con cualquier propósito [1].

Los árbitros no deben utilizar el proceso de arbitraje como medio para lograr sus propios objetivos de investigación, específicamente haciendo que los autores respondan preguntas que son de interés para el árbitro, pero que no están relacionadas con el diseño del estudio original [1].

Los árbitros no deben utilizar sus evaluaciones como una oportunidad para sugerirles a los autores que citen su propia investigación [1].

En la Revista Lámpsakos somos conscientes del alto grado de dificultad que implica la naturaleza de la tarea del árbitro, y también que esa tarea no se ve recompensada en la mayoría de las instituciones, por lo tanto, es nuestra política premiar a los árbitros, no sólo con la certificación a la que tienen derecho, sino también con la elección del “Árbitro del Año”.

Nos gustaría animar a aquellos que en el pasado no han podido participar como árbitros, por falta de tiempo u otros factores, a considerar convertirse en nuestros árbitros, y dedicar parte de su tiempo y experiencia a la comunidad científica de la que son miembros importantes. Para convertirse en árbitro de la Revista Digital Lámpsakos, por favor escriba al Editor y ofrezca su experiencia en alguna de las áreas que cubre esta publicación.

Para nosotros es un orgullo poder decir que nuestros árbitros provienen de los cuatro puntos cardinales del planeta, pero que lastimosamente nuestros compatriotas no se han motivado a participar. Para este número hemos recibido comunicaciones de académicos y profesionales de la India, de Rusia y de Croacia que están interesados en hacer parte ya sea del comité editorial o como árbitros de la Revista. Sean todos bienvenidos, con su experiencia y conocimientos a esta publicación.

REFERENCIAS

1. Editorial Policy Statements Approved by the CSE Board of Directors. "Responsibilities and Rights of Peer Reviewers". Council of Science Editors. Available: <http://www.councilscienceeditors.org/i4a/pages/index.cfm?pageid=3331> [Enero 2011].
2. D. A. Harrison. "Obligations and Obfuscations in the Review Process". *Academy of Management Journal*, Vol. 45, No. 6, pp. 1079-1084. 2002.
3. A. J. Smith. "The Task of the Referee". *Computer*, Vol. 23, No. 4, pp. 65-71. April 1990.

CARTAS AL EDITOR

The Chief Editor
Lámpsakos

Respected Sir,

I am Dr. Amit Chaudhry, Sr. Assistant Professor, Panjab University, Chandigarh, India. I have been working in the area of theoretical nanoelectronics for the past 9 years. I did my Ph.D in Modeling of Quantum Mechanical Effects in Nanoscale MOSFETs from Panjab University, Chandigarh, India in 2010.

I would like to apply for member of editorial board of your esteemed Journal. My detailed bio-data is also enclosed herewith. I have around 44 publications in international journals and conferences.

Looking forward to hear from you soon!
With kind regards and respects!

Dr. Amit Chaudhry
Sr. Assistant Professor (Microelectronics)
UIET, Panjab University, Chandigarh, India

Prof. Edgar Serna M.
Editor

Dear Sir,

I am sending and recommending name and the biodata of Er. Parshant Jindal, an Assistant Professor from Panjab University, Chandigarh, India for the potential reviewer for your journal Lámpsakos la Revista Digital de la Facultad de Ingenierías de la Fundación Universitaria Luis Amigó, Colombia. The candidate is specialized in Mechanical Engineering.

With kind regards!

Dr. Amit Chaudhry
Senior Assistant Professor (Microelectronics)
and Member Scientific Committee, Lámpsakos
University Institute of Engineering and Technology
Panjab University, Chandigarh, India, 160014

DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

La divulgación científica es la interpretación y popularización del conocimiento científico al público general, sin circunscribirse a ámbitos académicos específicos y convirtiéndose de esta manera en ciencia popular; puede referirse a descubrimientos científicos actuales o a campos enteros del conocimiento científico. Divulgar la ciencia es tan importante como hacerla, ya que ésta necesita quien la socialice de tal forma que pueda llegar a la mayoría de personas.

Mal practicada, la divulgación científica puede resultar engañosa: muchas obras de divulgación las realizan personas sin experiencia en los temas que interpretan, o parcializadas y con intereses. No es fácil para las personas sin experiencia identificar los artículos o documentos engañosos, además, en muchas ocasiones los resultados se presentan en la prensa general sin el debido contexto o muy simplificados. Así mismo, la divulgación científica sobrepasa los límites entre ciencia formal y pseudociencia y puede enfocarse en temas sensacionalistas.

Por estos motivos, la organización de la revista cuenta con profesionales de alto prestigio que conforman el comité editorial, y un cuerpo de árbitros evaluadores internacionales que colaboran para que en cada número, en esta sección, se publiquen sólo aportes que sean verdadera divulgación científica.

En esta sección de la revista se publican los artículos que, de acuerdo al proceso investigativo, se clasifican como:

1. **Artículo de investigación científica y tecnológica.** Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.
2. **Artículo de reflexión.** Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
3. **Artículo de revisión.** Documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias.

Esperamos cada semestre poder hacer la mejor divulgación científica, acercarnos a la mayor cantidad de personas y publicar resultados de procesos investigativos serios y acordes con las temáticas que nos hemos propuesto cubrir.

Domain Knowledge as Test Plan Value Added

Domínio de Conhecimento as Valor Acrescentado para o Plano de Teste

El Conocimiento del Dominio como Valor Agregado al Plan de Pruebas

Lourdes Prados M.

*Universidad Autónoma de Madrid
lourdes.prado@uam.es*

(Artículo de REFLEXIÓN. Recibido el 10/03/2011. Aprobado el 15/05/2011)

Abstract

The domain knowledge is the area of specialization connected with the environment of the application, while technical knowledge is the technology used to generate the application and the knowledge or know-how to execute the activities of day to day to make a task. With base on these definitions, the domain knowledge would be the mobile phone, VoIP, banking, e-commerce or medical applications, and the technical knowledge would be the protocols, networks, programming languages, Web, search engines, the SOAP tests, or the automation. Know that domain is momentousness in the world of testing, since it gives advantages to the testers to design test scenarios as close to real life. This work is a description of the advantages of knows the domain of the product and supports the importance of count with expert tasters in the domain of application to deliver higher quality software.

Resumo

O conhecimento do domínio é a área de especialização relacionados com o ambiente da aplicação, enquanto que o conhecimento técnico é a tecnologia usada para criar a aplicação e os conhecimentos ou know-how para executar as atividades diárias de um tarefa. Com base nessas definições, o domínio de conhecimento seria móvel, VoIP, serviços bancários, aplicações de comércio eletrônico ou médica e experiência seria a protocolos, redes, linguagens de programação Web, motores teste de pesquisa, SOAP, ou automação. Sabendo que o domínio é da maior importância no mundo dos ensaios, porque ele dá vantagens aos testadores para projetar cenários de teste o mais próximo possível da vida real. Nesse trabalho, uma descrição das vantagens de conhecer o domínio do produto e confirma a importância da provadores peritos no domínio da implementação de entregar software de qualidade superior.

Resumen

El conocimiento del dominio es el área de especialización relacionada con el entorno de la aplicación, mientras que el conocimiento técnico es la tecnología utilizada para generar la aplicación y el conocimiento o know-how para ejecutar las actividades día a día para realizar una tarea. Con base en estas definiciones el conocimiento de dominio sería la telefonía móvil, VoIP, la banca, el comercio electrónico o las aplicaciones de atención médica, y los conocimientos técnicos serían los protocolos, las redes, los lenguajes de programación, la web, los motores de búsqueda, las pruebas SOAP, o la automatización. Conocer ese dominio es de suma importancia en el mundo de las pruebas, ya que le da ventajas a los probadores para diseñar escenarios de prueba lo más cercanos a la vida real. En este trabajo se hace una descripción de las ventajas de conocer el dominio del producto y se sustenta la importancia de contar con probadores expertos en el dominio de la aplicación para entregar software de mayor calidad.

Keywords: Domain, domain knowledge, testing, testers.

Palavras-chave: Domínio, dominio de conhecimento, testes, testadores.

Palabras clave: Dominio, conocimiento de dominio, pruebas, probadores.

1. Introducción

En este trabajo, cuando se habla de dominio esta palabra no tiene nada que ver con los nombres de dominio, los dominios en el mundo de las redes de Windows, o los usos matemáticos de la palabra "dominio". Se refiere a los negocios o industrias específicas. Imaginemos dos personas que tratan de conversar pero que una de ellas no entiende el contexto de la conversación. Las posibilidades de que la comunicación sea efectiva son remotas. Del mismo modo, si un probador no entiende el dominio de lo que prueba, el proceso de probar el software se puede realizar, pero no será efectivo y no va a crear el nivel de confianza en los actores que tienen otras expectativas [1]. No conocer el dominio de la prueba puede incrementar los tiempos de la misma si se considera el *outsourcing* y el origen diverso de los integrantes del equipo de pruebas, que por lo general

proviene de ámbitos variados. En este trabajo se hace una descripción de las ventajas de conocer el dominio del producto y se sustenta la importancia de contar con probadores expertos en el dominio de la aplicación para entregar software de mayor calidad.

2. El conocimiento del dominio

El conocimiento del dominio es el conocimiento-experiencia acerca del entorno, los sistemas y los procesos del negocio para el que se desarrolla e implementa la aplicación. Por ejemplo, al desarrollar una aplicación para una cadena de restaurantes, las personas con experiencia en la industria de los restaurantes con conocimiento del dominio sobre estas operaciones tendrán mejores bases para la especificación de los requisitos de la aplicación. Estos expertos en la materia –expertos en el dominio– serán de suma importancia como asesores expertos

durante el desarrollo y la implementación de la aplicación y para el éxito del proyecto [2].

El conocimiento del dominio no es sólo una ventaja para un probador, sino que proporciona una ventaja a cada miembro del equipo que hace parte del proyecto en el desarrollo, la entrega, el mantenimiento, etc. El analista de negocios, que es parte del equipo de recopilación de requisitos, debe ser competente en el dominio para que los requisitos sean captados adecuadamente, ya que esta fase del proyecto es muy importante. En esta fase, los expertos necesitan establecer y completar los requisitos.

Tener conocimiento del dominio es siempre un valor añadido para cualquier probador, ya que no sólo le da ventaja para descubrir los errores que se pueden encontrar cuando una aplicación se utiliza en tiempo real por los usuarios finales, sino que también le proporciona ventaja para el análisis del impacto del error, y para describir los errores de forma más detallada, etc. También le ayuda en la identificación de las anomalías más importantes debido a que conoce el entorno, la tecnología del producto y también los procesos de negocio [3].

Así que, sin duda el conocimiento del dominio es importante para tener éxito en la pruebas de un dominio específico, por ejemplo, el protocolo de pruebas, el dispositivo de pruebas piloto, las pruebas BFSI de dominio, las pruebas de dominio simples, y las pruebas de estado del dominio. Un probador sin conocimiento del dominio puede encontrar muchos de los defectos evidentes en una aplicación, pero no será capaz de descubrir los defectos que un usuario final podría encontrar en tiempo real.

3. La experiencia en el dominio para los probadores

La mayoría de empresas actuales no se fijan demasiado en probadores con conocimientos técnicos, sino más bien en probadores con experiencia en el dominio de la aplicación que será probada. Esto ayudará a los equipos de prueba para identificar y simular los escenarios en tiempo real con los probadores expertos en el dominio. La prueba es el último recurso para cualquier equipo del proyecto antes de pasar la aplicación a producción, por lo que cada equipo quiere ponerla a prueba en un entorno lo más cercano posible al de producción y con escenarios que se sucedan en la vida real [4]. La demanda por probadores expertos en el dominio está aumentando día a día, porque nadie quiere tomar el riesgo de entregar la aplicación sin haber sido probada en dominios lo más cercanos posibles al de producción. Algunos problemas críticos en la línea de negocio del sistema se encuentran luego del lanzamiento [5], lo que puede resultar en grandes pérdidas para la empresa, por lo que todas quieren invertir temprano en los recursos, es decir, en los expertos de dominio, que pueden ayudar a reducir estos riesgos y a proporcionar sistemas de calidad.

4. Ventajas del conocimiento de dominio

Una de las mayores cadenas de comida rápida del mundo planeó implementar un sistema de gestión de aprendizaje para sus directivos y empleados en los restaurantes. Se encargó a un equipo el desarrollo del proyecto para la gestión de aprendizaje basado en la web que sería implementado en los servidores de la compañía y daría acceso a través de la web, para que todos los directivos y los empleados iniciaran sus programas de aprendizaje. Nadie en el equipo pensó cómo esa aplicación podría afectar al negocio. Sin embargo, durante la prueba un probador con conocimiento del dominio, y que entiende el modelo de negocio de la industria de restaurantes, reveló un escenario de prueba que podría incurrir en grandes pérdidas a la empresa si se pasara por alto. El sistema se supone que puede accederse desde máquinas que están en la columna vertebral de las operaciones del restaurante, incluyendo el procesamiento de transacciones sin dinero en efectivo. Se encontró que este sistema consumía mucho ancho de banda, lo que ocasionaba que las máquinas responsables de aprobar las transacciones con tarjetas de crédito se vieran relegadas. El equipo se dio cuenta de que se trataba de un tema crítico, porque si el pago con tarjeta de crédito toma mucho tiempo esto puede llevar a colas enormes en el restaurante durante las horas pico, que a su vez puede tener un impacto sobre las ventas/beneficios. Por último, este problema se resolvió al entregar el desarrollo del sistema de aprendizaje a un proveedor que tiene experiencia en el desarrollo de este tipo de sistemas. Así es como el conocimiento del dominio proporciona una ventaja sobre los probadores que tienen conocimientos técnicos sobre el sistema pero que no poseen el conocimiento del dominio del negocio.

5. Aplicaciones del conocimiento del dominio

5.1 Requisitos

Si un probador tiene experiencia en un dominio particular, comprender los requisitos le requerirá menos tiempo y la calidad de las consultas para clarificarlos será alta. Las consultas/defectos planteados ayudan a reducir la ambigüedad de los requisitos y a mejorar su calidad global, por lo tanto se garantiza que habrá un mínimo de iteraciones de actualización de los documentos y del mantenimiento de todas las partes. Durante la fase de requisitos, las pruebas estáticas juegan un papel importante para identificar defectos tempranos en el ciclo de vida de desarrollo de software, mucho antes de empezar el desarrollo. Las pruebas estáticas sólo son posibles cuando el probador tiene experiencia en el dominio para comprender los requisitos del cliente y el sistema bajo prueba [6]. Por lo tanto las pruebas basadas en el dominio ayudan en la ejecución de las pruebas tempranas.

5.2 Planificación de la prueba

Si se capturan requisitos claros existe mayor probabilidad de lograr los resultados planeados para pruebas efectivas, como escenarios de prueba y casos

de prueba. Además, si el probador es capaz de comprender los requisitos tácitos, la prueba tendrá mejor cobertura con menos trabajo.

5.3 Gestión de los datos de prueba

La calidad de los datos de prueba es uno de los factores clave para el éxito de la prueba. Un probador con experiencia en el dominio será capaz de generar conjuntos de datos de prueba más lógicos para ejecutar la prueba. Los expertos en el dominio serán capaces de obtener las combinaciones de datos correctas para probar escenarios positivos así como negativos.

5.4 Ejecución de la prueba

La aplicación de pruebas basadas en el riesgo también será relativamente fácil, ya que las pruebas prioritarias pueden ser priorizadas y ejecutadas antes que las pruebas de menor prioridad. Los defectos críticos también podrán ser identificados en la fase de pruebas tempranas ya que las pruebas están priorizadas, y a medida que su ejecución progresa los defectos menores serán identificados. Esto garantiza que los defectos críticos no pasen esa fase de la prueba. Por lo tanto, el costo de corregir defectos también es menor y da lugar a un aumento en el nivel de confianza en la calidad de la aplicación [7].

5.5 Otros beneficios

La creación de artefactos reutilizables, ya sea basados en la más reciente asignación de prueba o como una actividad independiente en sí misma, también será más eficaz; los escenarios críticos, los casos de prueba y los datos de prueba eficaces serán identificados con mínimo esfuerzo, formando así una suite de regresión efectiva. Sin embargo, lograr esto requiere el compromiso de la gestión para mantener los recursos. Algunos de los desafíos involucrados en la construcción o mantenimiento de pruebas basadas en el dominio son:

- Todo el proceso de construcción de experiencia en el dominio de los recursos de una organización sólo puede ocurrir en un período de tiempo, especialmente cuando las actividades de prueba del software se externalizan [4]; requiere el compromiso de la gestión de proveedores para

retener los recursos para los proyectos en un dominio específico, y esto podría incrementar los costos para explotar los recursos.

- Construir experiencia de dominio requiere concentración y esfuerzo de los empleados, ya que el aprendizaje no se producirá por completo en el ámbito de un proyecto. El probador tendrá que considerar material de lectura adicional o mejor aún completar las certificaciones de dominio.
- Desde la perspectiva del cliente, si la madurez de la organización es baja, los probadores se limitarán a un dominio y no podrán aprender las mejores prácticas de otros dominios. Sin embargo, esto se puede superar fácilmente si la organización implementa y documenta las mejores prácticas.

Los beneficios de las pruebas basadas en el dominio superan las limitaciones generadas por el mismo [8]. Todos estos factores podrán contribuir, sin duda, a la construcción de aplicaciones de mayor calidad y a menor costo, además, para alcanzar mejor experiencia en la prueba.

6. Conclusiones

El conocimiento del dominio de parte de un probador es muy importante en la entrega de productos de calidad al mercado de acuerdo a las necesidades de los clientes. La necesidad de probadores para un dominio específico está aumentando día a día. Así, ese valor adicional que se ofrece a los clientes, redundará en mayor calidad del producto y en mayores ingresos para la industria.

Los ingenieros de software y especialmente los probadores deben ser muy conscientes de la importancia del dominio en el que prueban, y de lo que debería hacerse antes de cometer un error. Una cosa es poner a prueba un software que envía señales en caso de un accidente de auto, y es otra totalmente diferente es probar el software de un banco.

El probador debe comprender el negocio detrás de él, y también cómo afectará un defecto a la sociedad. Se debe imaginar situaciones en las que el programa no puede comportarse de forma correcta, y debe identificar e insistir en situaciones que pueden causar daños al usuario.

REFERENCIAS

1. M. T. Chi, N. De Leeuw, M. H. Chiu & C. LaVancher. "Eliciting Self-Explanations Improves Understanding". *Cognitive Science*, Vol. 18, No. 3, pp. 439-477. Jul-Sep. 1994.
2. H. Beyer & K. Holtzblatt. "Contextual design: Defining customer-centered systems". San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 496 p. Sep. 1997.
3. A. Blandford & G. Rugg, G. "A case study on integrating contextual information with analytical usability evaluation". *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 57, No. 1, pp. 75-99. Jul. 2002.
4. T. Cohene & S. Easterbrook. "Contextual risk analysis for interview design". *Proceedings of the 13th IEEE International Conference on Requirements Engineering (RE'05)*, Paris, France, pp. 95-104. Aug. 29 - Sept. 2, 2005.
5. A. Dix, J. Finlay, G. Abowd & R. Beale. "Human computer interaction". New York: Prentice Hall, 834 p. 2003.
6. M. Hickey & A. Davis. "Requirements elicitation and elicitation technique selection: A model for two knowledge intensive software development processes". *Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'03)*, Hawaii, USA. Jan. 6-9, 2003.
7. B. Hughes & M. Cotterell. "Software project management". USA: McGraw-Hill, 400 p. 2006.
8. BMC Software. "The communication gap: The barrier to aligning business and IT". Study by Winmark, 2004. [Ω](#)

Open Access Journals: Characteristics, Financial Models and Trends

Revistas de Acesso Aberto: Características, Modelos Econômicos e Tendências

Revistas Open Access: Características, Modelos Económicos y Tendencias

Remedios Melero

Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, CSIC
rmelero@iata.csic.es

M. Francisca Abad G.

Facultad de Medicina Universitat de València
abad@uv.es

Se reproduce este artículo con permiso de sus autores y de la revista de publicación original, debido al interés que tiene para la Revista *Lámpsakos* y la comunidad (R. Melero & M. F. Abad G. *Revistas open access: características, modelos económicos y tendencias*. *bid*, No. 20, ISSN: 1575-5886. Junio 2010. On line: <http://www.ub.edu/bid/20meler2.htm#Nota1>)

(Artículo de REFLEXIÓN. Recibido el 14-12-2010. Aprobado el 25-03-2011)

Abstract

Open access (OA), electronic, scientific journals have existed since the start of the Internet. Nevertheless, since the Budapest Declaration—which defined the importance of open access and described journals as key to OA—existing open access journals have begun to be identified. In addition, other journals have emerged, which use models that did not exist in the time when only printed journals were available. This paper analyses how the open access movement has affected communication methods and access to scientific output. It also looks at the consequences that OA has had on the development of the publishing sector, and on new models of journals that are not exclusively based on subscriptions. In addition, we summarise some of the trends in electronic publication. From the perspective of the scientific community, these trends are linked to the creation of collaborative environments, data exchange and the reuse of data, among other factors. From a commercial perspective, they represent a transition from a model of content provider to that of service provider. In this context, quality and attractive prices make publishing companies more competitive.

Keywords: Open access, licenses, copyright, copyleft.

Resumo

Há exemplos de periódicos científicos eletrônicos de acesso aberto (Open Access, OA) desde o advento da Internet, mas com a Declaração de Budapeste, em definir o significado de periódicos OA como uma forma de alcançá-lo é quando ele começa a identificar periódicos de acesso aberto já foram, e levantar outros modelos existentes no momento das revistas impressas. Este artigo analisa como o movimento OA teve impacto sobre os meios de comunicação e acesso à produção científica eo impacto que teve sobre a evolução do mercado editorial e de novos modelos nas revistas com base não apenas o acesso ao pagamento assinatura. Além disso, resumimos algumas das tendências em edição eletrônica, a partir do ponto de vista da comunidade científica tem a ver com a criação de ambientes colaborativos, compartilhamento e reutilização de dados, entre outros, e do ponto comercialmente por meio de um modelo de provedor de conteúdo para serviços, onde a qualidade e melhores preços para os editores tornar as empresas mais competitivas.

Palavras-chave: acesso aberto, licenciamento, direitos autorais, copyleft.

Resumen

Existen ejemplos de revistas electrónica científicas de acceso abierto (open access, OA) desde la aparición de Internet, sin embargo con la Declaración de Budapest en la que se define el significado de OA y las revistas como una vía para alcanzarlo es cuando empieza a identificarse revistas de acceso abierto que ya lo eran, y a surgir otras con modelos inexistentes en la época de las revistas en versión impresa. En este trabajo se analiza cómo el movimiento OA ha repercutido sobre las vías de comunicación y acceso a la producción científica, y las consecuencias que ha tenido en la evolución del mercado editorial y los nuevos modelos de revistas basados no exclusivamente en el acceso por pago de suscripción. También se exponen resumidamente algunas de las tendencias en cuanto a la publicación electrónica, que desde el punto de vista de la comunidad científica tienen que ver con la creación de entornos colaborativos, el intercambio y la reutilización de datos, entre otras, y desde el punto de vista comercial por pasar de un modelo de proveedor de contenidos al de servicios, en el que la calidad y mejores precios hagan a las editoriales empresas más competitivas.

Palabras clave: Acceso abierto, licencias, derechos de autor, copyleft.

1. Introducción

Las primeras revistas científicas electrónicas de libre acceso aparecieron con la creación de Internet, antes de la invención de la World Wide Web. No parece casualidad que Jean Claude Guedon y Stevan Harnard, reconocidos impulsores del movimiento OA fueran pioneros en la creación, en 1991, de las revistas *Surfaces* y *Psychology* respectivamente. Ambas revistas aunaban la gratuidad de sus contenidos en

Internet con el mantenimiento del copyright por los autores (tal y como luego se diría en la declaración de Budapest o en la declaración de Berlín).

Otro ejemplo fue *The public-access computer systems review*, revista electrónica distribuida por correo electrónico en forma de boletín que fue creada en 1990 por W. Bailey Jr., figura también comprometida con la difusión de la literatura OA. Casualmente en

uno de los artículos publicados en los primeros números de esta revista con el título "Online journals: disciplinary designs for electronic scholarship" (Harrison, 1991) se aventuraba a describir lo que ocurriría unos años más tarde: Internet u otras redes serían el vehículo para la comunicación científica, el mundo digital permitiría una aceleración en la difusión de la ciencia frente a la era impresa y que el coste de la publicación electrónica sería inferior a la versión impresa, por lo tanto podría llegar a mayor número de usuarios. El artículo sigue y deja intuir la interoperabilidad como hoy la entendemos:

The decade of the 80's has witnessed the advent of a revolution in scholarly communication. The explosive growth of wide-area academic computer networking using BITNET/EARN, Internet, and an extensive array of regional networks has brought us beyond the point of asking whether the networks will be used for scholarly communication. The important questions now center around how computer-mediated scholarly communication will take place. Increasingly, speculation has focused upon the ability of electronic media to replace paper as the primary delivery medium for scholarly journals.

A prima facie case for the desirability of online or electronic scholarly journals seems already to exist. Advocates have based their cases on the advantages of computer networking and electronic media over print publication, such as the speed of dissemination, the relatively low costs of production and dissemination, and the ability to make more scholarship available than before. Noting that publishers receive the economic benefits of research produced at public expense, Okerson has suggested that an electronic publishing component within the National Research and Education Network would enable scholarship to remain financially accessible to the public.

Tan sólo han pasado 16 años de estas tres iniciativas y sin embargo la transformación del entorno digital e Internet ha sido radical y el anterior nada tiene que ver con el paisaje de las revistas electrónicas de hoy en día.

Es indiscutible que uno de los primeros acontecimientos que marca la revolución de la publicación y comunicación científica es la invención de la world wide web y del protocolo http en 1993. Sin embargo, si en el artículo de Harrison *et al.* (1991) ya se hablaba de Internet, de publicación electrónica, de sistemas interoperables y de la aceleración en la difusión y acceso a los resultados de la investigación científica, ¿qué causas fueron las que provocaron que este avance no fuera tan espectacular en el mundo de las publicaciones científicas en manos de editoriales comerciales durante la segunda mitad de los 90? Paradójicamente esa ralentización por obstaculizar el acceso a la documentación científica siguiendo patrones clásicos de la época impresa, fue en parte lo que despertó lo que hoy conocemos como el movimiento OA.

2. El acceso abierto a la producción científica: Las revistas OA

El acceso en abierto es digital, en línea y libre de barreras económicas o de derechos de copyright sobre los trabajos publicados (Suber, 2006d). Son varias las causas que desencadenan el desarrollo de iniciativas OA. Por un lado, Internet, la web, las nuevas

tecnologías en general, constituyen los medios para la diseminación de los avances científicos de forma rápida y a muchos más lugares que en la era impresa. Sin embargo, esas ventajas se reducen cuando las grandes editoriales comerciales, distribuidoras de la producción científica, tratan de frenar el acceso a la información mediante barreras económicas y de copyright. De hecho, una de las causas (serials crisis) que motivó el principio del cambio en las formas de acceso y negocio relacionado con las publicaciones científicas fueron los elevados precios por suscripción, muy por encima del IPC (ARL, 2007), hecho que hizo saltar la primera alarma en las bibliotecas universitarias. La respuesta a esta subida incesante de precios desde los años 80 (Fig. 1) tuvo matices diferentes en función del grupo implicado en la cadena de producción y adquisición de las publicaciones.

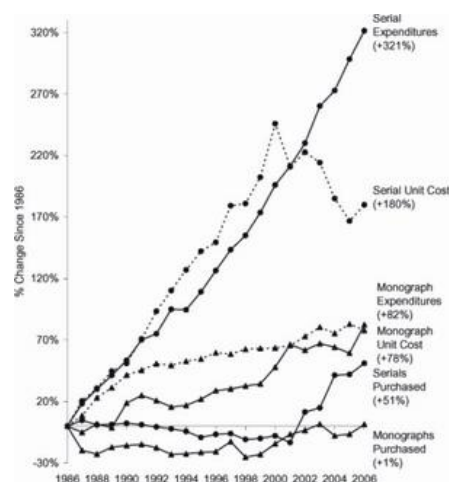


Fig. 1. Evolución de los precios de revistas y monografías, aumento del gasto de las bibliotecas universitarias americanas y adquisición de títulos (Fuente: ARL, 2007)

Entre estos grupos podemos distinguir a editores científicos (editors), a las sociedades académicas y profesionales, y a las universidades y centros de investigación. Existen ejemplos documentados de las reacciones de estos sectores a los abusos editoriales, como fueron en su momento la dimisión directores de revistas por la política restrictiva de las editoriales (Suber, 2006b). Por otro lado surgen declaraciones institucionales en favor del acceso abierto a la literatura científica a través de Internet. En cuanto a las universidades y centros de investigación también han manifestado en numerosas ocasiones algún tipo de protesta o boicot a determinadas editoriales por los contratos poco flexibles y por paquetes (big deals) que ofrecen, o por licencias que impiden el uso posterior de los recursos digitales.

Un evento que tuvo gran impacto en la comunidad científica fue la publicación en 2001 de una carta en Internet de la Public Library of Science (PLoS) en la que se pedía a las editoriales que permitieran el acceso a los artículos después de un embargo no superior a 6 meses (Open, 2001). Si bien el número de personas que la suscribieron electrónicamente fue alto, tuvo más impacto social que efectos prácticos,

pero contribuyó a la difusión del significado de OA. De hecho, en febrero de 2002 en Budapest se redactó la primera declaración institucional (Budapest Open Access Initiative) (Budapest, 2002) donde se definió el concepto OA y las vías para alcanzarlo: la vía dorada (golden route), la de publicación en revistas OA, o la vía verde (green route), la del auto-archivo en repositorios institucionales. Posteriormente la Declaración de Bethesda (Bethesda, 2003) y la Declaración de Berlín (Berlin, 2003) asumen la declaración anterior y ratifican el paradigma OA para la literatura científica. En concreto, suscribir la Declaración de Berlín supone asumir el compromiso de avalar el OA, crear las herramientas y poner los recursos necesarios para su desarrollo. Actualmente son más de 200 instituciones quienes la han suscrito, entre ellas 21 españolas de las que dieciséis son universidades. Las tres declaraciones convergen en que la cesión exclusiva de los derechos de autor es un obstáculo para acceso abierto a las publicaciones, lo que pone de manifiesto el papel absolutamente relevante que juegan los derechos de copyright sobre los trabajos científicos.

2.1 Revistas OA y copyright

En primer lugar hay que distinguir entre lo que significa free access y open access. El primer término viene a ser un sinónimo de gratis, es decir, el objeto digital se encuentra disponible en la web y se puede descargar sin pagar por ello, pero generalmente los derechos de copyright son exclusivos de la empresa que los publica. Esta es la situación habitual en el proceso de publicación científica en el que cuando un artículo es aceptado para su publicación al autor se le solicita que firme un documento de cesión en exclusiva a la editorial de los derechos de explotación del trabajo. En el ejercicio de esos derechos, la empresa puede decidir proporcionar acceso gratuito total o parcial a los textos.

En el caso de recursos de acceso abierto no se produce esta situación de transferencia del copyright o, al menos, si se produce no es de forma exclusiva, dándose además una situación de cesión de uso, bien por parte del autor o de la editorial, en el caso de que éste haya sido transferido, que determina las condiciones de uso del trabajo. Uno de los modos de establecer esas condiciones de uso es mediante la utilización de licencias Creative Commons que permiten establecer claramente al propietario de los derechos el uso que puede hacerse de los objetos, tanto si se tratan de trabajos publicados por una editorial, como de aquellos dispuestos en páginas web personales o en repositorios digitales.

Desde el punto de vista de un usuario, lector, la diferencia entre free y open puede parecer sutil, si bien es determinante en cuanto que determina el uso que puede hacerse del material al que se tiene acceso. Un ejemplo sería la posibilidad de auto-archivo del material en un repositorio.

En el momento actual entre las revistas científicas digitales existe una amplia gama de modalidades, desde las que siguen el modelo tradicional de acceso exclusivo por suscripción en las que las editoriales poseen los derechos exclusivos de sus artículos (no responden a ningún criterio OA) hasta aquellas que son gratuitas para el usuario y para el autor y además estos últimos retienen los derechos sobre copyright (criterios OA). En el diagrama siguiente se ve como el grado de accesibilidad crece desde la gratuidad o embargo con derechos reservados (free access) al OA gratuito con derechos de copyright del autor.

A continuación se describen con detalle los distintos tipos de revistas incidiendo en aspectos relativos tanto al copyright como a los modelos financieros en los que se sustentan (Fig. 2). Aunque los dos primeros tipos de revistas que se muestran en el diagrama no corresponden al modelo de OA se incluirán también en la descripción (si bien en un único apartado) dado que el número de revistas que permiten un acceso total o parcial a sus contenidos es cada día más abundante. No obstante, el foco de la descripción estará dedicado sobre todo a las revistas OA.

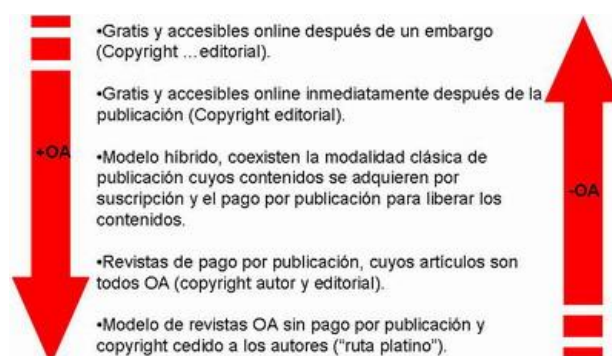


Fig. 2. Esquema de la gradación de revistas OA

3. Tipos de revistas de acceso abierto: copyright y modelo económico

3.1. Publicaciones OA gratuitas para lectores y autores

Este tipo de revistas representa la situación más deseable en el contexto del OA, tanto es así que algunos las han calificado como vía platino (Haschack, 2007). En estas revistas los autores retienen los derechos de autor o los comparan con las editoriales.

Este modelo suelen adoptarlo revistas de nueva creación que surgen en el contexto de este movimiento. Un ejemplo es Open Medicine, revista creada en abril de 2007, con apoyo de la University of British Columbia de Canadá en la que se integran parte de los editores que formaban parte del Canadian Medical Association Journal. Sus ingresos provienen de partners, donaciones puntuales y patrocinadores no comerciales rechazando cualquier aportación procedente de la industria farmacéutica, a cambio de una independencia editorial que permita la libre discusión y circulación de ideas.

En ocasiones este tipo de revistas es el resultado de la aplicación de políticas institucionales o nacionales para impulsar la difusión y visibilidad de su producción científica, y como apoyo para la transición al formato digital de revistas editadas en papel. Muchas veces estas políticas se materializan en la creación de portales en las que se alojan estas revistas. Este es el caso de portal alemán German Medical Science el del portal japonés J-Stage, creado en 1999 por la Japan Science and Technology Agency y que actualmente integra 447 revistas, o del portal Scielo, iniciativa nacida en 1997 con el apoyo de varias instituciones públicas brasileñas y que actualmente se ha extendido a varios países de América Latina y también a España. Sin embargo en el caso de Scielo España, no puede hablarse de un portal de revistas OA, pues de las 34 revistas a las que se accede actualmente, solo una de ellas (International Microbiology) realiza una cesión de derechos de uso acorde con los principios del acceso abierto, quedando en las restantes los derechos de autor en poder exclusivo de la editorial.

El acceso gratuito para autores y lectores puede verse también como una forma de promoción de las revistas durante sus primeros años de edición. De tal modo que una vez transcurrido un tiempo y fidelizada una determinada clientela les sea más fácil la transición a otro modelo, ya sea el de pago por autor o incluso el de suscripción, que les permita la captación de recursos económicos.

Para la creación de una revista OA o transformación de una ya existente nueva sin ánimo de lucro, existen recomendaciones y software libre de gestión en línea de los contenidos de la revista, que facilita nuevas iniciativas o la transformación de un modelo en otro.

El modelo de gratuidad para lectores y autores tiene como aliado la disponibilidad de software libre, del que se hablará más adelante, lo que permite disponer de una infraestructura tecnológica asequible y fácilmente manejable. Otra ventaja que juega a su favor es que no es necesario invertir recursos en difusión, marketing y venta. Como contrapartida tiene los posibles conflictos de interés derivados de sus fuentes de financiación, sobre todo cuando ésta se apoya en la publicidad o en patrocinadores de la industria farmacéutica, así como su sostenibilidad a largo plazo.

Sin embargo, por ahora, la financiación de este tipo de modelo proviene sobre todo de fuentes públicas. Hace cuatro años, Regazzi (2004) estimó que cerca del 55 % de las revistas OA estaban financiadas con dinero público, cerrando este tipo de financiación el círculo de inversión institucional en el proceso de producción de la ciencia. Dentro de esta categoría se ubican también las revistas OA gratuitas para autores y lectores de la versión en línea, con pago por suscripción de la versión en papel (aunque aquí ya no se hablaría de vía platino). Se estima que en esta situación se encontraban el 28% de las revistas OA.

Esta modalidad es más frecuente en editoriales sin ánimo de lucro que en las de tipo comercial. La adopción de este modelo por las revistas se puede fundamentar en varias de razones. Una de índole económica, pues son revistas en las que los ingresos obtenidos de las suscripciones de la versión en papel son suficientes para sufragar los costes totales de edición de la revista, lo que permite proporcionar acceso abierto a su versión en línea. Otro argumento de peso para la adopción de este modelo es el beneficio en visibilidad e incremento del impacto de los trabajos que proporciona la disponibilidad de la versión gratuita en Internet, beneficio mucho más relevante que el económico para unos autores, que no cobran por su trabajo (Izquierdo, 2007).

En esta situación se encuentran, por ejemplo el caso de las más de cincuenta revistas biomédicas de la editorial india Medknow Publications y de varias revistas publicadas por sociedades. La coexistencia de la versión papel y digital proporciona además fuentes complementarias de financiación como la publicidad, el reprint de artículos sueltos o las suscripciones regalo.

Desde el punto de vista financiero este modelo es viable mientras exista la versión papel y el número de suscripciones sea suficiente. Si bien se están dando casos de que, si los precios de las suscripciones al papel no son excesivos, bibliotecas y particulares mantienen el pago de sus cuotas para apoyar a las revistas, como si de donaciones se tratara, existiendo también con la misma finalidad la posibilidad de las suscripciones de apadrinamiento.

3.2 Revistas OA de pago por publicación

De las distintas modalidades de financiación de las revistas OA, el modelo de pago por publicación o pago por autor es considerado por algunos como el único modelo económico que puede ser contrapuesto al tradicional modelo de pago por suscripción. Tal vez porque es el único que plantea el sustento de la revista a partir de fuentes de ingresos que van más allá de la subvención o del patrocinio.

El modelo de pago por autor no es el más extendido y afecta a menos de la mitad de las revistas OA (Kaufman, 2005 cifra su presencia en un 47%). Este modelo es una alternativa que genera controversia, empezando por su nombre. Así, hay quien se opone a esta denominación y propone la de Author side fees, con el argumento de que sólo en escasas ocasiones es el autor el que paga de su propio bolsillo las tasas de publicación, siendo lo habitual que sea la institución, la biblioteca, la agencia financiadora o incluso algún patrocinador quien lo haga y porque además esa denominación puede provocar rechazo entre los autores siendo que, en el marco del sistema tradicional, no es infrecuente que los autores paguen determinadas tasas asociadas a la publicación de sus artículos (por página, por publicar imágenes en color, etc.) (Suber, 2006a).

TABLA 1
Editoriales OA de pago por publicación (datos de 2007)

Editorial OA	Precio por artículo	Copyright	Revista
BioMed Central (BMC)	\$ 505-2.425 (depende de la revista)	Author, + commercial re-use, CC licence	Titles= 180 Covered ISI aprox 27, (26 soon)
Public Library of Science (PLOS)	1.250-2.750 \$	Author, CC licence	Titles= 7 Covered ISI 5*
Oxford University Press (3 titles)	1.500-2.800 \$ (depende de si se está suscrito a la versión impresa)	Author, CC licence	Nucleic Acids Research Evidence-based Complementary and Alternative Medicine DNA Research

El sistema de pago por autor lo han adoptado tanto editoriales comerciales como sin ánimo de lucro (Tabla 1). Entre las primeras cabe mencionar Biomed Central creada en 1999, que actualmente oferta 187 revistas biomédicas de acceso abierto. Las tasas varían dependiendo de la revista, situándose sobre los 1.100 € de media y las pagan los autores o las instituciones. Entre las instituciones están las member institution, cuya tarifa permite a sus investigadores publicar de forma gratuita y las supported members cuya tarifa sólo garantiza descuentos en las tasas. Actualmente hay 310 instituciones miembros de 39 países (EEUU, Alemania, Reino Unido y Canadá son los que cuentan con mayor número de instituciones). Con el pago institucional, también se genera una página web con los trabajos publicados por esa institución. Biomed Central cuenta como fuentes adicionales de financiación la publicidad y por el pago por productos de valor añadido. Otra editorial, esta vez sin ánimo de lucro es Public Library of Science (PLOS), cofundada en 2003 por el premio Nobel, y antiguo director de National Institute of Health de EEUU, Harold Varmus. Su puesta en marcha contó con ayudas de la Gordon y Betty Moore Foundation de la Sandler Family Supporting Foundation (9 y 4 millones de dólares respectivamente). Esta editorial actualmente publica 8 revistas de biomedicina y se financia básicamente a través de las cuotas de los autores (la menor de 1.250 \$ y la mayor de 2.750 \$), aunque también tiene un sistema de financiación a través miembros institucionales, individuales, espórsors y donaciones. La aceptación de donaciones de entre 25.000 \$ y 100.000 \$ de la industria farmacéutica le han valido críticas por la posibilidad de que comprometan su independencia editorial. Otras críticas se dirigen en el sentido de su viabilidad económica y de posibles déficits de la compañía (Butler, 2006). Entre las editoriales comerciales que han iniciado una línea de revistas con el sistema de pago por autor es Oxford University Press, actualmente con tres revistas. Como se muestra en la Tabla I, en este tipo de revistas el copyright queda en manos del autor y es frecuente el uso de licencias de Creative Commons.

Existen otras empresas no tan conocidas como las anteriores que utilizan también el sistema de pago por autor. Este es el caso la compañía neozelandesa Libertas Académica que integra 33 revistas, cuyas

tarifas son mucho más bajas que las anteriormente expuestas (entre 675 € y 775 €) o Bentham Publishers, que pretendía el lanzamiento en 2007 de más de 200 revistas biomédicas a través de Bentham Open. Otras como la editorial Hindawi, con más de 30 revistas, combina el pago por autor (con una tarifa fija por hoja de 60 €) con el cobro de suscripciones de la versión papel.

El sistema author pays supone un cambio en el modelo financiero de las publicaciones científicas y tiene ventajas, inconvenientes y asuntos pendientes de resolver. Entre las primeras, la más importante es que plantea una alternativa más justa que el modelo tradicional pues se paga por la manufactura del producto final una sola vez y la gratuidad resultante de ese pago único convierte el conocimiento científico en un bien común. Además, hace que el autor sea sensible a los precios introduciendo un posible punto de equilibrio en el mercado entre oferta y demanda.

Los críticos con este sistema enuncian entre sus inconvenientes que este sistema puede conducir a la desigualdad en la publicación, acusándolo de ser un sistema basado en la capacidad económica más que en los méritos y no ser adecuado para áreas con poca financiación, como las ciencias sociales y las humanidades. Consideración que también puede afectar a la biomedicina donde más del 25% de trabajos publicados en revistas médicas de habla inglesa no tienen financiación, cifra que puede aumentar según especialidades (Houston, 2005). Contra este argumento hay que destacar que la mayoría de las revistas de pago por autor contemplan descuentos en sus tarifas para autores sin recursos para publicar, si bien no está claro con qué criterios se determina esto. Otras de las críticas que recibe es la de dificultar el establecimiento de una nueva revista al desincentivar el envío de originales y también que puede influir en la calidad de los contenidos, ya que una revista con poca afluencia de originales puede verse forzada a aceptar algunos de menor calidad para poder sobrevivir. A este sistema se le acusa de provocar que los grupos investigadores y las instituciones más productivas paguen más. Así, por ejemplo, recientemente la Universidad de Yale ha dejado de ser institución miembro de Biomed Central argumentando que los costes que debían sufragarse

en concepto de tasas cada vez eran mayores y no eran sostenibles con el presupuesto disponible (Stein *et al.*, 1993).

Entre otros aspectos que no parecen resueltos al menos tres son de índole económica y son los relativos a la cantidad a pagar, a quien debe pagar las tasas de publicación y cuando se debe pagar. El otro es de índole sociológica y está en relación con la aceptación de este modelo por los autores.

En cuanto a quien debe pagar las tasas de publicación, las posibilidades son: los autores a título individual, las instituciones a la que éstos pertenecen, las bibliotecas o las agencias que financian la investigación. De entre estas opciones, parece que la situación menos frecuente es que sea el autor el que pague las tasas, siendo más habitual que las mismas se sufraguen a cargo de la financiación recibida para la investigación o mediante fondos de tipo institucional (Swan; Brown, 2004). En este sentido, una de las propuestas es que progresivamente las bibliotecas vayan asumiendo estos gastos en la medida que el acceso abierto vaya liberando un presupuesto anteriormente dedicado al pago de suscripciones. En cuanto al momento en el que se paga, se discute si todo artículo remitido para revisión debe pagar unas tasas que se complementarían con unas adicionales cuando el artículo es aceptado, o finalmente solo debe pagar tasa un artículo que es aceptado. La cuestión no es baladí, sobre todo cuando se toma en consideración revistas de gran prestigio como JAMA con tasas de rechazo del 92%.

Por último, otro aspecto a considerar es la opinión y percepciones de los científicos sobre este modelo de financiación. Así, en los estudios realizados al respecto se ha puesto en evidencia que la frecuencia de publicación en revistas de pago por autor es aún muy baja (Hernández *et al.*, 2006) y que es muy alto el

porcentaje de científicos que afirma que dejaría de publicar en la revista donde suele publicar si ésta pasara a ser de pago por autor (Schroter; Tite, 2006). Además, los datos de un estudio realizado revelan que mientras un 35% de los encuestados creían que con el sistema de pago por autor podría ser más fácil publicar una mayor cantidad de contenido, y un 31% que era una forma de publicar más rápida y puntual. Sin embargo, un 27% también opinaba que las revistas con este sistema tenían menor factor de impacto y un 46% que la gente podría pensar que publicaría cualquiera que pudiera pagar.

3.3 Revistas de pago por suscripción con opción OA. Modelos híbridos

La presión del creciente apoyo al movimiento de OA, reforzado con las disposiciones establecidas por organismos como la Wellcome Trust (Reino Unido) (Anderson, 2005), los UK Research Council (Research, 2005) o los National Institutes of Health de EEUU (National Institutes of Health, 2005), recomendando y/o exigiendo que las publicaciones resultantes de investigaciones financiadas por ellos estuvieran disponibles en acceso abierto en un plazo determinado de tiempo, han conducido a editoriales tradicionales a establecer canales para que los autores puedan, pagando unas tasas de publicación, elegir que sus trabajos sean OA. Esta posibilidad ha dado lugar a lo que ahora se conoce como sistemas híbridos. Una de las primeras editoriales en ponerlo en marcha fue Springer que creó el programa Open Choice, surgiendo posteriormente otros, curiosamente cada uno con un nombre propio diferente, como por ejemplo el sistema online open de Blackwell Publishing o el Oxford Open, de Oxford University Press, entre otros. Las tarifas son variables entre editoriales, aunque rondan entre 2.000 y 3.000 US\$ (Tabla 2).

TABLA 2
Ejemplos de editoriales con revistas del tipo híbrido (datos año 2007)

Editorial	Programa OA híbrido	Precio/artículo	Copyright
American Chemical Society	ACS author choice	1.000-3.000 \$*	Autor
American Physical Society	Free to read	975-1.300 \$	Editorial
Blackwell Publishing	Online open	2.600 \$	Autor
BMJ Publishing Group Ltd	BMJ unlocked	3.145 \$	Editorial
Cambridge University Press	Cambridge open option	2.700 \$	Editorial
Elsevier	Sponsored article	3.000 \$	Editorial
HighWire Press	Author-side payment	500-3.500 \$	
John Wiley & Sons	Funded access	3.000 \$	Editorial
Oxford University Press	Oxford open	1.500-2.800 \$*	CC
Royal Society	EXIS open choice	370-550 \$ page	Autor
Royal Society of Chemistry	RSC open science	1.000-2.500 £*	Editorial
Springer	Open choice	3.000 \$	CC
Taylor & Francis	Open access	3.100 \$	CC
National Academy of Sciences	Open access fee	1.100 \$*	

* Depende del tipo de vínculo con la sociedad científica

Con este sistema las editoriales, cubren los requisitos de las agencias de financiación de la investigación y

no corren demasiados riesgos, pues si no se cobra por publicación se cobra por suscripción y si no se revisan

los precios, el modelo puede ser de ganancia doble. Obviamente la puesta en marcha de este tipo de programas no exige demasiado esfuerzo para las editoriales que, además, según sus declaraciones "contribuyen" a facilitar el acceso en abierto. En parte, esta opción responde a la oportunidad que las editoriales perciben de aquellas convocatorias de proyectos que incluyen en sus capítulos opciones de subvención para el pago por publicación.

El pago de las tasas para liberar estos artículos puede tener una repercusión positiva para el conjunto de la sociedad ya que implica una reducción en los precios de suscripción de las revistas (ya que parte de su proceso ha sido financiado directamente por los autores). El sistema Open Choice de Springer fue el primero en proponer una vía concreta para la reducción de los costes de suscripción lo que llevó al resto de editoriales a incorporar esta posibilidad. Este sistema se basa en que las tasas pagadas durante un año repercutirían a la baja en los precios de suscripción del año siguiente, si bien hasta el momento no hay datos objetivos que permitan afirmar que esa reducción es efectiva.

Peter Suber (2006c) hizo un resumen de aquellas preguntas que cabría hacerse en el caso de evaluar los criterios de los modelos híbridos para asegurarse al menos que efectivamente son modelos OA. Las preguntas que planteó fueron las siguientes:

1. Does the journal let participating authors retain copyright?
2. Does the journal use OA-friendly licence, like CC? Does it let authors to do so?
3. Does the journal automatically deposit participating articles in an OA repository independent of the publisher? Does it allow to do so?
4. Does the journal waive fees in cases of economic hardship?
5. Does the journal promise to reduce the subscription price in proportion to author uptake?
6. If authors have a prior obligation to their funding agency to provide OA to their peer reviewed manuscript, does the journal let them comply without choosing the new OA option and paying the associate fee?
7. If the journal previously allowed author self-archiving without embargo, does it still allow if authors who do not choose the new OA option?
8. For participating authors, do the OA publication fees cover page colour charges or are the latter laid on top of the former?
9. Is the fee high or low?

A la vista de los datos de la Tabla 2 en la que se muestran las posibilidades de retención del copyright en este tipo de sistema se deduce que no siempre el pago por publicar exime de la cesión exclusiva de derechos copyright (preguntas 1 y 2 anteriores).

3.4 Revistas basadas en el modelo de suscripción que facilitan acceso a su versión digital con o sin periodo de embargo

Esta posibilidad la ofrecen algunas revistas que siguen el sistema tradicional de suscripción y que retienen los derechos de autoría de los trabajos. Sucede tanto con revistas que se editan en papel y en la versión digital como sólo en la versión digital. Cuando una revista permite el acceso gratuito a la totalidad de sus contenidos el único aspecto que la diferencia conceptualmente de una revista OA es la relativa a los derechos de autor. Para diferenciar esto a estas revistas se les denomina free access.

En la actualidad es cada día más frecuente que las revistas liberen el acceso a parte de sus contenidos, sobre todo a los trabajos originales. Esto es, por ejemplo, lo que viene sucediendo desde 2006 en el British Medical Journal, cuando esta revista, que desde 1999 hasta 2006 había proporcionado de modo experimental acceso gratuito al texto completo, decide ofrecer sólo este acceso para algunos de sus contenidos.

Por definición, el embargo está reñido con el concepto de OA, que plantea el libre acceso de forma inmediata a las publicaciones (Harnad). Algunas editoriales sin ánimo de lucro que ofrecen acceso a los textos completos tras un periodo de embargo suscriben los Washington Principles for Free Access to Science en apoyo a la libre difusión del conocimiento. Para estas editoriales el embargo representa una solución intermedia entre el acceso abierto y el de suscripción que les garantiza la sostenibilidad de la revista mientras se comprometen a realizar una reinversión de las ganancias en actividades de promoción del conocimiento. Actualmente 102 revistas médicas han suscrito estos principios. Un recurso importante a tener en cuenta para localizar revistas que permiten el acceso parcial o total a sus textos, con o sin embargo es HighWire Press. Se trata de un servicio dependiente de una división de Stanford University Libraries que desarrolla y mantiene las versiones web de un amplio conjunto de revistas y desde cuyo portal se proporciona libre acceso a más de 1.800.000 artículos procedentes de 1.101 revistas alojadas en él.

En el caso de países con ingresos per cápita muy bajos, el libre acceso a la ciencia ha sido una reivindicación insistente como medio para poder impulsar, no sólo la investigación, sino, en el caso de la medicina, una buena práctica clínica. En el

2002, como resultado de una iniciativa de la WHO comenzó a funcionar un programa, a través del cual seis de los grandes grupos editoriales (Blackwell, Elsevier Science, the Harcourt Worldwide STM Group, Wolters Kluwer International Health and Science, Springer Verlag, and John Wiley) proporcionaban a los países de renta muy baja acceso gratuito (o a un coste muy bajo) a más de 1.000 revistas médicas

(American, 2002). Actualmente son muchas más las revistas adheridas a programas similares a éste. El coste de esta medida para las editoriales tradicionales es mínimo ya que proveer acceso gratuito en línea no aumenta los gastos y, sin embargo, sí que les reporta beneficios. En el caso de estas revistas la editorial continúa conservando el control sobre los derechos de autor.

4. Software Libre para el desarrollo de revistas electrónicas

Las iniciativas de apoyo al OA no se restringen a declaraciones o manifestaciones de apoyo al mismo sino que vienen acompañadas también de desarrollo de herramientas para facilitar la puesta en marcha de servicios que permitan la interoperabilidad entre

sistemas y permitir el alojamiento y gestión de objetos digitales, unidades de información. Con respecto a las revistas esto se ha traducido en el desarrollo programas de código abierto (open source) que permiten la creación de revistas cuyos contenidos, o al menos sus metadatos, quedan expuestos a proveedores de servicios que cumplen con el protocolo OAI-PMH (protocolo de recolección de metadatos de la Open Archives Initiative). En la Tabla 3 se encuentran algunos de ellos con sus características, para mayor información pueden consultarse sus portales cuyas direcciones se indican en la misma.

TABLA 3
Características de algunos paquetes de software libre para la creación y gestión de revistas digitales

Sistema de revista	Características
Open Journal System (OJS) http://pkp.sfu.ca Creado por el PKP (Public Knowledge Project, Univ British Columbia, Canada) en 2001	Versión actual: OJS 2.1.1 Requisitos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Linux, BSD, Solaris, Mac OS X, Windows Apache (1.3.2x o superior) o Windows Apache 2 (2.0.4x o superior) ▪ Microsoft IIS 6 (PHP 5.x mínimo) ▪ MySQL (3.23.23 o superior) o PostgreSQL (7.1 o superior) ▪ PHP (4.2.x o superior) ▪ Licencia: licencia pública general de GNU
HyperJournal http://www.hjournal.org Desarrollado por un grupo de la Univ. De Pisa y colaboradores, presentado en el año 2005	Requisitos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Linux (recomendado Debian), Mac OS X (10.2 o superior), BSD o Unix ▪ Apache (1.3 o 2.0) ▪ PHP (5 o superior) ▪ Tomcat (5 o superior) ▪ Sesame 1.1 ▪ MySQL (4.1 o superior) Requisitos del sistema para DPubS: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Solaris (9 o 10 SPARC) y Linux (Red Hat FC 4 per a x 86) ▪ Perl (5.8 o superior) ▪ Apache (1.3.x) y mod_perl (1.x) o Apache (2.x) y mod_perl (2.x) ▪ Java. Si se utiliza Lucene como motor de búsqueda. Java ▪ Runtime Environment (JRE) 1.4.2 o superior ▪ Puede utilizar Fedora o Dspace como repositorio subyacente Licencia: Educational Community License
DPubS http://dpubs.org Desarrollado por la Universidad de Cornell.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plataforma modular para e-journals, biblioteca digital y preparación de conferencias, congresos...online ▪ httpd server, Apache or Xitami. ▪ WODA Database and Web services generator. ▪ Lenguaje de programación: Perl. ▪ Licencia: Open Software License version 1.0
SOPS (SciX Open Publishing Services) http://www.scix.net/sops.htm Año 2003 Universidad de Ljubljana, Eslovenia	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plataforma modular para e-journals, biblioteca digital y preparación de conferencias, congresos...online ▪ httpd server, Apache or Xitami. ▪ WODA Database and Web services generator. ▪ Lenguaje de programación: Perl. ▪ Licencia: Open Software License version 1.0

5. Tendencias en las publicaciones OA

La transformación del mundo de las publicaciones científicas en forma digital está en un momento de auténtico cambio lo que no permite vislumbrar exactamente el horizonte pero sí sus tendencias. Estas se trazan en función de algunas iniciativas en

fase de desarrollo e ideas que se han ido forjando con la experiencia de estos últimos años, tanto del mundo editorial comercial como del académico o de sociedades científicas sin ánimo de lucro. De forma resumida, en la siguiente lista se ha pretendido reflejar algunas de estas alternativas:

- Colaboración entre editoriales y repositorios o gestores de bases de datos para depositar los archivos de las revistas o de artículos individuales (como en el caso de PubMed Central).
- Nuevas formas de publicaciones digitales (online open review, blogs y servicios RSS vinculados a artículos).
- Cambios en los hábitos de publicación y comunicación científica.
- Nuevos modelos de publicación comerciales no basados en servicios exclusivamente orientados al acceso a la información.
- Creación de repositorios nacionales centralizados donde depositar publicaciones (como el caso de eDepot).
- Interconexión entre archivos.
- Creación de consorcios para la financiación de revistas OA (por ejemplo SCOAP3, en física de altas energías).
- Nuevos servicios basados en los recursos en la Web, no sólo artículos sino hojas de datos, literatura gris, ficheros audiovisuales (Adata mining, abstracting, indexing, RSS, etc.).
- Nuevas formas bibliométricas basadas en OA.

En un artículo reciente de Paul Ginsparg (2007) en el que ofrece una visión sobre lo que en un futuro podría significar el OA su respuesta se basa en los servicios que pueden generarse a partir de los objetos digitales OA o de libre acceso a través de la web. Estos servicios deberían construirse sobre protocolos, lenguajes y estándares comunes que permitan la interoperabilidad entre sistemas, así como el uso del análisis semántico automatizado que permita establecer vínculos entre los objetos digitales.

En el informe Ithaca (University, 2007) sobre la publicación académica en la era digital se dedica un capítulo al futuro de las publicaciones científicas, con argumentos basados en cuatro puntos, los actores (profesores, investigadores, etc.), las instituciones, los formatos y los modelos económicos. Del primer grupo destaca los entornos colaborativos de trabajo a través de la Web, donde compartir trabajos, informes datos, etc., añadir y corregir información a lo previamente publicado asignando nuevas versiones a los trabajos. Estas actividades se organizarían mediante portales o depósitos digitales temáticos. Las instituciones, por otro lado deberían facilitar estas actividades, además de reconocer y recompensar las nuevas formas de publicación electrónica. En cuanto a formatos incide en el futuro de ficheros multimedia vinculados a los datos (data sets) y el diseño de la infraestructura adecuada para ello, tanto para su archivo como su preservación. Respecto a los modelos económicos, el mismo informe menciona que debe evaluarse todo el sistema de publicación de una institución y las nuevas formas basadas en las tecnologías digitales, y que si por un lado se reducen gastos en la impresión, distribución y almacenamiento hay que pensar sobre todo en el mantenimiento y preservación de los recursos digitales que se generan.

Todo esto supone una reestructuración de todo el sistema en el que deben tenerse en cuenta todos los factores que intervienen en el proceso, desde la generación de la información hasta su publicación o diseminación.

5.1 The flipping model o "el mundo al revés"

Imaginemos por un momento que las revistas invierten su modelo económico y en lugar de facilitar el acceso a sus revistas, principalmente por suscripción, lo es por publicación, que las instituciones que antes estaban suscritas para acceder a sus portales ahora lo harían porque sus autores publiquen en las mismas, sin variar el precio que pagaban por ello, esto ahora podríamos llamarlo "subvención". Si el equilibrio entre autores y lectores existe, la revista prácticamente no vería alterados sus ingresos, sólo cambiaría el concepto por el que paga la institución, de "pago por suscripción" lo sería "por publicación" es decir, invertimos la moneda pero sigue siendo la misma. Visto así, el orden existente no cambiaría, solo afectaría a aquellos autores cuya institución no fuera suscriptora y quisiera publicar en una de ellas. Sin embargo, como los ingresos de la revista no se habrían visto alterados, podría ofrecer precios muchos más bajos que los que actualmente se barajan por publicar y serían más competitivas al intentar ganar audiencia. Incluso podrían permitirse eximir del pago a los autores que por motivos económicos no pudieran hacerlo. Esta idea fue desarrollada por P. Suber (2007) cuando revisaba un artículo de Paula Hane (2003) en el que hacía una entrevista a Mark Rowse, entonces en la sección de publicaciones electrónicas de Ingenta:

Imagine a publisher that has already licensed content to all the library consortia in the U.S. The publisher could, at a stroke, say that the license will now confer rights for the academics in those institutions to submit content rather than to access content. The publisher would have successfully flipped its business model completely, to being an OA business. So I think it's possible to see a transition from where we are now to a completely OA world without fundamentally destroying the existing scholarly publishing business.

No existen casos en el que se haya aplicado este modelo, pero posiblemente para aquellas revistas, en que el equilibrio del que se ha hablado exista, sea una alternativa de futuro, el riesgo es mínimo y lectores y autores saldrían beneficiados.

En cualquier caso, éste u otros modelos que en un futuro no muy lejano se vislumbrarán en el paisaje de la industria editorial, conducen a la idea de que el cambio en el mundo de las publicaciones tiende a que las editoriales, cuyos ingresos se basan principalmente en el número de suscripciones, se transformen en empresas proveedoras de servicios y dejen de ser únicamente proveedoras de contenidos. Si esto directamente no beneficia al acceso abierto, al menos sí que forzará a que las empresas compitan entre ellas para ofrecer los mejores servicios al mejor precio (Peters, 2007).

6. Consideraciones finales

Las distintas posibilidades que se han planteado son un reflejo del ambiente de cambio en el mundo de las publicaciones científicas, en el que la reivindicación de acceso abierto ha ampliado las posibilidades de acceso a la ciencia, no solo a través de las revistas que se adhieren a este movimiento sino también a través de las posibilidades, que como reacción al mismo, están brindando las revistas editadas con el modelo editorial tradicional.

Desde el punto de vista de la supervivencia económica, la situación actual pone de manifiesto que la financiación de las revistas OA depende sobre todo de dos fuentes, una institucional, ya sea mediante el pago directo de la revista o mediante el pago de tasas y otro es la publicidad. La financiación exclusiva a partir de este tipo de fuentes puede generar cierta inquietud por tres aspectos: la independencia de la revista, el amateurismo en su gestión y su sostenibilidad.

En cuanto a la primera cuestión cabe solo comentar que el que las presiones de aquellos que financian o patrocinan una revista puedan afectar su independencia no es ni algo nuevo, ni algo que concierna solamente a las revistas OA. De hecho, este problema ha sido siempre causa de preocupación en el mundo de las publicaciones científicas, sobre todo en el campo de la biomedicina donde la presencia de los intereses de las industrias farmacéuticas no es despreciable. Sin embargo, el que el problema sea conocido no hace que estas nuevas revistas sean menos vulnerables, por lo que sus fuentes de financiación, ya sean públicas o privadas deben ser lo más transparentes posible para que su credibilidad no pueda ponerse en entredicho. En este sentido, un ejemplo de preservación de esta imparcialidad es la política antes comentada de la revista *Open medicine* que sistemáticamente rechaza como patrocinador a la industria farmacéutica.

Otro aspecto que cabe mencionar es el del amateurismo. Por todos es sabido que muchas revistas científicas son lo que son y han llegado a un punto de consolidación gracias al trabajo voluntario y no remunerado que han realizado un grupo de entusiastas. El riesgo de este tipo de revista es que una vez desaparecido su núcleo impulsor, que dedica a la misma todo su tiempo disponible, la revista decaiga o desaparezca. Las revistas OA cuentan con herramientas gratuitas como OJS o Dpubs ya mencionadas que pueden agilizar mucho el proceso editorial, tanto la gestión de manuscritos como la maquetación, edición y difusión. Pero para que la revista funcione, además se debe contar con financiación a largo plazo para poder profesionalizar o responsabilizar a aquellos que deban realizar determinadas tareas. La financiación pública no puede significar que la revista se sustente solo en el voluntariado, sino que debe cubrir una serie de gastos inherentes a la edición, bien de forma directa o en forma de dedicación del personal de la institución.

Por último, otro aspecto a considerar, dada aún la corta trayectoria de las revistas OA, es el de su sostenibilidad. Con relación a esto Kaufman (2005) puso en evidencia que más del 40% de las revistas OA todavía no estaban cubriendo sus costes y, que a diferencia de las de suscripción, no hay ninguna razón por la que el paso del tiempo se pueda reflejar en un aumento en el número de artículos enviados, ni en su calidad o impacto. La cuestión que se plantea, sin embargo, es que con estos o con otros modelos económicos la situación de acceso a los resultados de las investigaciones debe cambiar respecto de la que hemos tenido en los últimos veinte años del siglo XX.

Así, la cuestión es que aunque OA reivindica el acceso gratuito todos somos conscientes que la edición de las revistas científicas genera unos gastos que deben ser pagados y que para el mantenimiento de su nivel de calidad y de actividad es necesario un nivel de dedicación y profesionalización que debe ser retribuido. La cuestión es seguir buscando modelos de financiación en los que se pague un precio más justo por el producto recibido. Bien adoptando, cuando sea posible, modelos de financiación pública, donde la administración cierra, con el mantenimiento de la revista, su inversión en investigación, o bien adoptando modelos como el de pago por autor (author side fee models) o cualquier otro sistema que en un futuro se proponga.

Está claro que hasta el momento no puede afirmarse que los modelos de financiación propuestos estén consolidados ni que garanticen su sostenibilidad. Lo que sí puede afirmarse es que no han dejado indiferente a la industria editorial, tanto al sector comercial que ve en el acceso abierto una amenaza a la situación de monopolio detentada en este momento y que se ve obligada a replantear su posición en el mercado, como al sector sin ánimo de lucro, representado sobre todo por las sociedades científicas para las que la revista es parte del atractivo para la captación de nuevos socios y para las que los beneficios obtenidos de su "comercialización" les permite financiar otras actividades formativas o de divulgación (Willinsky, 2003). Para ambos sectores el acceso abierto puede verse como una amenaza para el mantenimiento actual de su status, y también como un acicate para la búsqueda de otros productos que presten valor adicional a las revistas o incluso para un planteamiento de la evolución que deben seguir los espacios dedicados a la provisión de información científica en un futuro próximo.


La industria editorial es económicamente muy poderosa, algo de lo que las administraciones son muy conscientes y parece que no quieren, al menos por ahora, entrar en un conflicto directo de intereses. Sin embargo, la vía dorada y la vía verde, mencionadas en la Declaración de Budapest, son complementarias y no deben verse como algo distinto ni de recorrido paralelo sino como caminos confluentes en un mismo objetivo (Guedon, 2004). En este sentido la vía

dorada ofrece una interesante oportunidad, no sólo para lograr el acceso abierto sino para introducir una variable que ayude a regular un mercado editorial que en lo económico parece haber perdido el objetivo que

dio lugar a su creación: el lograr instrumentar una herramienta que permita la libre difusión y acceso a la ciencia.

REFERENCIAS

1. American Association of University Professors (2002). Developing countries get free access to journals. <http://findarticles.com/p/articles/mi_qa3860/is_200201/ai_n9047989> [Accessed: 15/04/2008].
2. Anderson, M. (2005). Welcome trust announces open access plans. http://www.wellcome.ac.uk/doc_wtx025191.html [Accessed: 15/04/2008].
3. ARL (2007). Monograph and serial expenditures in ARL libraries (1986-2006). <<http://www.arl.org/stats/annualsurveys/arlstats/arlstats06.shtml>> [Accessed: 15/04/2008].
4. Berlin declaration on open access to knowledge in the sciences and humanities. <<http://www.zim.mpg.de/openaccess-berlin/berlindeclaration.html>> [Accessed: 15/04/2008].
5. Bethesda statement on open access publishing. <<http://www.earlham.edu/~peters/fos/bethesda.htm>> [Accessed: 15/04/2008].
6. Budapest open access initiative (2002). <<http://www.soros.org/openaccess>> [Accessed: 15/04/2008].
7. Butler, D. (2006). "Open-access journal hits rocky times". *Nature*, Vol. 441, No. 914. <http://www.nature.com/nature/journal/v441/n7096/full/441914a.html;jsessionid=BF> [Accessed: 15/04/2008].
8. Ginsparg, P. (2007). "Next-generation implications of open access". *CTWatch quarterly*, August. <<http://www.ctwatch.org/quarterly/articles/2007/08/next-generation-implications-of-open-access>> [Accessed: 15/04/2008].
9. Guedon, J. C. (2004). "The 'green' and 'gold' roads to open access: the case for mixing and matching". *Serials review*, Vol. 30, No. 4, p. 315-328.
10. Hane, P. (2003). "Stable and poised for growth". *Information today*, December. <<http://www.infoday.com/it/nov03/hane2.shtml>> [Accessed: 15/04/2008].
11. Harnad, S. The green road to open access: a leveraged transition. <<http://users.ecs.soton.ac.uk/harnad/Temp/greenroad.html>> [Accessed: 15/04/2008].
12. Harrison, T. M.; Stephen, T.; Winter, J. (1991). "Online journals: disciplinary designs for electronic scholarship". *The public-access computer systems review*, Vol. 2, No. 1, p. 25-38. <<http://eprint.lib.uh.edu/pr/v2/n1/harrison.2n1>> [Accessed: 15/04/2008].
13. Haschack, P. G. (2007). "The 'platinum route' to open access. A case study of E-JASL: The Electronic journal of academic and special librarianship". *Information research*, Vol. 12, No. 4. <<http://informationr.net/ir/12-4/paper321.html>> [Accessed: 15/04/2008].
14. Hernández Borges, A. A.; Cabrera Rodríguez, R.; Montesdeoca Melian, A.; Martínez Pineda, B.; Torres Álvarez de Aracaya, M. L.; Jiménez Sosa, A. (2006). "Awareness and attitude of Spanish medical authors to OA publishing and the 'author pays' model". *Journal of the Medical Library Association*, Vol. 94, No. 4, p. 449-451.
15. Houston, J. (2005). Scholarly communication in a knowledge-based economy. <<http://adt.caul.edu.au/etd2005/papers/115Houghton.pdf>> [Accessed: 15/04/2008].
16. Ithaca (2007). "What the world looks like today and where it is headed: the future of scholarly communications". In: *University publishing in a digital age: trends from Ithaca report*. <<http://scholarlypublishing.org/ithakareport/archives/15>> [Accessed: 15/04/2008].
17. Izquierdo, S. S.; Izquierdo, L. R.; Izquierdo, J. M. (2007). *Journal of the Medical Library Association*. Neurocirugía, No. 18, p. 193-200.
18. Kaufman - Wills Group (2005). The facts about open access: a study of the financial and non-financial effects of alternative business models for alternatively for scholarly journals. Association of Learned and Professional Society Publishers.
19. National Institutes of Health (2005). Policy on enhancing public access to archived publications resulting from NIH-funded research. <<http://grants.nih.gov/grants/guide/notice-files/NOT-OD-05-022.html>> [Accessed: 15/04/2008].
20. Peters, P. (2007). "Redefining scholarly publishing as a service industry". *Journal of electronic publishing*, vol. 10, no. 3. <<http://hdl.handle.net/2027/spo.3336451.0010.309>> [Accessed: 15/04/2008].
21. Regazzi, J. (2004). "The shifting sands of open access publishing: a publisher's view". *Serials review*, Vol. 30, No. 4, p. 275-280.
22. Research Council (2005). RCUK position statement on access to research outputs. <<http://www.rcuk.ac.uk/access/statement.pdf>> [Accessed: 15/04/2008].
23. Schroter, S.; Tite, L. (2006). "Open access publishing and author-pays business models: a survey of authors' knowledge and perceptions". *Journal of the Royal Society of Medicine*, No. 99, p. 141-148.
24. Stein, M. D.; Rubenstein, L.; Wachtel, T. J. (1993). "Who pays for published research?" *JAMA*, Vol. 10, No. 269 (6), p. 781-782.
25. Suber, P. (2006a). Author pay model in open access publishing. http://p2pfoundation.net/Author_Pay_Model_in_Open_Access_Publishing [Accessed: 15/04/2008].
26. Suber, P. (2006b). Lists related to the open access movement. <<http://www.earlham.edu/~peters/fos/lists.htm>> [Accessed: 15/04/2008].
27. Suber, P. (2006c). "Nine questions for hybrid journal programs". *SPARC open access newsletter*, issue 101, September 2. <<http://www.earlham.edu/~peters/fos/newsletter/09-02-06.htm>> [Accessed: 15/04/2008].

28. Suber, P. (2006d). Open access overview. <<http://www.earlham.edu/~peters/fos/overview.htm>> [Accessed: 15/04/2008].
29. Suber, P. (2007). "Flipping a journal to open access". SPARC open access newsletter. <<http://www.earlham.edu/~peters/fos/newsletter/10-0207.htm>> [Accessed: 15/04/2008].
30. Swan, A.; Brown, S. (2004). "Authors and OA publishing". *Learned publishing*, Vol. 17, No. 3, p. 219-224.
31. Willinsky, J. (2003). "Scholarly associations and the economic viability of open access publishing". *Journal of digital information*, Vol. 4, No. 2. <<http://jodi.tamu.edu/Articles/v04/i02/Willinsky>> [Accessed: 15/04/2008]. 

Experimentation in Discrete Mathematics Learning Processes

Experiências no Processo de Formação em Matemática Discreta

La Experimentación en los Procesos Formativos en Matemática Discreta

Michael Dogerty

University of Exeter
mdogerty@exeter.ac.uk

(Artículo de REFLEXIÓN. Recibido el 10/01/2011. Aprobado el 15/04/2011)

Abstract

The discrete mathematics is essential for computer scientists and engineers, especially software engineers, is not only an obligatory course, but also develops the capacity of reason and think in a mathematical and logical way. A discrete mathematics course focuses on the correctness, the logic and the algorithms; and the most of students find difficulties to learn their concepts and notations. In this work is discussing a fundamental reform to way how the courses of discrete mathematics are taught: add the experimentation, with the objective to improve the quality of educational processes in this area. Special attention is paid to the content of the experiments and the way they are taught. By contrast the formation processes in discrete mathematics without experiments, is possible to conclude that the proposed method with experimentation can integrate the theory and the program into one, and improve the understanding of discrete mathematics by students.

Resumo

A matemática discreta é essencial para cientistas e engenheiros informáticos, nomeadamente de software, não só é um curso obrigatório, mas também desenvolve a capacidade de raciocinar e pensar matematicamente e logicamente. Um curso de matemática discreta incide sobre a exactidão lógica e algoritmos, ea maioria dos alunos têm dificuldade em aprender os conceitos e notações. Este artigo discute uma reforma fundamental na forma como são ministrados cursos de matemática discreta: a adição do experimento, com o objectivo de melhorar a qualidade dos processos educativos na área. É dada especial atenção ao conteúdo das experiências e do modo de ensinar. Por outro lado os processos de formação em matemática discreta, sem experiências, concluiu-se que o método proposto com a experimentação pode integrar teoria e programa em um, e melhorar a compreensão da matemática discreta pelos alunos.

Resumen

La matemática discreta es esencial para los científicos computacionales y para los ingenieros, especialmente los de software; no sólo se trata de un curso obligatorio, sino que también desarrolla la capacidad de razonar y pensar de forma matemática y lógica. Un curso de matemáticas discretas se centra en la correctitud, la lógica y los algoritmos; y la mayoría de estudiantes encuentran dificultades para aprender sus conceptos y notaciones. En este trabajo se discute una reforma fundamental a la forma en que se imparten los cursos de matemáticas discretas: añadir la experimentación, con el objetivo de mejorar la calidad de los procesos formativos en esta área. Se presta especial atención al contenido de los experimentos y a la forma como se imparten. Al contrastar los procesos formativos en matemática discreta sin experimentos, es posible concluir que el método propuesto con experimentación puede integrar la teoría y el programa en uno solo, y mejorar la comprensión de las matemáticas discretas por parte de los estudiantes.

Keywords: *Discrete mathematics, learning process, educational reform, experimentation.*

Palavras-chave: *matemática discreta, processo de aprendizagem, reforma educação, experimentação.*

Palabras clave: *Matemáticas discretas, proceso formativo, reforma educativa, experimentación.*

1. Introducción

La Matemática discreta es una poderosa herramienta para pensar y razonar. Es la rama de las matemáticas que se ocupa de objetos que pueden asumir solamente valores distintos y separados. Por lo que el término "matemática discreta" se utiliza en contraste con "matemática continua", que es la rama de las matemáticas que se ocupa de objetos que pueden variar sin problemas –y que incluye, por ejemplo, al cálculo. Mientras que los objetos discretos se caracterizan a menudo por números enteros, los objetos continuos requieren números reales [1], [2]. La matemática discreta ha evolucionado a medida que los computadores evolucionaron. Es la clase de matemáticas que se necesita para poderse comunicar con un con un computador, ya sea como diseñador, desarrollador o usuario. Por otro lado, es necesario que todos los estudiantes, independientemente de la

carrera que elijan, reciban alguna instrucción en matemáticas discretas para que puedan oficiar como ciudadanos informados en una sociedad cada vez más tecnológica. Los conceptos y notaciones de las matemáticas discretas son útiles para estudiar o expresar objetos o problemas en algoritmos computacionales y lenguajes de programación. En algunos planes de estudio de matemáticas, los cursos de matemáticas finitas cubren conceptos de matemáticas discretas para los negocios, mientras que los cursos de matemática discreta hacen hincapié en los conceptos para especialistas en ciencias computacionales. Como estas razones, las matemáticas discretas se han popularizado en las últimas décadas debido a sus aplicaciones en las ciencias computacionales, y como tal, su importancia se ha incrementado dramáticamente [3].

De hecho, las matemáticas discretas les ofrecen a muchos estudiantes una nueva oportunidad para experimentar el éxito y el gozo de las asesorías de matemáticas. Aquellos que en el pasado han encontrado numerosas dificultades con el cálculo y la complejidad de las matemáticas pueden encontrar atractivos los problemas de las matemáticas discretas, ya que requieren pocas destrezas formales. Otros estudiantes que han sido desalentados por los aspectos rutinarios de la formación en matemáticas, se pueden sentir entusiasmados y desafiados por los muchos e interesantes problemas que son típicos de las matemáticas discretas.

Sin embargo, se observa que los estudiantes encuentran a las matemáticas discretas rigurosas y exigentes. Las matemáticas discretas necesitan razonamiento y lógica, y algunos estudiantes enfrentan grandes dificultades en la aplicación de ambos. Muchos maestros han hecho grandes esfuerzos con el fin de hacer más simples y más comprensibles los procesos formativos de las matemáticas discretas; pero la mayoría de maestros de matemáticas y de estudiantes sólo hacen énfasis en la formación teórica. De acuerdo con una revisión sistemática a los procesos formativos en matemáticas discretas en Colombia, todavía no existe una tendencia para utilizar la experimentación como estrategia formativa en esta área. Y la consecuencia inmediata de esto es que muchos estudiantes se aburren con estos planes de estudios teóricos, con los que se restringe su habilidad para solucionar problemas y sus innovaciones creativas. A los estudiantes que se forman en matemáticas discretas de forma tradicional les resulta más difícil aprender la mayoría de los conceptos. A menudo toman los problemas de las tareas como asignaciones rutinarias, y realizan las evaluaciones sólo para confirmar sus competencias [4].

Por otra parte, los matemáticos y maestros de matemáticas a menudo se quejan de que en los procesos formativos de las matemáticas discretas el modelo es monótono y sin pasión. Con base en estas razones, estamos particularmente interesados en incrementar los resultados de estos cursos mediante la adición de experimentos en los procesos formativos de las matemáticas discretas.

El resto del documento está estructurado de la siguiente manera: en la sección II, se hace una introducción a los objetivos de la formación en matemáticas discretas; en la sección III, se proponen los contenidos básicos de los experimentos en matemáticas discretas; y en la sección IV, se detalla la forma de realizar y evaluar los experimentos, y finalmente se extraen algunas conclusiones.

2. Objetivos formativos de la matemática discreta

Algunos matemáticos y maestros de matemáticas siguen defendiendo el lugar de las matemáticas discretas en el currículo, y en muchas universidades

se argumenta la importancia de la formación y el aprendizaje de las matemáticas discretas. Maurer [1] señala algunos de los objetivos que se han defendido como razones para formar en matemáticas discretas:

- Para introducir las pruebas y la abstracción
- Para introducir los algoritmos y la recursividad
- Para enfatizar las aplicaciones
- Para introducir el modelado
- Para introducir la investigación de operaciones
- Para atraer a más estudiantes a las ciencias matemáticas
- Para introducir los computadores en las matemáticas
- Para dar a los estudiantes algo fresco y relevante
- Para dar a los estudiantes la oportunidad de ser creativos y para que investiguen
- Para introducir áreas importantes y activas de las matemáticas
- Para promover las matemáticas experimentales
- Para promover el aprendizaje cooperativo y otros enfoques nuevos al aula
- Para enseñar a los estudiantes a pensar.

De otro lado, DeBellis & Rosenstein [2] afirman que las matemáticas discretas se ofrecen para atraer personas a las actividades matemáticas; para plantear preguntas interesantes que sean fácilmente comprensibles y que se presten para la experimentación; para cambiar los puntos de vista de los matemáticos y la forma en que asesoran; para hacer las matemáticas relevantes; para proporcionarles a los maestros ideas matemáticas interesantes e importantes y estrategias que puedan utilizar para fortalecer el razonamiento y las habilidades para resolver problemas; y para apelar al estilo de aprendizaje de muchos maestros de escuelas primarias debido a su particular visión del asunto.

3. Contenidos básicos de los experimentos en matemática discreta

Usualmente las matemáticas discretas incluyen:

1. Lógica: un estudio del razonamiento
2. Teoría de conjuntos: un estudio de las colecciones de elementos
3. Sistemas algebraicos
4. Teoría de grafos

De acuerdo con el contenido y el objeto de la formación, y la necesidad de cultivar la habilidad para resolver problemas prácticos, hemos diseñado seis experimentos, que requieren que los estudiantes programen en algún lenguaje de programación. Los experimentos tienen tres niveles en la práctica docente. El primer nivel es el tema básico, que todos los estudiantes necesitan para realizarlo. El segundo y tercer nivel del experimento son opcionales de acuerdo con la capacidad propia del estudiante.

3.1 Experimentos en Lógica

La lógica proposicional y la lógica de predicados constituyen la Lógica en las matemáticas discretas. En

Lógica, las tablas de verdad es un concepto importante, que se puede utilizar para resolver todo tipo de problemas [5]. Por ejemplo, los tipos de fórmula de la lógica proposicional, principales formas normales conjuntiva y disyuntiva, y el criterio de ecuaciones equivalentes. El objeto principal de los experimentos de esta unidad es la captura del valor de verdad de la tabla de verdad, y comprender las formas y los medios de resolver la tabla de verdad.

Los experimentos en lógica incluyen:

1. Buscar una tabla de verdad para una fórmula de lógica proposicional arbitraria
2. Buscar una forma normal conjuntiva y disyuntiva principal de una fórmula lógica proposicional
3. Razonar utilizando la tabla de verdad.

3.2 Experimentos en Teoría de conjuntos

La Teoría de conjuntos es la base de las matemáticas, que es una parte indispensable de las ciencias computacionales. Es ampliamente utilizada en las estructuras de datos, la teoría de bases de datos, la teoría de conmutación de señales, la teoría de autómatas y otros dominios; y las reglas de operación, lo más elevado de relaciones y funciones, son el contenido principal de la Teoría de conjuntos. El objeto principal de los experimentos en esta unidad es entender el conjunto, la relación y la función, y comprender sus propiedades.

Los experimentos en Teoría de conjuntos incluyen:

1. Buscar la intersección, la unión y la diferencia de conjuntos entre dos conjuntos fijados arbitrariamente
2. Buscar el conjunto potencia de un conjunto arbitrario
3. Buscar todos los sub-conjuntos de un conjunto arbitrario
4. Buscar la permutación completa de algunos elementos
5. Evaluar la propiedad de una relación: reflexividad, simetría, transitividad y equivalencia. Si una relación es la relación equivalente, entonces, buscar su clase de equivalencia
6. Evaluar una función desde una relación y evaluar la inyección y el mapa subjetivo.

3.3 Experimentos en Sistemas algebraicos

Un sistema algebraico lo constituye un conjunto no vacío y algunas operaciones. El método de investigación y el resultado puede construir el modelo matemático calculable y la complejidad del cálculo. El objeto principal de los experimentos de esta unidad es encontrar el verdadero significado del sistema algebraico, el mini-grupo, el super-grupo y el grupo.

Los experimentos en Sistemas algebraicos incluyen:

1. Evaluar la constitución de un sistema algebraico dado un conjunto y una operación binaria
2. Evaluar el mini-grupo, el super-grupo y el grupo con base en 1.

3.4 Experimentos en Teoría de grafos

La teoría de grafos es una sub-rama interesante y ampliamente utilizada de las matemáticas, que se refiere a los objetos discretos como objeto de investigación. Puede ser utilizada en teoría de redes, teoría de la información y las ciencias computacionales. El objeto principal de los experimentos en esta unidad es comprender el concepto básico de la Teoría de grafos, entender la representación de los gráficos en el computador, y resolver algunos problemas prácticos con los gráficos.

Los experimentos en Teoría de grafos incluyen:

1. Buscar la matriz de accesibilidad de un gráfico
2. Buscar todos los sub-grafos principales de un grafo dirigido
3. Buscar todos los sub-grafos de un solo sentido de un grafo dirigido
4. Buscar el conjunto de nodos finales de un gráfico
5. Buscar el conjunto de aristas finales de un gráfico
6. Buscar el encuadre perfecto de un grafo bipartito
7. Buscar el camino más corto desde un punto de origen a otro punto
8. Buscar una ruta crítica en un gráfico
9. Buscar un árbol de expansión mínima de un gráfico [6]
10. Buscar el código Huffman [7].

4. Implementación del método

En la práctica, los estudiantes se dividen en varios grupos y eligen un líder. Luego, discuten el tema propuesto por el maestro. El maestro debe guiar a los estudiantes para resolver el problema. A continuación se ilustra la implementación utilizando la tabla de verdad como ejemplo.

Paso 1: Presentación de las preguntas

Las Tablas de verdad es un concepto importante en la lógica, mediante el cual se puede resolver casi todas las preguntas. Entonces, ¿cómo se obtiene la tabla de verdad de una fórmula arbitraria?

Paso 2: Definir el problema

La clave para buscar la tabla de verdad incluye: 1) definir cada valor asignado de variables, 2) calcular el valor en función del valor asignado. Para este tipo de problemas el maestro debe incentivar al alumno a proponer su propia opinión para buscar la solución perfecta.

Paso 3: Intercambio entre grupos

El maestro puede sugerir el método apropiado para este intercambio. Para el punto 1 del paso anterior, el valor asignado a las variables de verdad sigue estas reglas: 0 y 1 aparecen alternativamente en cada columna. Entonces es fácil de programar por los estudiantes. Se pueden utilizar operadores lógicos en un lenguaje de programación avanzado para resolver el punto 2. Por ejemplo, el "no" lógico not (!), el "y" lógico and (&&) y el "o" lógico or (||) pueden corresponder exactamente a los operadores lógicos not (\neg), conjunción (\wedge) y disyunción (\vee). Y la prioridad también es coherente entre sí.

Paso 4: Implementación con un lenguaje de programación

Podemos elegir cualquier lenguaje de programación familiar para implementar el anterior programa.

Paso 5: Verificación

Es posible verificar la correctitud del programa de acuerdo con los valores de entrada asignados.

Paso 6: Continuidad

Una de las características más importantes de esta propuesta es la posibilidad de alentar a los estudiantes para que continúen y desarrollen el pensamiento científico de razonamiento lógico y abstracto.

5. Evaluación del experimento

En los experimentos formativos de matemática discreta, es importante establecer un sistema y un mecanismo de evaluación. Para este ejercicio se propone el siguiente sistema de evaluación.

1. Preparación del experimento. Puntuación máxima: comprender los objetivos, demandas y principios básicos; en otra circunstancia, se puede valorar de acuerdo con el logro.
2. Práctica de programación. Puntuación máxima: el programa y el resultado son correctos; puntuación media: el programa o el resultado son incorrectos; o si el resultado del programa es cero.
3. Registro de los experimentos. Puntuación máxima: se lleva un registro de todos los experimentos; puntuación media: sólo se registra lo más importante de cada experimento.
4. Reporte de los experimentos. Puntuación máxima: el formato y el contenido son correctos; puntuación media: el formato o el contenido son incorrectos.

REFERENCIAS

1. S. Maurer. What is discrete mathematics? The many answers. In J. Rosenstein, D. Franzblau, & F. Roberts, (Eds.), *Discrete Mathematics in the Schools*, DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, Vol. 36, pp. 118-132. 1997.
2. V. DeBellis & J. G. Rosenstein. Discrete Mathematics in Primary and Secondary Schools in the United States. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, Vol. 36, No. 2, pp. 46-55. 2004.
3. V. L. Almstrum, P. B. Henderson, V. Harvey, C. Heeren, W. Marion, C. Riedesel, L. Soh & A. E. Tew. Concept inventories in computer science for the topic discrete mathematics. *The 11th Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education, ITICSE'06*. Bologna, Italy. June 26-28, 2006.
4. S. F. Buchel. Increased Student Participation in a Discrete Mathematics Course. *Journal of Computing Sciences in Colleges*. Vol. 20, No. 4, pp. 68-76. April 2005.
5. V. Shanmugasundaram, P. Juell & C. Hill. Knowledge Building Using Visualizations. *The 11th Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education, ITICSE'06*. Bologna, Italy. June 26-28, 2006, Visualizations web site. 2006.
6. K. Kasmarik & J. Thurbon. Experimental Evaluation of a Program Visualization Tool for Use in Computer Science Education. *Australasian Symposium on Information Visualization*. Adelaide, Australia, pp.111-116. 2003.
7. J. W. McGuffee. The Discrete Mathematics Enhancement Project. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, Vol. 17, No. 5, pp. 162-166. April 2002. [Ω](#)

5. Evaluación parcial. Puntuación = (puntuación práctica de programación + puntuación registro experimento + puntuación registro experimento + puntuación registro experimento)/4.

6. Evaluación final:

$$Evaluación\ final = \sum_{i=1}^n (Puntuación_i * k)$$

k es el coeficiente, lo puede determinar el maestro, y la valoración final se extrae de la Tabla 1.

TABLA 1
Relación entre puntuación y valoración

Puntuación	Valoración
90-100	Excelente
80-89	Sobresaliente
70-79	Bueno
60-69	Aceptable
50-59	Insuficiente
Menor a 50	Deficiente

Además, es posible comprobar el reporte del experimento a través del servidor FTP.

6. Conclusiones

La matemática discreta es la matemática más esencial, emocionante y útil que se pueda incluir en los procesos formativos.

La conclusión general es que el objetivo base de reformar: primero los objetivos, luego el proceso formativo, y finalmente la evaluación, es de hecho una forma viable para desarrollar eficientemente la práctica de formar en matemáticas. Al adicionar experimentos a los procesos formativos en matemáticas discretas, es posible integrar la teoría y el programa en una sola, que mejoran la comprensión de estas matemáticas.

Development of Computational Thinking in Discrete Mathematics Training

Desenvolvimento do Pensamento Computacional em la Formação em Matemática Discreta

Desarrollo del Pensamiento Computacional en la Formación en Matemática Discreta

Augusto Flores P.

Politécnico Internacional
augustoflores@politecnico.cr

(Artículo de REFLEXIÓN. Recibido el 11/02/2011. Aprobado el 28/04/2011)

Abstract

This document regards to the development of computational thinking in the formation in discrete mathematics. In the first place, details four main components of computational thinking: abstract thought, logical thought, modeling thought and constructive thought. In the second place, is describing part of the content of discrete mathematics that has close relationship with the computational thinking, through a correspondent example of application. Finally, is make a mapping of knowledge units of discrete mathematics with details of the correspondent computational thinking.

Keywords: Discrete Mathematics, computational thinking, training in mathematics, unit of knowledge, constructive thinking.

Resumo

Este documento refere-se ao desenvolvimento do pensamento computacional na formação em matemática discreta. Primeiro, detalhada quatro componentes principais do pensamento computacional, pensamento abstrato, raciocínio lógico, *pensamento*, modelagem e pensamento construtivo. Em segundo lugar, descreve alguns dos conteúdos de matemática discreta, que está intimamente relacionado com o pensamento computacional, através de uma aplicação exemplo. Finalmente, existe um mapeamento de unidades de conhecimento de matemática discreta com detalhes do pensamento correspondente computacional.

Palavras-chave: Matemática discreta, *pensando* computacionais, formação matemática, unidade de conhecimento, pensamento construtivo.

Resumen

Este documento se refiere al desarrollo del pensamiento computacional en la formación en matemáticas discretas. En primer lugar, se detallan cuatro componentes principales del pensamiento computacional: pensamiento abstracto, pensamiento lógico, pensamiento modelado y pensamiento constructivo. En segundo lugar, se describe parte del contenido de las matemáticas discretas, que tiene estrecha relación con el pensamiento computacional, a través de un ejemplo de aplicación correspondiente. Por último, se hace un mapeo de las unidades de conocimiento de las matemáticas discretas con los detalles subsecuentes del pensamiento computacional.

Palabras clave: Matemática discreta, pensamiento computacional, formación matemática, unidad de conocimiento, pensamiento constructivo.

1. Introducción

La matemática discreta es una rama de la matemática aplicada que se ocupa de los arreglos de objetos discretos que están separados unos de otros, tales como números enteros, números reales, proposiciones, conjuntos, relaciones, funciones y grafos [1]. Tiene muchas aplicaciones en las ciencias computacionales y la ingeniería del software, por ejemplo, cómo buscar información útil para un ingeniero, cómo describir la estructura estática y el comportamiento dinámico de un sistema de software, y cómo verificar una especificación de software mediante declaraciones lógicas, entre otras. Con el fin de que el maestro logre los objetivos de formación en matemáticas discretas, y específicamente para los estudiantes que se especializan en informática, en este trabajo se presenta una idea para introducir el "pensamiento computacional" en los procesos formativos de las matemáticas discretas.

El término "pensamiento computacional" ha sido acuñado para describir la forma como piensa un

científico computacional [2]. El pensamiento computacional se ha convertido en una habilidad fundamental, clasificado junto a la lectura, la escritura y la aritmética, que se pueden encontrar en todas las temáticas [3]. En el caso de los sistemas biológicos, significa la habilidad para reunir las múltiples abstracciones que la biología molecular ha acumulado. En las ciencias computacionales, puede ayudar a las personas a comprender y construir un sistema informático para resolver un determinado problema.

En este trabajo, se introduce "el pensamiento computacional" en la formación en matemática discreta. En la sección II, se describe brevemente la aplicación de las matemáticas discretas y el pensamiento computacional; en la sección III, se ilustra en detalle el contenido del pensamiento computacional, y se da una definición para la matemática discreta; en la sección IV, se presenta el contenido del currículo de matemáticas discretas, diseñado por ACM/IEEE Computing Curricula 2005 [4].

En la sección V, se entregan un mapeo de la Matemática Discreta para el Pensamiento Computacional.

2. Contenido del pensamiento computacional

2.1 Pensamiento abstracto

El pensamiento abstracto es fundamental en la informática y la tecnología para comprender el cuerpo principal del problema de los computadores. Pensar en abstracto es una interesante heurística de propósito muy general que puede ayudar a enfrentar la solución de un problema. Informalmente, el pensamiento abstracto se puede considerar como el mapeo de una representación base para una nueva pero más simple representación [5]. La representación abstracta es más sencilla porque el mapeo por lo general ofrece detalles pero conserva ciertas propiedades deseables, y traduce el problema viejo en un problema nuevo que puede resolverse con nuestro conocimiento [6].

Definición 1. Sistema formal: Un sistema formal Σ es una tripleta (L, Ω, Δ) , en la que L es el lenguaje del dominio especificado, Ω es el conjunto de axiomas acerca de las reglas utilizadas, y Δ es el mecanismo deductivo de Σ .

Por lo general, un lenguaje es definido por el alfabeto, y es un conjunto de términos bien formados y el conjunto de fórmulas bien formadas que pueden construir el lenguaje de dominio. Los axiomas son las fórmulas de base bien formadas, es decir $\Omega \subseteq L$. El mecanismo deductivo es el conjunto de reglas de inferencia que puedan inducir nuevos teoremas desde los ya existentes.

Definición 2. Abstracción: Una abstracción es una tripleta, $A = (\Sigma_1, \Sigma_2, f)$, en la que Σ_1 y Σ_2 son un sistema formal, y f es una función que mapea el lenguaje de Σ_1 en el de Σ_2 .

Definición 3. Pensamiento abstracto: El pensamiento abstracto es un método de pensamiento que resuelve un nuevo problema mediante abstracción, y que traduce el problema fuente $\ell_1 \in \Sigma_1$ en un problema fuente $\ell_2 = f(\ell_1 \in \Sigma_2)$, y luego utiliza algunos axiomas y el mecanismo deductivo de Σ_2 para resolver ℓ_2 .

2.2 Pensamiento lógico

El pensamiento lógico es el proceso en el que se utiliza la consistencia de razonamiento para llegar a una conclusión. Algunos problemas o estados de computador –situaciones– que involucran al pensamiento lógico siempre invocan la estructura matemática, para las relaciones entre algunas hipótesis y las declaraciones dadas, y para la secuencia de razonamiento que hace alguna conclusión más razonable.

El núcleo y la base de todo pensamiento lógico es el pensamiento secuencial que organiza una serie de

declaraciones en una cadena, en la que el primer elemento representa la conclusión anterior; el proceso de pensamiento secuencial consiste en tomar algunas declaraciones en una progresión como una cadena que adquiere un significado en y de la misma. Pensar lógicamente es construir paso a paso algunos enfoques.

Se ha demostrado que la formación lógica de la matemática discreta puede hacer más inteligentes y meticulosos a los estudiantes de computación. Un estudiante que tiene la capacidad de pensar lógicamente no concibe las respuestas rápidas para algunos problemas computacionales, tal como "es demasiado difícil", o "no sé". Por el contrario, aplicará el pensamiento lógico para profundizar en el problema propuesto y comprender mejor el método y llegar a una solución. El pensamiento lógico no es un proceso mágico o una cuestión de herencia genética, sino un sabio proceso mental que se imparte en el proceso formativo en matemáticas discretas.

2.3 Pensamiento modelado

Este pensamiento, en el uso técnico del término, se refiere a la traducción de objetos o fenómenos del mundo real en ecuaciones matemáticas, y/o relaciones computacionales. Consiste en seleccionar una representación apropiada o modelar los aspectos relevantes de un problema para hacerlo manejable. El modelado computacional es la representación de objetos reales en un computador. Un problema que será resuelto utilizando el computador debe ser modelado mediante un modelo de software correspondiente.

El modelado computacional es un método matemático y computacional para resolver problemas del mundo real. En virtud del pensamiento modelado, los estudiantes pueden experimentar procesos de resolución de problemas. Además, pueden aprender cómo identificar un problema, construir o seleccionar modelos apropiados, averiguar qué datos deben recopilar, probar la validez de un modelo, calcular soluciones e implementar el modelo. Con el fin de promover la creatividad de los estudiantes y demostrar el vínculo entre la informática teórica y las aplicaciones del mundo real, es necesario enfatizar en la construcción de modelos. Los modelos computacionales pueden proporcionar explicaciones que soporten múltiples perspectivas, que van desde el nivel conceptual, al nivel lógico y finalmente a nivel físico; todos estos niveles puede saciar la sed de cualquiera por conocimiento.

2.4 Pensamiento constructivo

La meta de la teoría es lograr la práctica en la realidad. Así que resolver algunos problemas –como la realización aritmética, la organización de datos, la representación gráfica de la información, jugar ajedrez con otra persona– es una habilidad importante. El pensamiento constructivo puede ayudar a resolver estos problemas mediante

algoritmos y programas; muchos programas interesantes y útiles requieren un mayor esfuerzo, y desarrollar algunos ejercicios algorítmicos en matemáticas discretas.

Los computadores trabajan con algoritmos. Un algoritmo es un proceso mecánico paso a paso sin ambigüedades que no requiere de agudeza o ingenio para llevarlo a cabo. Tal es el caso de alguien a quien le gustan las recetas culinarias, la elaboración de una buena receta puede ser una tarea difícil y creativa, pero si sigue los pasos de que describe la receta se convertirá en una tarea sencilla y rutinaria. Realizar estas operaciones requiere de un pensamiento innovador.

Definición 4. Pensamiento constructivo: Es cualquier procedimiento computacional bien definido que tiene algún valor, o conjunto de valores, como entrada y produce un valor, o conjunto de valores, como salida. Informalmente:

Pensamiento constructivo:= (Q, I, Ω, F) , donde Q es un conjunto de estados computacionales, tanto I como Ω son subconjuntos de Q . Entre los cuales, I representa el conjunto de entradas computacionales, y Ω el conjunto de salidas. Al utilizar la función F es posible definir un orden que se organiza de la siguiente manera:

$x_0, x_1, x_2, \dots, x_k$, donde $x_k = F(x_{k-1})$. El orden " $x_0, x_1, x_2, \dots, x_k$ " los pasos computacionales construidos comenzando con el paso x_0 y terminando con x_k .

Como portador de pensamiento constructivo, un algoritmo o programa es una secuencia de pasos computacionales que transforman las entradas en salidas. También se puede visualizar un algoritmo como una herramienta para resolver un problema computacional bien especificado. El algoritmo describe un procedimiento computacional específico para lograr que las entradas/salidas se relacionen.

3. Contenido de la matemática discreta

La matemática discreta tiene aplicaciones en todos los campos de las ciencias computacionales, se utiliza ampliamente en las telecomunicaciones y el procesamiento de la información. En matemática discreta se trabaja con objetos discretos, tales como números enteros, proposiciones, conjuntos, relaciones y funciones, y se aplican conceptos asociados con ellos, y propiedades y relaciones entre ellos [7]. Además, incluye conjuntos, funciones y relaciones, álgebra matricial, probabilidad finita y combinatoria, teoría de grafos, diferencias finitas y las relaciones de recurrencia, lógica, inducción matemática, y pensamiento algorítmico [8, 9]. Debido a esta diversidad de temas, a veces se prefiere estudiarlos todos como contenido de la matemática discreta, pero, la matemática discreta tiene un conjunto mínimo de temas como condición necesaria para comprender el pensamiento computacional.

A finales de 1990 se conformó un Join ACM/IEEE Task Force para revisar los planes de estudios de pregrado en informática. Como resultado reportaron seis tópicos como la base de conocimientos para estructuras discretas: 1) funciones, relaciones y conjuntos, 2) lógica básica, 3) técnicas de pruebas, 4) conceptos básicos de conteo, 5) grafos y árboles, y 6) probabilidad discreta. Llegaron a la conclusión de que los procesos formativos en matemática discreta deben incluir ejemplos y aplicaciones desde las ciencias computacionales [1], ya que las aplicaciones pueden mejorar la comprensión de estos tópicos.

3.1 Lógica matemática

La lógica es un lenguaje para razonar sobre algunas aseveraciones. Se trata de un conjunto de reglas que se pueden utilizar cuando se hace un razonamiento lógico. El razonamiento humano ha sido observado durante siglos desde los tiempos de los griegos, y los patrones que aparecen en el razonamiento han sido extraídos y abstraídos. El fundamento de la lógica fue establecido por el matemático inglés G. Boole a mediados del siglo XIX. La lógica matemática se interesa por lo verdadero o falso de las declaraciones, y cómo esa verdad/falsedad de una declaración se puede determinar a partir de otras declaraciones. Nosotros usamos símbolos para representar declaraciones arbitrarias para que los resultados se puedan utilizar en muchas situaciones similares pero diferentes, por lo que la lógica puede promover la claridad de pensamiento y eliminar ambigüedades y errores.

Existen varios tipos de lógica: lógica de oraciones – lógica proposicional–, lógica de objetos –lógica de predicados–, lógica de incertidumbres, lógica difusa, lógica modal, lógica temporal, entre otras. Pero para un curso de matemática discreta, sólo concierne la lógica proposicional y de predicados, que son fundamentales para comprender otras lógicas.

Ejemplo 1. Lógica para efectuar búsquedas booleanas: En lógica proposicional hay varios conectores (\neg, \wedge, \vee) que se utilizan ampliamente en la búsqueda de información en la Internet. Por ejemplo, el motor de búsqueda de Google soporta la técnica de búsquedas booleanas, que usualmente pueden ayudar a encontrar páginas web sobre un tema en particular. En Google, "+" se utiliza como el conector lógicos " \wedge ", "-" como el conector lógico " \neg ", y "OR" como " \vee ". Si se escribe la frase de entrada "pensamiento computacional" en Google, se van a buscar todas las páginas web acerca de pensamiento computacional; si se escribe "pensamiento – computacional" se buscan todas las páginas que incluyan "pensamiento", pero no "computacional", por lo que la búsqueda se reduce un poco.

3.2 Teoría de conjuntos

El concepto de conjunto es fundamental para las ciencias computacionales. Por ejemplo, la relación entre dos objetos se representan como un conjunto de pares ordenados de objetos, el concepto de par

ordenado se define utilizando conjuntos; los números naturales, que son la base de otros números, también se definen a través de conjuntos; el concepto de función, siendo un tipo especial de relación, se basa en conjuntos, y los grafos y los dígrafos consistente en líneas y puntos se describen como un par ordenado de conjuntos.

La relación es un conjunto especial que consiste de dos tuplas, que son una abstracción de las relaciones que se observan en la vida cotidiana, como las que existen entre padre e hijo, dirección y número de teléfono, etc. En la teoría de conjuntos, la atención se centra en las propiedades de esas relaciones, tales como la reflexividad, irreflexividad, simetría, antisimetría y transitividad.

Una función es algo que asocia cada elemento de un conjunto con un elemento de otro conjunto. Se utiliza bastante a menudo incluso en contextos no técnicos. Por ejemplo, un número de seguro social identifica a una única persona; la tasa de impuesto sobre la renta varía en función de los ingresos, y así sucesivamente. En resumen, una función es absolutamente como una relación, pero un elemento en una función no se relaciona con muchos elementos.

Ejemplo 2. Aplicación de una relación transitiva en telefonía móvil: La red de telefonía móvil cuenta con centros de datos en varias ciudades de cada país, que están unidas con cables de una vía. Es posible modelar esta situación mediante relaciones. Sea R la relación, $(a, b) \in R$ si hay un cable óptico desde el centro de datos a a otro en b . ¿Cómo se puede garantizar que existe algún tipo de enlace de una ciudad a otra compuesto por uno o más cables? Aunque R no se puede utilizar directamente para responder a esto, sin embargo, es posible encontrar todos los pares de centros de datos que tienen un enlace construyendo una relación transitiva de R .

3.3 Álgebra abstracta

El álgebra abstracta es una aplicación típica de pensamiento abstracto. Los matemáticos trabajan y se deleitan con números bizarros, tales como i –raíz cuadrada de -1 –, al que parece asociarse una mezcla de misticismo irracional. No obstante, las operaciones básicas aritmética –suma, resta, multiplicación, división, etc.– se aplican extraordinariamente bien a muchas situaciones disparatadas de la vida real, tales como el balance de una chequera, cuidar la puntuación en un juego de cartas, o medir los ingredientes para una receta. En todas estas situaciones, se utiliza el operador suma y multiplicación para modelar perfectamente la situación.

En álgebra abstracta, frecuentemente las estructuras se mueven rápidamente de un punto de vista a otro más general. A menudo se mueven de un lado a otro entre los conceptos abstractos generales y ejemplos concretos específicos; este movimiento entre estructuras abstractas e instancias concretas de estas

estructuras es el corazón del álgebra abstracta. La abstracción a menudo se siente como un procedimiento sin intuición, guiada por la lógica desnuda, en la que la prueba se convierte en crucial. Pero después de estudiar cuidadosamente algunos ejemplos es posible trasladarse a un caso general más claro. Hay dos razones para ello: en primer lugar, hacer lo contrario tomaría mucho tiempo, en segundo lugar, el punto de vista abstracto es mucho más fácil que el concreto.

Ejemplo 3. El software es un álgebra abstracta: El software es una estructura algebraica $SW = (\text{Lenguaje}, \text{Strcat}, \text{Strcomp}, \text{Strcpy}, \dots)$, donde Lenguaje es un conjunto de cadenas que han sido procesado por el software, Strcat, Strcomp y Strcpy son operadores de cadena. Por ejemplo, Strcomp puede comparar dos cadenas si son iguales. En la naturaleza, el software es una máquina que puede procesar y traducir cadenas; además, es una estructura algebraica cuyo objeto de operación es la cadena.

3.4 Teoría de grafos

Un grafo G consiste de dos conjuntos disjuntos V –vértices, nodos– y E –bordes, aristas–, y una relación de incidencia que asocia un par de nodos de cada arista. Sus aplicaciones son múltiples en diversas disciplinas como en Biología –árboles filogenéticos–, Ciencias Computacionales –programa de control de punto muerto, modelización de Internet–, Económica –redes sociales–, Ingeniería –redes de computadores–, y otras ramas como los deportes –modelado de torneos.

Utilizando la teoría de grafos es posible explorar algunas de sus numerosas aplicaciones, especialmente en las ciencias computacionales, como el análisis del camino crítico, problemas de coloración de gráficas, árboles de expansión mínima, y técnicas de empaquetamiento binario. Hay dos objetivos importantes para la formación en teoría de grafos: formar a los estudiantes para escribir pruebas completas y concisas, y comprender la aplicación de la teoría de grafos en informática e ingeniería de software.

Ejemplo 4. Aplicación CP-net: Extraer la información sobre las preferencias de los usuarios generalmente es un proceso arduo, y los analistas de decisiones humanas han desarrollado técnicas sofisticadas para ayudar a elicitar esta información; CP-net es un modelo gráfico importante y útil para representar esas preferencias [10].

Definición 5. Una CP-net sobre las variables $V = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ es un grafo dirigido G sobre X_1, X_2, \dots, X_n cuyos nodos son anotados en tablas de preferencia condicionada $CPT(X_i)$ para cada $X_i \in V$. Cada tabla de preferencia condicional $CPT(X_i)$ asocia un orden total $>$ con cada instancias u de los padres X_i $Pa(X_i) = U$.

La Fig. 1 ilustra un CP-net que representa las preferencias de alguien para el vestido de noche. Se compone de tres variables J , P y S , para chaqueta, pantalones y camisa, respectivamente. Esta persona incondicionalmente prefiere el negro al blanco como color para camisa y pantalones, mientras que su preferencia entre camisas rojas y blancas está condicionada por la combinación de chaqueta y pantalón: si tienen el mismo color, entonces prefiere una camisa roja. De lo contrario, si la chaqueta y los pantalones son de colores diferentes, entonces prefiere una camisa blanca.

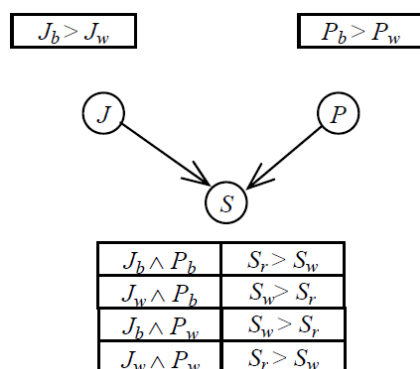


Fig. 1. CP-net para “traje de gala”: chaqueta, pantalón y camisa

Como se indicó anteriormente, el pensamiento computacional tiene algunas clases de pensamientos y la matemática discreta estudia los objetos discretos y sus relaciones. Con el fin de comprender el contenido de la matemática discreta, y captar la idea de pensamiento computacional en matemáticas discretas, a continuación se describe la relación entre pensamiento computacional y matemáticas discretas.

3.5 Abstracción mediante estructuras algebraicas y grafos

Muchas de las unidades de conocimiento de las matemáticas discretas pueden incluirse en pensamiento abstracto. La propuesta formal de la lógica matemática es una abstracción que pueda describir algunas declaraciones sobre las ciencias computacionales y el mundo real. Tales como “protocolo TCP es un protocolo de Internet”, nos dice que en la tecnología de Internet, TCP es un protocolo importante; además, conjunto, relación, función, puede verse como una abstracción de algunos objetos discretos que son estudiados por el científico computacional; el UML de la ingeniería del software, es una serie diagramas –de clases, de objetos, de

estado, de casos de uso,...– que se abstraen de componentes de software.

3.6 Pensamiento lógico mediante lógica computacional

El pensamiento lógico discurre a través de todos los procesos de formación en matemática discreta, entre los cuales, la lógica matemática sienta una creación de la razón. En la teoría de conjuntos, la estructura algebraica y la teoría de grafos, muchas pruebas de teoremas se pueden ver como pensamiento lógico. En la unidad lógica, se esboza la estructura básica y se dan ejemplos de cada técnica de la prueba. Mediante el pensamiento lógico, es posible discutir qué tipo de prueba es la mejor para un problema dado. Además, es posible relacionar las ideas de inducción matemática para la recursividad y las estructuras definidas recursivamente.

3.7 Pensamiento modelado mediante teoría y relación de conjuntos

La matemática discreta tiene aplicaciones en casi todas las áreas imaginables de las ciencias computacionales. Modelar con matemáticas discretas es una habilidad extremadamente importante para resolver problemas, que da la capacidad para desarrollar algunos programas para resolver los problemas computacionales mediante pensamiento constructivo. Las herramientas para modelar son: proposición, conjunto, permutación, relación, grafo, árbol, máquina de estados finitos, operador, y estructura algebraica –como grupo, anillo, álgebra de Boole.

3.8 Pensamiento constructivo mediante algoritmo y prueba

En un curso de matemáticas discretas, existen muchas unidades de conocimiento sobre prueba de teoremas y construcción de algoritmos. Al asumir la naturaleza de la prueba, las pruebas directas e indirectas, la prueba por contradicción, los contraejemplos, las pruebas de existencia y constructivas, es posible decir que la construcción de pensamiento es un enfoque computacional importante. Por otra parte, la inducción matemática –débil, fuerte, estructural–, el principio del buen orden, el estándar de búsqueda y los algoritmos de ordenamiento, los argumentos de correctitud algorítmica, las definiciones recursivas, los algoritmos iterativos y recursivos son algunos enfoques constructivos concretos.

REFERENCIAS

1. ACM/IEEE. “Task Force Report on Computing Curricula 2001”. Computer Science, Vol. 2001. <http://www.acm.org/education/curricula.html>, Sep. 2010.
2. J. M. Wing. “Computational thinking”. Communications of the ACM, Vol. 49, No. 3, pp. 33-35. Mar. 2006.
3. M. Guzdial. “Paving the way for computational thinking”. Communications of the ACM, Vol. 51, No. 8, pp. 25-27, Aug. 2008.
4. ACM/IEEE. “Computing Curricula 2005”. <http://www.acm.org/education/education/curricula-recommendations>, Oct. 2010.
5. J. S. Warford. “An experience teaching formal methods in discrete mathematics”. ACM SIGCSE Bulletin, Vol. 27, No. 3, pp. 60-64. Sept. 1995.

6. M. Shaw. "Software Engineering for the 21st Century: A Basis for Rethinking the Curriculum". CMU-ISRI-05-108. School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh PA. 2005.
7. P. Dourish, G. R. Hayes, L. Irani, C. P. Lee, S. Lindtner, B. Nardi, D. J. Patterson & B. Tomlinson. "Informatics at UC Irvine". Abstracts on Human Factors in Computing Systems. CHI '08, Florence. Italy, pp. 3651-3656. Apr. 2008.
8. N. Crisler & P. Fisher. "Discrete mathematics through Applications". Ney York: W. H. Freeman and Company, 544 p. 1999.
9. B. Marion. "Final Oral Report on the SIGCSE Committee on the Implementation of a Discrete Mathematics Course". In SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education, Houston, Texas, pp. 268-9. Mar. 2006.
10. C. Boutilier & R. Brafman. "CP-nets: A tool for representing and reasoning about conditional ceteris paribus preference statements". Journal of Artificial Intelligence Research, Vol. 21, pp. 135-191. 2004. [Ω](#)

Evolution of the Cosmological Time Concept

Evolução do Conceito de Tempo Cosmológico

Evolución del Concepto del Tiempo Cosmológico

Franchesca Tiglioli H.

Verona University
ftiglioli@rediffmail.com

(Artículo de REFLEXIÓN. Recibido el 03/02/2011. Aprobado el 21/04/2011)

Abstract

The concept of time has evolved, from the ancient Greeks, *along* a period of *more than* two thousand years. With the emergence of the individual sciences, *the* problem shifted from philosophy to natural science, and physics, as the base of *fundamental* science, *performance* an essential role in this matter. Early last century, *Einstein* revolutionized the concept of time with the Theory of Relativity. But what are the logical connections of the modern concept of time with ancient philosophy? This article compares Aristotle's ideas about time with *the* physics posterior at Einstein, and argues how this comparison suggests an interesting interpretation of time in modern cosmology.

Resumo

O conceito de tempo evoluiu desde os antigos gregos, num período de mais de dois mil anos. Com o surgimento das ciências individuais, o problema passou da filosofia à ciência natural e física, como a fundação da ciência básica desempenha um papel essencial nesta matéria. No início do século passado, Einstein revolucionou o conceito de tempo com a Teoria da Relatividade. Mas quais são as conexões lógicas do conceito moderno de tempo com a filosofia antiga? Este artigo compara as idéias de Aristóteles sobre o tempo com os da física pós-*Einstein*, e discute como esta comparação sugere uma interpretação interessante do tempo na cosmologia moderna.

Resumen

El concepto del tiempo ha evolucionado, desde los antiguos griegos, a lo largo de un período de más de dos mil años. Con el surgimiento de las ciencias particulares, el problema se desplazó desde la filosofía a las ciencias naturales, y la física, como la base de la ciencia fundamental, desempeña un papel esencial en este asunto. A principios del siglo pasado, Einstein revolucionó el concepto de tiempo con la Teoría de la Relatividad. Pero, ¿cuáles son las conexiones lógicas del concepto moderno de tiempo con la filosofía antigua? En este artículo se comparan las ideas de Aristóteles acerca del tiempo con las de la física posterior a Einstein, y se argumenta cómo esta comparación sugiere una interesante interpretación del tiempo en la cosmología moderna.

Keywords: Time, cosmology, philosophy, Theory of Relativity.

Palavras-chave: Tempo, cosmologia, filosofia, Teoria da Relatividade.

Palabras clave: Tiempo, cosmología, filosofía, Teoría de la Relatividad.

1. Introducción

¿Qué es el tiempo? Qué es pues el tiempo, se pregunta San Agustín en el siglo IV, a lo que ofrece su famosa respuesta: "Para mis adentros y sin que nadie me lo pregunte, yo sé qué es. Pero si quiero explicárselo a alguien, no sé" [1, p. 230]. Aristóteles analiza a fondo el concepto del tiempo en su obra, en la que habla de tres problemas fundamentales en relación con el tiempo, y que los filósofos posteriores trataron una y otra vez:

1. La existencia del tiempo
2. La conexión del tiempo y el cambio
3. La continuidad

2. Tiempo y cambio

Aristóteles articula el tiempo al movimiento o cambio y trata de averiguar lo que es el tiempo en un movimiento. Argumenta que el tiempo se manifiesta en el cambio de las cosas pero que el cambio mismo no es el tiempo. "Debido a que el tiempo también es cambio o algún aspecto del cambio; y ya que no es el cambio en sí, debe ser algún aspecto del cambio", y "...no sólo medimos el movimiento mediante el

tiempo, sino también el tiempo mediante el movimiento, porque uno define al otro" [2, p. 43].

A primera vista este argumento parece de poca utilidad: que el movimiento sea medido con la ayuda del tiempo es bien sabido, por ejemplo, en la medición de la velocidad; también tenemos un tiempo récord en términos de movimiento; el cambio de las manecillas de un reloj nos indica el tiempo transcurrido. Aristóteles es consciente de su argumento circular, y se pregunta ¿cuál es entonces el cambio que determina el tiempo? Sostiene que hay un movimiento lento y rápido, pero que el tiempo es el mismo. La idea principal de Aristóteles consiste en singularizar una marcha "limitada" concreta: "Ahora hay locomoción, y como un tipo de locomoción, la marcha circular, y puesto que cada cosa es contada por una cosa de la misma naturaleza, y por lo tanto también el tiempo por algún tiempo definido, y puesto que, como hemos dicho, el tiempo se mide por el cambio y el cambio por el tiempo... entonces la marcha uniforme es la mayor de todas las medidas..." [2, p. 53].

Pero, ¿qué es la marcha circular? Es la causa por la que piensa que el tiempo es la marcha de la esfera celeste, ya que los otros cambios son medidos por ésta, y el tiempo por dicho cambio [2, p. 53]. Aristóteles introduce 53 esferas celestes para explicar el movimiento de los cuerpos celestes, y para él el tiempo se define por la marcha de estas esferas, especialmente por las estrellas fijas. Sin este tiempo no pueden ser medidas y por lo tanto no es tiempo. En un sentido generalizado se podría decir que el tiempo está determinado por el movimiento de los cuerpos en el universo.

Antes de contrastar estas ideas con el concepto moderno de tiempo en la cosmología, es necesario recordar muy brevemente algunos hitos en el desarrollo del concepto de tiempo. San Agustín critica a Aristóteles en sus "Confesiones" de esta manera: "He escuchado a una persona culta decir que el movimiento del sol, la luna y las estrellas en sí mismos constituyen el tiempo. ¿Por qué debería esto consistir tiempo y no la circulación de todos los objetos físicos? Si los cuerpos celestes paran y una rueda de alfarero gira, no habría tiempo allí..." [1, p. 237]. También duda del concepto de tiempo definido por el movimiento de las estrellas, y es aún más explícito en su declaración: "Que nadie me diga entonces que el tiempo es el movimiento de los cuerpos celestes. En la oración de un hombre el sol se detuvo, por lo que la batalla pudo llevarse hasta la victoria (José.10:12); el sol se detuvo, pero el tiempo continuó avanzando" [1, p. 238]. San Agustín se refiere a la batalla bíblica de José contra los amorreos en el Antiguo Testamento.

3. Tiempo absoluto

Más de mil años después de esto, Isaac Newton toma la crítica de San Agustín y postula la existencia de un tiempo absoluto: "El tiempo es absoluto, verdadero y matemático, en sí mismo, y por su propia naturaleza fluye ecuánime sin relación con nada externo..." [3, p. 6-12]. Pero admite que este tiempo absoluto podría ser imposible de medir: "...Todo movimiento puede ser acelerado y retardado, pero el flujo del tiempo absoluto no está sujeta a cambios".

Además, el tiempo absoluto de Newton introduce el concepto de espacio absoluto con respecto al cual el movimiento y el reposo se definen sin ambigüedades. El filósofo y físico austriaco Ernst Mach retoma el tema del tiempo en su tratado y afirma que Newton no cumple con su propia idea de estudiar sólo los hechos: "Este tiempo absoluto no se puede leer en cualquier movimiento, por lo tanto no tiene valor práctico ni científico... somos completamente incapaces de medir el cambio de los objetos con respecto al tiempo. El tiempo es una abstracción a la que llegamos por el cambio de los objetos, ya que no se basa en una medida concreta debido a que todos están interconectados" [4, p. 236]. Mach subraya que no es necesario seleccionar a un cierto movimiento para medir el tiempo, pero en su lugar y debido a la

"interconexión", es posible llegar a una abstracción consistente que se denota como tiempo. Después de Mach, el tiempo absoluto quedó sin ninguna base. En contraste, la interacción de todos los componentes en el universo podría conducir a un tiempo universal.

4. Del tiempo real al relativo

A pesar de esta crítica, el concepto newtoniano de tiempo absoluto sirvió como base, por más de 200 años, para la descripción de los aspectos físicos de la naturaleza. Especialmente en la mecánica celeste clásica, como la descripción de las órbitas planetarias, la predicción de los eclipses de sol y de luna, y para describir gravitacionalmente al sistema delimitado en general, ya que las observaciones encuadraban excelentemente con la teoría newtoniana de la gravedad. Sin embargo, a comienzos del siglo pasado se inició una revisión radical del concepto clásico del tiempo por Lorentz, Poincaré y Einstein, principalmente. El tiempo y el espacio se consideraron entidades independientes, y emergió el concepto de espacio-tiempo. Tres años después de que Einstein presentara su Teoría de la Relatividad Especial, Hermann Minkowski, en la reunión de la "Asamblea alemana en ciencias naturales y medicina" en 1908, comenzó su participación en "Espacio y Tiempo" con la frase: "...La visión del espacio y el tiempo que quiero expresar es el que surgió de la base de la física experimental, y es ahí donde radica su fuerza. Ellos son radicales. De ahora en adelante el espacio en sí, y el tiempo por sí mismo, están condenados a desvanecerse en meras sombras, y sólo una especie de unión de los dos podrá preservar una realidad independiente" [5, p. 56]. Lo que se convirtió en el punto de partida para que Einstein analizara el significado de la simultaneidad de los acontecimientos. En 1905 escribió: "Tenemos que considerar que todos nuestros juicios en cuanto al tiempo juegan un papel que se refiere a acontecimientos simultáneos" [6, p. 891].

¿Qué significa la afirmación de que dos eventos son simultáneos en lugares distantes? Y la pregunta relacionada: ¿Cómo sincronizar relojes distantes? Intuitivamente parece conocerse el significado de "simultáneos": eventos que se observan en el mismo momento. Pero esto en realidad no es preciso, ya que cualquier señal se propaga a una velocidad finita; incluso la luz de los objetos distantes nos llega más tarde que la que emiten los de las inmediaciones. Por lo tanto, se observa el estado de los objetos distantes en un estado anterior. Esto no aparece en la cotidianidad, pero es un hecho bien conocido en la astronomía. Cuanto más lejos se mira en el universo, más se observa en el pasado. En general, la visual y por tanto la recepción, no presenta una imagen simultánea del mundo exterior. Se puede argumentar que en el viaje de las señales del tiempo esto se podría tener en cuenta y de ese modo construir la simultaneidad, pero es en este punto en el que se basa la Relatividad. Mientras que en la visión newtoniana se llega a una construcción única de la

simultaneidad, debido a la existencia de un tiempo absoluto, esto no funciona para la teoría de Einstein. Después de él, la simultaneidad no es única ya que depende del estado de movimiento del observador. Diferentes observadores podrían construir diferentes imágenes simultáneas del estado del mundo.


El matemático Kurt Gödel escribió un breve ensayo acerca de las implicaciones filosóficas de esta nueva estructura del espacio-tiempo: "...esto parece como una prueba inequívoca para la opinión de aquellos filósofos que, como Parménides, Kant y los idealistas modernos, niegan la objetividad del cambio y consideran al cambio como una ilusión o apariencia debido a nuestro modo especial de percepción" [7, p. 556].

5. Del tiempo relativo al dinámico

En la teoría de la Relatividad Especial, la simultaneidad pierde su significado absoluto y con ella el concepto de un tiempo absoluto. La Relatividad General da un paso más: El tiempo no es sólo influenciado por el movimiento, sino también por la materia del universo. Los relojes avanzan más lento en cercanías de grandes masas. Tanto la influencia del movimiento como el efecto gravitacional son ejemplos relevantes cuando se sincronizan los relojes de los satélites para los sistemas de posicionamiento global –GPS. Estos satélites en la órbita de la Tierra, a una altitud de unos 20.000 km., no tienen en cuenta los efectos relativistas que hacen al sistema, en unos pocos minutos, inútil para detectar una posición.

La geometría del espacio-tiempo, y con ella el transcurrir del tiempo, es influenciada por la distribución de la materia y por lo tanto se convierte en dinámica. Cada historia de un cuerpo tiene su "propio" tiempo, con dependencia de su movimiento y la distribución de los demás organismos –más generalmente masa y energía– en el universo.

REFERENCIAS

1. Saint Augustine. "Confessions". Oxford: Oxford University Press, H. Chadwick translator, 352 p. 1998.
2. Aristotle. "Physics". USA: Oxford University Press, R. Waterfield translator, 384 p. 2008.
3. I. Newton. "Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica". USA: Harvard University Press, 952 p. 1972.
4. E. Mach. "Die Mechanik in ihrer Entwicklung, historisch-kritisch dargestellt". Berlin: Brockhaus, 494 p. 1912.
5. H. Minkowski. "Raum und Zeit". In H. A. Lorentz, A. Einstein and H. Minkowski "Das Relativitätsprinzip", Germany: Nabu Press. 102 p. 2010.
6. A. Einstein. "Zur Elektrodynamik bewegter Körper". *Annalen der Physik*, Vol. 322, No. 10, pp. 891-921. 1905.
7. K. Gödel. In "Albert Einstein: Philosopher-Scientist". P. A. Schilpp (Ed.), London: Open Court, 800 p. 1998. 

6. Del tiempo dinámico al cosmológico

La teoría de la Relatividad General tiene su mayor alcance de implicación para la física y la filosofía cuando se aplica al cosmos en general. Lo que interesa aquí es la cuestión de cómo la interacción entre la materia y la geometría influencia del concepto de tiempo. Las ecuaciones de Einstein implican que no puede haber un universo estático. El mismo Einstein trató de eludir esta consecuencia adicionando la llamada constante cosmológica y por lo tanto modificó sus ecuaciones originales. Pero en 1929 el astrónomo Edwin Hubble llegó a la conclusión de que todas las galaxias se alejan a una velocidad proporcional a su distancia de nosotros. Hoy sabemos que una gran cantidad de materia se distribuye de manera uniforme en el cosmos. De este modo se puede interpretar el movimiento de las galaxias como una expansión general del universo. Pero es esta expansión global la que permite definir un sistema de referencia universal ligado al flujo de materia. Todos los observadores que se mueven con este flujo de Hubble tienen el mismo tiempo propio, el cual define un tiempo universal. Es este momento cuando se dice que han pasado cerca de 14 billones de años desde el big bang.

Este tiempo cosmológico nos lleva de nuevo al concepto de tiempo de Aristóteles, quien definió el tiempo como el movimiento de las esferas celestes. En la cosmología moderna el tiempo está dado por el movimiento global de la materia en el universo. Pero la analogía es más profunda. Aristóteles dice que el movimiento simple es tiempo, es decir, que sin el movimiento de las esferas celestes no habría tiempo. La Teoría de la Relatividad vincula a la geometría del espacio-tiempo con la materia y la energía. En la cosmología la materia determina la geometría del espacio-tiempo de forma amplia y por tanto en el tiempo.

The Philosophy of Engineering and Engineering Education

La Filosofia de la Engenharia e la Formação em Engenharia

La Filosofía de la Ingeniería y la Formación en Ingeniería

Gabriel Peña J.

Universidad Católica Andrés Bello
gpenaj@ucab.edu.ve

(Artículo de REFLEXIÓN. Recibido el 11/01/2011. Aprobado el 19/04/2011)

Abstract

As professional engineering education and to reflect about this profession, many teachers ask the question: Can the philosophy of engineering education improve the practice of engineering education? The objective of this article is to search answers through discussion questions like: Is the philosophy of engineering education different from the philosophy of education? Which are the "matters" of philosophy of engineering education? What is different about the philosophy of engineering education with the philosophy of scientific or medical education? Is necessary a liberal philosophy education to the philosophy of engineering education or are they antithesis? Until what point is the philosophy education necessary to design the curriculum in engineering?

Resumo

Como a educação profissional de engenharia e refletir sobre a profissão, muitos professores fazem a pergunta: Pode a filosofia da educação em engenharia melhorar a prática do ensino da engenharia? O objetivo deste trabalho é buscar respostas através de perguntas para discussão, como: é a filosofia da educação em engenharia diferente da filosofia da educação? O que "importa" filosofia da educação da engenharia? O que é diferente sobre a filosofia da educação em engenharia na filosofia de formação científica ou médica? É uma filosofia da educação liberal com a filosofia do ensino da engenharia, ou são contraditórios? Em que medida é a filosofia necessário para projetar programas de formação em engenharia?

Resumen

Como profesionales de la formación en ingeniería y al reflexionar acerca de esta profesión, muchos maestros se plantean la pregunta: ¿Puede la filosofía de la enseñanza de la ingeniería mejorar la práctica de la formación en ingeniería? El objetivo de este artículo es buscar respuestas mediante discusión a preguntas como: ¿Es la filosofía de la enseñanza de la ingeniería diferente de la filosofía de la educación? ¿Cuáles son las "cuestiones" de la filosofía de la formación en ingeniería? ¿En qué difiere la filosofía de la formación en ingeniería de la filosofía de la formación científica o médica? ¿Es necesaria una filosofía de formación liberal para la filosofía de la formación en ingeniería o son antítesis? ¿Hasta qué punto es necesaria la filosofía de la formación para diseñar los planes de estudio en ingeniería?

Keywords: *Philosophy, education, engineering, philosophy of education.*

Palavras-chave: *Filosofia, engenharia, educação, filosofia da educação.*

Palabras clave: *Filosofía, formación, ingeniería, filosofía de la educación.*

1. Introducción

Como profesionales de la formación en ingeniería y al reflexionar acerca de nuestra profesión, muchos maestros se plantean la pregunta: ¿Puede la filosofía de la enseñanza de la ingeniería mejorar la práctica de la formación en ingeniería? Sherren & Long [1] escribieron que el "maestro debe programar conscientemente las características de la ingeniería que va a enseñar, y que influyen el pensamiento y la acción, antes de considerar la creación o adopción de un sistema de formación". Además, expresaron que "a fin de conocer que "características de la ingeniería" le gustaría enseñar, primero debe examinar su propia filosofía de la formación en ingeniería para entender sus objetivos y actitudes. Del mismo modo una comprensión de la relación entre las filosofías del estudiante y la del maestro le permitirá elegir una teoría de formación compatible que pueda ser sensible a los objetivos y actitudes de ambos". Argumentaron que todo el mundo "enseña" de acuerdo con su propia filosofía y esto puede entrar en conflicto con los valores que los estudiantes traen al curso, y en algunos casos crear disonancia. "Los estudiantes de hoy están buscando las competencias

profesionales con el fin de alcanzar el nuevo idealismo que los pragmáticos de edad no han percibido". Con esas palabras consideraban la filosofía del pragmatismo, del idealismo, del naturalismo y del realismo. Hoy es necesario añadir a esa lista el constructivismo y/o post-modernismo. En 1958, Furst, uno de los autores de "La taxonomía de los objetivos educacionales", afirmó que cada maestro debe tener una teoría defendible de la filosofía [2].

Ninguno de estos artículos produjo gran revuelo, ya fuera en los círculos de la ingeniería o de la formación. En 1979, Sinclair & Tilston [3] argumentaron que el fracaso para alcanzar los objetivos de la formación en ingeniería se debía a que carecía de una base filosófica adecuada que proporcionara las directrices necesarias. Desde entonces se han publicado uno o dos documentos cuya base fue argumentar una premisa filosófica. Van Poolen [4] somete el diseño tecnológico para al análisis filosófico usando la filosofía de Heidegger como su referencia, y Self [5] llegó a la conclusión de que las tendencias actuales en el diseño CBL podrían estar relacionadas con las ideas post-modernas sobre

el papel de la tecnología en la sociedad. Jinks [6] ha señalado, en la tradición del análisis lingüístico, que las diferencias, si las hubiera, entre el conocimiento y la comprensión a menudo causan problemas a los maestros especialmente en sus evaluaciones. Incluso, si Yokomoto & Bestwick [7] no hubiesen seguido conscientemente las huellas de los filósofos lingüísticos, no habrían podido analizar la terminología asociada con los objetivos formativos.

Por mucho tiempo, Koen argumentó un caso para el “método ingenieril” que apoyaba desde una sustancial base filosófica. Argumentaba que el método ingenieril basado en la heurística es un ejemplo del método universal que se aplica tanto a la filosofía como a cualquier otro tema. Es más, va tan lejos como para argumentar que “la filosofía puede revitalizarse a sí misma y recuperar su propia generalidad al convertirse en el guardián del método”. Posteriormente dijo [8] que “la filosofía se convierte en el estudio de la heurística por heurísticas”. Sin embargo, un método no es una “forma de pensar”. IBM considera cuestiones epistemológicas y de ciencia cognitiva cuando afirma que no necesita conocer cómo piensan los diferentes profesionales al momento de informarse mejor acerca de sus mercados. En lugar de invitar a los ingenieros a explorar las maneras de pensar de los profesionales prefiere emplear a tales profesionales como antropólogos, economistas y médicos [9].

La falta de interés en tales discusiones filosóficas sugiere que son periféricas a la formación en ingeniería. Pero, ¿realmente lo son? Examinando los campos relacionados con la ciencia y la medicina, Matthews [10], entre otros, ha demostrado cómo la enseñanza de la historia y la filosofía de la ciencia pueden contribuir a la alfabetización de la ciencia. Desde la filosofía de la ciencia ha surgido un estudio de la filosofía de la formación en ciencia, y desde la filosofía de la medicina ha surgido un estudio de la filosofía de la formación en medicina. ¿Puede haber una filosofía de la ingeniería que sea diferente a una filosofía de la ciencia o de la medicina? Algunos argumentan fuertemente que hay una filosofía de la ingeniería [11]. Por otra parte, tanto la Academia Nacional de Ingeniería en los EE.UU. como la Academia Real de Ingeniería en el Reino Unido tienen actividades dedicadas a la filosofía de la ingeniería [12]. Además, la Academia China de Ingeniería centró su seminario de las fronteras de la ingeniería, en 2005, sobre “filosofía de la Ingeniería” [13]. Si hay una filosofía de la ingeniería, hay una filosofía de la formación en ingeniería, o es que la filosofía de la educación se aplica de manera unilateral a la formación en ingeniería.

Así que ¿para qué estudiar la filosofía educativa? Smith [14] trató de responder a esta pregunta cuando escribió: “Con todo el debate sobre la reforma curricular y la tecnología el papel de la universidad cambia, y antes de interrogarnos acerca de qué ingeniería necesitamos en el siglo XXI, es importante

volver a las preguntas básicas. Estudiar la filosofía educativa ayuda a responder a las preguntas: ¿Quién debe ser formado? ¿Cuál debe ser el propósito de la formación? ¿Cómo deben ser formados los estudiantes?... ¿Cuáles son las razones legítimas de la formación superior? ¿Cuál es la pedagogía adecuada para la formación superior? ¿Se pueden conciliar la formación liberal y la vocacional?” Además, argumenta que la práctica reflexiva que esperamos desarrollar en nuestros estudiantes depende de que nuestros estudiantes adquieran lo que Newman [15] llamó “un hábito filosófico de la mente” [16]. Smith [14] recomienda que debemos familiarizarnos con las obras de Brubacher [17] sobre la formación superior y la de Noddings [18] en filosofía de la educación. También recomienda un libro sobre los propósitos de la educación, para que no se piense que determinar los objetivos de la educación es un asunto fácil [19].

Este artículo, por lo tanto, tiene por objeto buscar respuestas —a través de una discusión activa— a preguntas como:

- ¿La filosofía de la formación en ingeniería es diferente de la filosofía de la educación?
- ¿Cuáles son las “cuestiones” de una filosofía de formación en ingeniería?
- ¿En qué se diferencia la filosofía de la formación en ingeniería de la filosofía de la formación en ciencia o en medicina?
- ¿Es necesaria una filosofía de formación liberal en una filosofía de formación en ingeniería o es que son antítesis?
- ¿Hasta qué punto es necesaria una filosofía de la educación para el diseño de un plan de estudios?

2. Las respuestas

Queda claro entonces que este debate se inscribe en uno más amplio e internacional acerca de la filosofía de la ingeniería que, aunque sin estar dirigido a la filosofía de la educación, tiene resultados que inciden en el currículo y la formación. Cerca de un centenar de artículos sobre la filosofía de la ingeniería se han publicado en los últimos tres años.

La clave, al parecer, es encontrar respuesta a la pregunta “¿Puede una filosofía de la ingeniería contribuir a la política pública respecto de la ingeniería?” Lo que se convierte en una de las principales razones de interés para las organizaciones académicas en la filosofía de la ingeniería. Aunque en este trabajo se prefiere moldear esta pregunta de la siguiente forma: “¿Puede la filosofía de la formación en ingeniería mejorar la política y la práctica de la formación en ingeniería?” Y una respuesta a esta pregunta requiere la discusión de los objetivos de la formación en ingeniería antes que discutir cualquier programa particular que pueda servir para obtener dichos objetivos. ¿Puede una filosofía de la educación contribuir a la discusión de los objetivos? Las respuestas a esta pregunta implican que los encuestados tienen una filosofía de la educación.

Pero, ¿es esa filosofía vaga o fuerte en el sentido que ellos tienen? Algunos educadores argumentan que todos los maestros deben tener una filosofía defendible de la educación, y algunas Facultades de Ingeniería ofrecen cursos en filosofía de la educación, pero lastimosamente son para unos pocos. ¿Deberían estos cursos ser parte del conjunto de herramientas de un maestro para formar en ingeniería? Por supuesto, esto plantea las siguientes preguntas: ¿Deben los maestros en ingeniería recibir capacitación formal en educación? Y, ¿Es la formación en ingeniería una disciplina? Los filósofos educacionales le prestan una considerable atención a la definición del concepto “disciplina”.

Gran parte del debate se centra en las diferencias entre la ingeniería, la ciencia y la tecnología. Si la ingeniería no es más que la aplicación de la ciencia, entonces cabe preguntarse si es necesaria una filosofía de la ingeniería. Existe una amplia literatura en la filosofía de la ciencia y la filosofía de la formación en ciencia. Teniendo en cuenta el fuerte componente de ciencia en los programas de ingeniería es difícil creer que la filosofía de la formación científica no sea relevante, como por ejemplo, el debate entre realismo y constructivismo que se describe en el artículo de Heywood [16]. ¿Pero todo lo que hay es una filosofía de la formación en ingeniería? Para responder esta pregunta es necesario conocer lo que hacen los ingenieros y lo que probablemente harán en el futuro.

En las facultades de ingeniería deberían animar a los estudiantes a conocer ampliamente el significado de términos como ingeniería, ciencia, tecnología, ya que algunos de ellos los cubre el ámbito de la filosofía de la tecnología. En todo el mundo se desarrollan programas de tecnología y muchos de ellos hacen poca o ninguna mención a la ingeniería. Varios estudios en los que se analiza la evolución de la filosofía de la ingeniería concluyen que es poco probable que exista una filosofía de la ingeniería, por el contrario, que lo que existe son filosofías de la ingeniería; por lo que también es probable que haya muchas filosofías de la formación en ingeniería.

Varios trabajos muestran resultados educativos en términos de los planes de estudio y prácticas de enseñanza, pero esto no surge de la aplicación sistemática de una filosofía de la enseñanza, sino de una filosofía de la ingeniería. Golding [20] muestra a la filosofía como una herramienta de respuesta a la crisis, porque la ingeniería de la historia de hoy es en gran medida una respuesta a las fuerzas tecnológicas y económicas que toma su lugar después de la Segunda Guerra Mundial. El trabajo analítico rutinario fue produciendo rendimientos decrecientes mientras que los beneficios de la creatividad aumentaron.

REFERENCIAS


1. D. C. Sherren & T. R. Long. “The educator’s dilemma. What makes Clyde want to learn?” *Engineering Education*, Vol. 63, No. 3, pp. 188-190. Dec. 1972.

Golding mostró cómo la inclusión de algunos elementos del pensamiento filosófico se podría utilizar para contribuir al desarrollo del pensamiento creativo entre los ingenieros. También, Grimson *et al.* [21] sostienen que la ingeniería es intrínsecamente filosófica, y por lo tanto es natural que las herramientas de la filosofía puedan utilizarse para proporcionar información adicional acerca de cómo ha sido y es “realizada” la ingeniería. Pero otros trabajos sugieren que debe tenerse en cuenta una visión más amplia de los aspectos no técnicos del plan de estudios. Esto plantea preguntas fundamentales acerca de los propósitos del plan de estudios, ¿pueden esas preguntas ser respondidas sin la ayuda de la filosofía?

Otras preguntas se refieren a los límites entre la filosofía de la formación en ingeniería y las otras materias en humanidades y ciencias sociales, por ejemplo, la sociología del conocimiento. Y de hecho, ya se ha sugerido [22] que una filosofía de la educación se reduce a ciencia cognitiva —teoría de la mente. Harding *et al.* [23] presentan un argumento en el que, en las trincheras de la vida cotidiana, la psicología tiene una mejor comprensión del proceso de toma de decisiones éticas que la filosofía, y como tal, debe ser el eje central para reconstruir la educación ética. ¿Significa esto que la psicología es igualmente mejor para la toma de decisiones curriculares y de enseñanza? El fundamento de la filosofía de la formación en ingeniería es la filosofía de la educación. Para corroborar esto, Smith & Korte [24] presentan una revisión de la literatura de la filosofía de la educación.

3. Conclusiones

El interés por la filosofía y la ingeniería continúa desarrollándose. En varios congresos y conferencias se celebran sesiones extraordinarias en la que los estudiosos se dedican completamente a discutir este tema. Muchas de las contribuciones demuestran que los debates generales acerca de la filosofía y la ingeniería deben tener resultados que posteriormente tendrán implicaciones para el plan de estudios de ingeniería. Una corriente emergente se refiere a la idea de que la filosofía, además de la ética, se debe contemplar en el plan de estudios de ingeniería. Cómo hacerlo es un tema de debate. Las cuestiones más importantes se refieren al contenido y al método. Por ejemplo, debería ser un curso separado o integrado en los programas existentes, como por ejemplo en el diseño, donde ya existe una literatura pertinente y de alta calidad; o se refiere a la adquisición de los conocimientos filosóficos cubiertos por las disciplinas tradicionales; o lo que se hace es tratar de ayudar a los estudiantes a desarrollar una actitud filosófica frente a los procesos de la ingeniería.

2. E. J. Furst. "The Construction of Evaluation Instruments". New York: David McKay, 385 p. 1958.
3. G. Sinclair & W. Tilston. "Improved goals for engineering education". *Proceedings Frontiers in Education Conference*, Ontario, Canada, pp. 252-258, Oct. 15-18. 1979.
4. L. J. van Poolen. "A philosophical perspective on design". *International Journal of Applied Engineering Education*, Vol. 5, No. 3, pp. 319-329. 1989
5. J. Self. "From constructionism to deconstructionism. Anticipating trends in educational styles". *European Journal of Engineering Education*, Vol. 22, No. 3, pp. 295-306. 1997.
6. R. F. Jinks. "Knowledge... Understanding (mind the gap!)"'. *Engineering Science and Education Journal*, Vol. 5, No. 5, pp. 227-230. Oct. 1996.
7. C. F. Yokomoto & W. D. Bestwick. "Modeling the process of writing measurable outcomes". *Proceedings of Frontiers in Education Conference*. San Juan, Puerto Rico, pp.11-18, Nov. 10-13, 1999.
8. V. B. Koen. "Discussion of the Method. Conducting the Engineer's approach to Problem Solving". New York: Oxford University Press, 276 p. 2003.
9. IEEE Spectrum. "IBM's New Motto: Think... About how others think". Dec. 2006. On line: <http://spectrum.ieee.org/computing/software/ibms-new-motto-thinkabout-how-others-think/0> [Sept. 2010].
10. M. R. Mathews. "Science Teaching. The Role of the History and Philosophy of Science". London: Routledge, 256 p. 1994.
11. S. L. Goldman. "Why we need a philosophy of engineering: a work in progress". *Interdisciplinary Science Reviews*, Vol. 29, No. 2, pp. 163-176. 2004.
12. D. Andrews. "Philosophical Issues in the Practice of Engineering Design". *Proceedings of A Philosophy of Engineering Seminar: Systems Engineering and Engineering Design*, London, UK, Marc. 26, 2007.
13. <http://www.cae.cn/en/> [Nov. 2010].
14. K. A. Smith. "Educational Philosophy". *Journal of Engineering Education*, pp. 203-205. Jul. 1, 2003.
15. J. H. Newman. "The Idea of a University". USA: Yale University Press, 400 p. 1996.
16. J. Heywood. "Think... About how others think. Liberal education and engineering". *Proceedings of 37th Annual Frontiers In Education Conference - Global Engineering: Knowledge Without Borders, Opportunities Without Passports*, Dublin, Ireland, Oct. 10-13, 2007.
17. J. Brubacher. "On the Philosophy of Higher Education". San Francisco: Jossey Bass, 186 p. 1982.
18. N. Noddings. "Philosophy of Education". London: Westview Press, 288 p. 2006.
19. C. Wringe. "Understanding Educational Aims". London: Unwin Hyman, 120 p. 1988.
20. W. Golding. "Lord of the Flies". London: Perigee Books, 208 p. 1959.
21. W. Grimson, Murphy M., Hyldgaard S. C. & Ernø-Kjølhede, E. "Philosophy Matters in Engineering Studies". *Proceedings of 38th Annual Frontiers in Education Conference*, New York, USA, Oct. 22-25, 2008.
22. E. D. McCarthy. "Knowledge as Culture: The New Sociology of Knowledge". USA: Routledge, 144 p. 1996.
23. T. Harding, J. Sutkus, D. Carpenter & C. Finelli. "Work In Progress - Building the Survey of Engineering Ethical Development (SEED) Instrument". *Proceedings of 38th Annual Frontiers in Education Conference*, New York, USA, Oct. 22-25, 2008.
24. K A. Smith & R. F. Korte. "What do We Know? How do We Know It? An Idiosyncratic Readers' Guide to Philosophies of Engineering Education". *Proceedings of 38th Annual Frontiers in Education Conference*, New York, USA, Oct. 22-25, 2008. 

Influence of Engineering in the Commercial Development of Mankind: Modern Age

Influência de Engenharia no Desenvolvimento Comercial da Humanidade: Idade Moderna

Influencia de la Ingeniería en el Desarrollo Comercial de la Humanidad: Edad Moderna

Ana María Saravia G.

Grupo de investigación de Sociedade do Conhecimento, SOÇA, Brasil
gruposoca@latinmail.com

Luisa Fernanda Amorim

(Artículo de REVISIÓN. Recibido el 10/02/2011. Aprobado el 15/05/2011)

Abstract

Basically, trade is the exchange of goods, services or both. But in the same way, in order to develop trade, we need the support and development of specific areas such as providing engineering. In this paper a description of the influence of engineering in the development of world trade in the Modern Age.

Resumo

Basicamente, o comércio é a troca de bens, serviços ou ambos. Mas da mesma forma, a fim de desenvolver o comércio, precisamos do apoio e desenvolvimento de áreas específicas, tais como o fornecimento de engenharia. Nesse trabalho, uma descrição da influência da engenharia no desenvolvimento do comércio mundial na era moderna.

Resumen

Básicamente, el comercio es el intercambio de mercancías, de servicios o de ambos. Pero de la misma manera, para poder desarrollar el comercio, se necesita de la ayuda y el desarrollo de áreas específicas como las que brinda la ingeniería. En este trabajo se hace una descripción de la influencia de la ingeniería en el desarrollo del comercio mundial en la Edad Moderna.

Keywords: *Engineering, trade, exchange, money, goods and services, Modern Age.*

Palavras-chave: *engenharia, dinheiro, comércio, bens e serviços, Idade Moderna.*

Palabras clave: *Ingeniería, comercio, intercambio, dinero, bienes y servicios, Edad Moderna.*

1. Introducción

La importancia del desarrollo de la ingeniería en las relaciones políticas, comerciales y culturales en el mundo fue primordial para lograr el desarrollo integral de las naciones. En lo comercial, no existe una nación considerada autosuficiente que no requiera del concurso y el apoyo de otros países; inclusive las naciones más poderosas necesitan recursos de los que carecen y que, a través de negociaciones y acuerdos, logran para satisfacer sus necesidades y carencias.

Los aportes de la ingeniería al desarrollo mundial del comercio son notables, brindó el soporte para que las naciones, desde los orígenes mismos de las actividades de intercambio, llevaran a cabo las negociaciones que le permitiera a las sociedades primitivas mejorar sus niveles de vida, y les propició su desarrollo. A medida que la ingeniería progresa, sus aportes se hacen a mayor escala, y el comercio llega a convertirse en motor esencial de progreso, al punto que se restringen otras áreas de desarrollo debido a que pierden vigencia ante éste. En la Era Moderna esto no fue la excepción.

La Era Moderna, o historia moderna, describe la línea de tiempo histórica después de la Edad Media. En 1453 los turcos se toman Constantinopla, lo que origina la caída definitiva del Imperio Romano de Oriente, y este acontecimiento lo utilizan los

historiadores para dar por finalizada la Historia Antigua e iniciar la Moderna. La historia moderna se puede desglosar en Edad Moderna Temprana y Edad Moderna tardía, y describe el transcurso de los acontecimientos históricos que son de interés inmediato para el momento actual.

La Era Moderna inicia aproximadamente en el siglo XVI [1], [2]. Grandes eventos hicieron que el mundo occidental cambiara hacia finales de dicho siglo, empezando con la caída de Constantinopla en 1453, la caída de la España musulmana y el descubrimiento de las Américas en 1492, la Reforma Protestante de Martin Luther en 1517, y el conocimiento y aplicación de una serie de inventos y productos ingenieriles, algunos de ellos traídos de Oriente. En Inglaterra, la Era Moderna a menudo se data con el inicio del período de los Tudor, con la victoria de Enrique VII sobre Ricardo III en la batalla de Bosworth en 1485 [3], [4]. La historia moderna temprana europea generalmente se considera que abarca desde finales del siglo XV, a través de la Edad de la Razón y la Ilustración de los siglos XVII y XVIII, hasta el comienzo de la Revolución Industrial a finales del siglo XVIII, y la Revolución Francesa de 1789, en un período de casi 350 años.

El presente trabajo es fruto del desarrollo de una investigación bibliográfica, y su objetivo es realizar un análisis a la influencia que la ingeniería tuvo en el

desarrollo del comercio desde la antigüedad hasta comienzos del siglo XIX. En él se analiza la historia del comercio y el impacto que para su desarrollo tuvo cada aporte ingenieril en cada momento de la historia. En esta entrega se describe la relación entre la producción ingenieril y el desarrollo del comercio en la Edad Moderna.

2. Características generales del comercio y la ingeniería en la edad moderna

2.1 El proteccionismo

Con la Edad Moderna apareció el comercio oceánico y en él adquieren supremacía españoles, lusitanos, neerlandeses e ingleses. Al mismo tiempo se originan las grandes monarquías europeas, que toman a su cargo la protección y dirección del comercio, dictando leyes que llegan a constituir sistemas nacionales. Con el fin de fomentar la producción y la exportación, los Estados adoptan medidas proteccionistas, y el primer Código de este género fue el Acta de Navegación de Cromwell en 1651 [5]. A raíz de estas medidas con base en el monopolio, la restricción y la prohibición, nació el sistema aduanero que los franceses llamaron colbertismo, por haberlo implantado en Francia el ministro Colbert. Aparecieron también los tratados internacionales de comercio y navegación que daban a los traficantes múltiples garantías [6].

2.2 Objetos e instrumentos de tráfico

Las importaciones aumentaron en Europa durante este período. La lista de las mercancías asiáticas se modificó: las drogas, las gemas y las perlas pasaron a segunda línea; en cambio obtuvieron el primer lugar en los mercados europeos: el azúcar, el café, el trigo, el arroz, el algodón y el té, trasplantados con óptimos resultados desde América [7]. También se traían los productos indígenas: tabaco, cacao, añil, maíz, patatas, sustancias medicinales, oro, plata, etc. [8]. Pero la abundancia de los metales preciosos, importados del Nuevo Continente, rebajó considerablemente el valor de la moneda y produjo un alza en los precios. El tráfico de negros, iniciado ya sistemáticamente por los portugueses en 1340, tomó gran incremento [9].

A pesar del descubrimiento de América, los países europeos no descuidaron el comercio del Oriente por el Mediterráneo. A este fin, y con el objeto de combatir la piratería musulmana, se fundó en 1585 la Liga de los puertos provenzales, que envió embajadores al gran Sultán. Notables, aunque inútiles, fueron también los esfuerzos diplomáticos de Luis XIV para tratar con los turcos, a fin de dar paso al comercio francés para la India [10].

Luego de establecer el tráfico continuo con América, las exportaciones europeas aumentaron, pero no tanto como las importaciones, que consistían comúnmente de productos industriales [11]. Las manufacturas recibían especial estímulo, pero la agricultura estaba en pésimas condiciones por el

servilismo del trabajo y del suelo. Enormes territorios quedaban incultos. Una de las industrias que más progresó fue la de construcciones navales, siendo famosos los astilleros holandeses [12]. El tráfico terrestre disminuyó ante la primacía del comercio oceánico, pero siguieron celebrándose las grandes ferias instauradas en la Edad Media.

Los correos se regularizaron en toda Europa; Luis XI de Francia había sido el primero en convertirlos en una institución pública en 1464; a partir del siglo XVI, en Francia fueron monopolio del Estado. En esta época se comenzó a regularizar el crédito y hubo bancos del Estado en todos los países un tanto civilizados. Se restringió el uso de los metales preciosos y se estableció el debe y el haber de las cuentas corrientes [13]. Se difundió la letra de cambio, que llegó a ser un título perfectamente negociable a la orden y a la vista. En 1694 se fundó en Inglaterra el primer Banco de emisión y descuento. La primera ciudad que estableció una Bolsa de contratación fue Brujas. El derecho mercantil, con base en las costumbres establecidas principalmente por las ciudades italianas, los Países Bajos y el Ansa germánica, fue consolidándose, llegando a la institución de tribunales especiales para la decisión de los litigios mercantiles [14].

2.3 El desarrollo de la Ingeniería y de las ciencias

La edad moderna fue un período de importante desarrollo en los campos de la ciencia, la política, la guerra, la tecnología y la ingeniería [15]. También fue una época de descubrimiento y globalización. Durante este lapso de tiempo las potencias europeas, y más tarde sus colonias, comenzaron una colonización política, económica y cultural del resto del mundo [16]. La edad moderna está estrechamente asociada con el desarrollo del individualismo, el capitalismo, la urbanización y la creencia en las posibilidades positivas de los progresos tecnológicos y políticos [17]. Las guerras brutales y otros problemas de esta época, muchos de los cuales proceden de los efectos de los rápidos cambios y la pérdida de fuerza de las religiones tradicionales y las normas éticas, dieron lugar a numerosas reacciones en contra del desarrollo moderno [5].

3. Las naciones

3.1 Portugueses y españoles

Tráfico con Oriente. De acuerdo con las ideas jurídicas y comerciales de la época, los portugueses se reservaron la exclusividad de navegar por los rumbos que habían descubierto en Oriente. Las principales plazas de su comercio fueron Mozambique, de donde obtenían marfil, oro, ébano, esclavos, algodón, etc.; Socotora, a la entrada del golfo Árabe, de donde embarcaban aloe, dátiles y perfumes; Ormuz, adonde confluían los productos de Siria y de Mesopotamia, y los puertos de la India. Aunque en virtud de la famosa línea de demarcación fijada por el papa Alejandro VI [18], los portugueses conquistaron el inmenso territorio del Brasil, los

holandeses les impidieron establecer en América un comercio importante. De todos modos, su tráfico de esclavos con el Nuevo Mundo fue muy activo. Como antes Venecia, Lisboa fue el principal intermediario del comercio oriental, que ya no se hacía por los puertos mediterráneos, sino directamente por los mares del Sur. Pero en su propia casa los portugueses fueron suplantados en tal tráfico por los extranjeros, sobre todo por ingleses y neerlandeses, y al incorporarse Portugal a la Corona de España en la persona de Felipe II tras la batalla de Alcazarquivir [19], se inició definitivamente su decadencia comercial.

El comercio español. Los españoles desatendieron el comercio por su amor a las glorias militares. Su educación y carácter los disponían más para la conquista y la búsqueda de tesoros fabulosos, que para la colonización de los inmensos territorios que iban descubriendo. El conquistador fue un verdadero profesional, que no deseaba sino aventuras y hallazgos milagrosos [20], a pesar de los buenos intentos de algunos monarcas que recomendaban a los colonos atendieran, no sólo al honor nacional y al respeto de la fe, sino también al cultivo de los campos, el conocimiento, la cultura y la ciencia que se encontrarán.

Sin embargo, los Reyes Católicos, al considerar el porvenir que se ofrecía a sus reinos, fomentaron mucho la marina mercante, prometiendo primas especiales a los ingenieros que construyeran naves de más de 600 toneladas [21], y prohibiendo el transporte en barcos extranjeros cuando los españoles estaban disponibles en el mismo puerto. A principios del siglo XVI, la flota mercante española contaba con cerca de un millar de unidades. Los puertos de Vizcaya y Guipúzcoa exportaban minerales a Inglaterra y a Flandes. El litoral mediterráneo era visitado por los genoveses, que tenían en él numerosas casas de cambio. El comercio español con América era activo; pero los extranjeros se aprovechaban de él más que los mismos españoles, por lo que los capitales, inclusive antes de la conquista de América, estaban en constante emigración. Esta emigración era el resultado inmediato de la expulsión de judíos, decretada en 1492 por los Reyes Católicos. En 1499 se dictó, para evitar la salida de metales, una ley que prohibía a los extranjeros ser cambistas. Pero, a pesar de esa ley, los genoveses eran, en 1528, dueños de los grandes negocios, no sólo en la parte oriental de la Península, sino en el resto de ella: hacían fuertes préstamos, se habían apoderado del tráfico de la seda, monopolizaban el comercio interior de cereales, de lanas y de acero, y algunas aduanas se hallaban en sus manos [22]. Las exportaciones a las colonias consistían en materiales de construcción, granos, pieles y cuantas manufacturas se hacían en Castilla. Además, controlaban el tráfico de conocimiento para las construcciones navales, el aprovechamiento del acero en máquinas militares y en ingeniería civil [23].

En 1542, Carlos V organizó el tráfico de las Indias Occidentales, excluyendo de él a quienes no pertenecieran a la Corona de Castilla, con graves daños para los puertos que no se incluían en ese reino, y haciéndolo circular por un cauce único: la Casa de Contratación de Sevilla. Cádiz compartió más tarde con Sevilla el monopolio del tráfico con América. El único fin de esta centralización era obtener de las colonias la mayor cantidad posible de metales preciosos. Las colonias debían pagar un tributo no menor de 42.000.000 de francos a la metrópoli. El monopolio excesivo del comercio y la fama de las cantidades de oro que afluían a la Península, extraídas por esclavos negros en las minas del Perú, suscitaban la codicia de los navegantes neerlandeses e ingleses que ejercían el contrabando a gran escala [24]. Para este desarrollo mercantil fue fundamental la labor de los ingenieros navales, quienes habían obtenido su conocimiento de los árabes y que ahora lo aplicaban en construcción de puertos más grandes y seguros, lo mismo que de naves de mayor capacidad y alcance para las travesías al nuevo continente [25].

Causas de la decadencia española. Las guerras de conquista, las de religión, la emigración a América, la expulsión de hebreos y moriscos, en quienes radicaban las industrias agrícolas y manufactureras del país –por ser ingenieros consumados–, y el sistema de colonización a base de monopolios, prohibiciones y privilegios, determinaron la despoblación y decadencia de España, que a pesar de su inmenso imperio colonial se vio reducida a la miseria, al atraso tecnológico y a la deserción de los grandes inventores. En 1713, Felipe V intentó sacar al país de su postración, ordenando plantaciones, mejorando las vías de comunicación, aboliendo aduanas e instituyendo nuevas manufacturas. Entre 1759 y 1788, Carlos III reguló el servicio postal, abrió las hoy llamadas carreteras reales, garantizó la seguridad pública y construyó canales y puertos [26]. Todas las antiguas nacionalidades ibéricas fueron admitidas al tráfico con América y a la colonización: se fundaron varias Compañías comerciales y se instituyó una línea de barcos correos que mensualmente partían para Cuba, Puerto Rico y La Plata. Emulando lo hecho antes por los Ptolomeos en Alejandría, instauró un plan de recuperación de científicos y nacionalización del conocimiento, con el objetivo de recuperar la ingeniería gloriosa que antes poseía la nación. Pero todos estos elementos de progreso llegaron un poco tarde, y a pesar de la laboriosa reorganización del país y de las colonias, de donde desaparecieron los abusos de mayor gravedad, el comercio desarrollo español no llegó a recuperar lo perdido [8].

3.2 Los Países Bajos

Guerras económicas. Una disposición de Felipe II, posterior a las guerras que España sostuvo en Flandes, prohibía todo comercio entre Holanda y la Península. Los holandeses, en vez de surtirse en Lisboa de los

productos orientales y mediterráneos, se vieron obligados a utilizar efectuar rutas cada vez más largas. En 1598, una flota holandesa llegó a Java, al mando de Van Neck, y se apoderó de algunos de los establecimientos que los portugueses tenían en las Molucas [27]. Desde entonces comenzó la sangrienta lucha entre lusitanos y neerlandeses en Oriente, siendo su único fin la hegemonía comercial. En 1615 los portugueses fueron expulsados de Amboyno; en 1651, de Malaca; en 1658, de Ceilán, y en 1660, de la Célebes.

La supremacía holandesa. El comercio oriental le propició a Holanda grandes riquezas cuyo centro era Batavia. Para explotar ese tráfico se fundó en 1602 la Compañía Holandesa de las Indias Orientales, autorizada por el Estado. En 1621, se fundó otra Compañía similar por los neerlandeses para el comercio de las Indias Occidentales, cuando hacía ya treinta años del establecimiento en la Guayana y luego de haber descubierto Hudson la bahía que lleva su nombre. En el Nuevo Mundo los holandeses se distinguieron como contrabandistas. En África colonizaron los establecimientos de Angola y del Cabo, de donde sacaban grandísimas cantidades de oro y numerosos esclavos. El desarrollo de las ciencias y la ingeniería como soporte comercial no ofrece relevancia para Holanda, ya que sus logros fueron más producto de la copia y el rapto que de producción propia [28]. Ya fuera en lo naval, lo civil o lo militar, su ingeniería no pasó de ser un plagio de las naciones que comenzaron antes que ellos el desarrollo de dichas áreas para el comercio y el progreso [29]. Ante la supremacía comercial de Holanda, los demás países europeos rivalizaban en hostilizarla. El Acta de Navegación de Cromwell, que acentuó el sentido proteccionista de Inglaterra, y las guerras sucesivas con este país y con Francia, que acabaron con sus colonias americanas, aceleraron la ruina exterior de Holanda.

3.3 La Gran Bretaña

Comienzos de la hegemonía inglesa. Destruida la Armada Invencible que Felipe II enviara a Inglaterra (1588), se afirmó la preponderancia naval británica. Sus naves, que habían explorado la América septentrional, hicieron muchos viajes de conquista durante el reinado de Isabel y fundaron las primeras bases de un vastísimo imperio colonial. La decadencia de Amberes favoreció, no sólo a Ámsterdam, sino también a Londres, que la suplantó en el comercio por el Mar del Norte. En 1576 se fundó la primera Bolsa inglesa de contratación. Se formaron dos Compañías para colonizar los territorios descubiertos en América: la de Londres, para la parte meridional de los mismos, llamada Virginia, y la Compañía de Plymouth, para la región septentrional. En 1601 se formó la Compañía de comerciantes de la India Oriental, que estableció factorías en Java, las Molucas y el Malabar. En 1636 esta Compañía, que había vencido la competencia del Ansa germánica, obtuvo licencia para traficar en Bengala, y fundó factorías en

Madrás, Calcuta y Bombay [30]. Un siglo más tarde se fundó en Inglaterra la famosa Compañía monopolizadora del Mar del Sur para el comercio de Suramérica. Esta Sociedad, por haber asumido el débito del Estado y haberse prestado a especulaciones ilegales, llevó a la bancarrota a la mayoría de los capitalistas ingleses.

El "Acta de Navegación". Les faltaba a los ingleses vencer la competencia holandesa, y Cromwell lo consiguió con su Acta de Navegación [31], por la cual: 1) se prohibía a los extranjeros el cabotaje en las Islas Británicas; 2) se imponían graves tributos a la pesca que los extranjeros vendían en Inglaterra; 3) se reservaba a los nacionales el comercio con las colonias; 4) el comercio europeo se regulaba de manera que sólo lo podían efectuar naves inglesas o del país de origen, y 5) el comercio mundial, o sea el de Asia, África y América no coloniales, se declaraba monopolio, y las mercaderías se debían traer directamente del país de origen. Esta ordenación se mantuvo vigente hasta 1849 [8].

Caracteres de la industria y del comercio inglés. Al propio tiempo que adquiría el dominio del mar, Inglaterra desarrollaba sus industrias. Irlanda y Escocia tejían el lino y el algodón. Manchester establecía la primera fábrica de estampados. La lanería, muy antigua en Inglaterra, recibía singular protección, así como las industrias mineras. La revolución de 1688 fue muy beneficiosa al comercio. Guillermo III instituyó el Consejo del Comercio y de las Colonias. La política de antagonismo contra los Borbones del nuevo gobierno, produjo al fin la hegemonía marítima y económica de Inglaterra. Por otra parte, la división del trabajo, el espíritu de asociación, un sistema corporativo menos tiránico que los del continente, la emigración de los Hugonotes (1573), la excelencia de los instrumentos y máquinas que se iban introduciendo en las industrias, y la inmensidad del horizonte colonial que ofrecían las posesiones de la metrópoli, contribuían conjuntamente al desarrollo industrial del país [32].

Para fomentar la industria textil se fundó la Sociedad de los Cien millones. Las sederías inglesas comenzaron a equipararse con las de Francia. Manchester se convirtió en el emporio de la industria algodonera, que se desarrolló prodigiosamente después de la invención de la *spinning jenny* o máquina hiladora de Highs y Ray [33]. Se generalizó el uso del carbón fósil en las manufacturas. El hierro y otros metales se industrializaron en Birmingham. Sheffield ocupó el primer lugar en la producción de instrumentos de acero [20]. La pesca del bacalao tomó gran incremento en las costas escocesas. Antes de la fusión de Inglaterra y Escocia en 1702 ya se habían abolido las aduanas entre los dos países. Se construyeron varios canales, entre ellos el que une Manchester con Liverpool. El tratado de Lord Methuen convertía a Portugal en un feudo mercantil de Inglaterra, y absorbía, al propio tiempo, el comercio

de Alemania. La paz de Utrech (1713) daba a los ingleses Terranova. Medio siglo después, Francia le cedía Canadá. La navegación a través del Atlántico se había regularizado en 1718. Para facilitar la circulación del capital y regular las operaciones fiduciarias, surgieron muchos establecimientos de crédito. Los Bancos escoceses tuvieron el carácter de Bancos agrarios y Cajas de Ahorro y contribuyeron a difundir la vida económica del país. La independencia de algunas de sus colonias del Nuevo Mundo (1774-1783), señala el fin de esta época, para Inglaterra, y se constituyen los Estados Unidos del Norte de América [14].

3.4 El comercio francés

El resurgimiento. Las guerras de Italia (1494-1559) y las religiosas (1562-1598) dificultaron en gran manera el desarrollo económico de Francia. La vida comercial, que se había manifestado intensamente en las antiguas e importantes ferias de Saint-Denis y Champaña, y en las industrias de Lyon y Troyes, se refugió en los Países Bajos. Enrique IV, con el edicto de Nantes que restablecía la paz interior, inició la restauración de las industrias y del tráfico mercantil. Pero el asesinato del rey y la retirada de su ministro Sully, interrumpieron el resurgimiento económico hasta el advenimiento de Colbert en 1561.

La obra económica de Colbert. Con su política económica, el ministro de Luis el Grande rebajó los derechos fiscales de las primeras materias, necesarias para las industrias nacionales, y gravó los géneros manufacturados extranjeros que podían hacerles competencia. Para emular y alentar las iniciativas privadas, fundó establecimientos dependientes del Estado y estimuló las industrias [34]. Introdujo en los reglamentos de la marina mercante ordenanzas que desarrollaron considerablemente su poderío, fundando además la Compañía de las Indias Orientales, que no dio los resultados esperados por que la economía francesa no se hallaba suficientemente organizada. Publicó un Código de Comercio, reguló la jurisdicción mercantil, estableció la llamada balanza comercial, construyó los arsenales de Dunkerque, Brest, el Havre y Tolón e inició la colonización de la Luisiana. Este período señala el apogeo de la expansión marítima y comercial francesa durante la Edad Moderna, y de su prosperidad industrial. El exceso de producción de las industrias suscitó el deseo de obtener nuevos mercados y de afrontar todos los peligros para obtenerlos [35]. Así se explica que los navegantes franceses, a imitación de ingleses y flamencos, sus competidores, fuesen contrabandistas y filibusteros, al mismo tiempo que descubridores y mercaderes.

Causas económicas de la revolución. A pesar del renacimiento industrial y comercial iniciado por el proteccionismo, la agricultura francesa languidecía. La situación económica de las poblaciones rurales nunca fue peor que en tiempos de Luis XIV, cuando la corte de Versalles hacía más ostentación de riquezas. Al revocar Luis XIV el Edicto de Nantes, y por lo tanto

al resurgir las pasiones religiosas, emigraron de Francia millares de personas que se dedicaban a la industria, llevando consigo sus conocimientos y actividades a Inglaterra, Países Bajos y Alemania. En pocos años, Francia se halló en plena crisis [36]. El tratado de Utrech la desposeía de su imperio colonial. La crisis adquirió caracteres de gravedad durante la regencia de Luis XV. El iluso Juan Law convenció al regente de que se podía aumentar la circulación con la emisión indefinida de papel moneda, de curso forzoso. Para ello creó un Banco privado que funcionó regularmente al principio, y luego fundó la Compañía de las Indias Occidentales y del Misisipí. En 1718, el Banco fue declarado Banco Real, pero ambos establecimientos se arruinaron con la especulación. Al poner en práctica el sistema del curso forzoso de Juan Law, hubo en Francia una profunda perturbación económica que paralizó el comercio y arruinó la industria, preparando el advenimiento de la Revolución [32].

3.5 Otros pueblos europeos

Italia. Del siglo XV al XVIII, mientras prosperaban y decaían españoles, lusitanos, holandeses, británicos y franceses, los demás pueblos europeos estaban en una gran depresión económica. Italia perdió por completo su supremacía mercantil y marítima. A pesar de ello, en el siglo XVI florecieron maravillosamente en su suelo las artes y las letras [37]. El resurgimiento de la cultura clásica es obra casi exclusiva de Italia. Pero este esplendor espiritual se apagó en el siglo XVII. Las guerras interiores y exteriores, las de sucesión, el amor al lujo, la corrupción de costumbres y otras causas aceleraron su decadencia. Durante la Edad Moderna, franceses y españoles convirtieron a Italia en teatro de sus ambiciones políticas, sembrando la ruina en sus ciudades, destruyendo su marina mercante y aniquilando muchas de sus industrias. Venecia perdió todos sus mercados de Oriente. Ante la fiebre de descubrimientos y conquistas que reinó durante los siglos XVI y XVII, los marinos italianos se vieron obligados a prestar sus servicios a españoles, portugueses e ingleses, faltos como estaban de protección en su país. Esto explica que ningún Estado de la península transalpina haya tenido colonias en el Nuevo Mundo [38].

Alemania. La famosa Ansa germánica sólo reunía, en el siglo XVI, tres ciudades: Hamburgo, Lubeck y Brema. Con ella cayó la importancia del comercio marítimo de Alemania, mientras el tráfico por el Danubio quedaba interrumpido por los turcos. No obstante, la revolución religiosa tuvo cierta importancia económica. Lutero honró de modo particular la agricultura, abolió muchas festividades en provecho de la austeridad y del trabajo, y el dinero comenzó a circular con menos trabas en la industria y en los Bancos [39]. Pero la guerra de los treinta años devastó Alemania y causó nuevas perturbaciones durante la primera mitad del siglo XVII. A pesar de ello, el país fue reponiéndose, la agricultura renació y las industrias volvieron a

florecer en Nuremberga, Meissen, Leipzig, Chelmnitz y otras ciudades. La generalización del consumo de productos extranjeros como tabaco, té, café, etc., estimuló el comercio con los países remotos, y las tres ciudades hanseáticas recobraron algo de su antiguo esplendor. El comercio del Sur de Alemania se hacía por el Rin y se concentraba en Ámsterdam. A las guerras de religión y sucesión sobrevivieron algunas ferias antiguas, como las de Leipzig, Francfort del Mein y Brunswick.

Los países escandinavos. Los daneses, que en los siglos IX y X habían descubierto Islandia y la América septentrional, fueron completamente tributarios del Ansa germánica hasta el advenimiento de Cristián III (1513 y 1523). Colonizaron la Groenlandia y otras regiones americanas y hasta llegaron a poseer una Compañía de las Indias Orientales, que fue próspera cuando se inició la decadencia holandesa. Dos siglos antes, en 1397, Suecia había abolido los privilegios del Ansa y concluido tratados de comercio con Inglaterra, los Países Bajos y Francia. Como los daneses, los suecos tuvieron una Compañía para el comercio de Oriente, la cual traficaba especialmente con China. Sin poseer colonias, Suecia dio gran impulso al comercio exterior. El rey Gustavo Adolfo favoreció el desarrollo de la industria minera; pero su política guerrera arruinó a Suecia, pasando todo su tráfico a Dinamarca. Noruega era, de los tres Estados escandinavos, el que más productos ofrecía a la exportación: pieles, manteca, arenques y, sobre todo, maderas, muy solicitadas en Holanda e Inglaterra para las construcciones navales [40].

Rusia. Tanto Suecia como Polonia, que al unirse con Lituania tuvo acceso al mar, procuraron durante mucho tiempo tener alejado de las costas al Estado moscovita. Pero, en 1553, los ingleses descubrieron la vía marítima de las costas bálticas, y entonces se formó en Inglaterra una Compañía para establecer relaciones directas con el Norte de Rusia. Al poco tiempo el puerto de Arcángel tomó gran importancia y fue visitado, no sólo por navíos británicos, sino de todos los países septentrionales de Europa. Pedro el Grande fundó astilleros en Arcángel, dictó una serie de *ukases* para organizar y favorecer el comercio exterior, y abrió canales entre el Ladoga y el Volga y entre éste y el Don, para enlazar el Mar Blanco con el Báltico [41]. Estimuló la producción de cereales, del tabaco, del lino, la minería, etc., y puso en vigor un sistema aduanero proteccionista. Catalina II extendió sus dominios hasta el Mar Negro, convirtiendo a Rusia en un país mediterráneo. Sin embargo, el comercio exterior estuvo siempre en manos de extranjeros, especialmente de ingleses.

Los turcos en Europa. Con la conquista turca, el comercio y la cultura emigraron de Constantinopla. Mahomet, Bajazet y Solimán II sólo se ocuparon de guerras y conquistas e imposibilitaron el tráfico exterior. Pero después de la muerte de Solimán, y dado que los griegos y eslavos conocían la indiferencia de los otomanos por todo lo que al comercio se

refería, se apoderaron de sus mercados, los suplantaron aún en los trabajos públicos de su propio país, y juntamente con los hebreos se apoderaron de la Banca. En la Historia del Comercio y de la Ingeniería, los turcos representan en esta época un papel puramente negativo, por cuanto infestaron las costas mediterráneas de piratas y contribuyeron con ello a la decadencia de los puertos italianos [21].

4. El final de la Edad Moderna

Históricamente se acepta a la Edad Moderna como un período de la historia de la humanidad que se extiende, de acuerdo con algunos historiadores, desde cuando los turcos toman Constantinopla en 1453 hasta la Revolución Francesa de 1789; pero otros indican su inicio con el descubrimiento de América en 1492 o el inicio de la Reforma Protestante de 1517.

Aunque no se llegue a un acuerdo en esto de las fechas, durante este periodo se sucedieron grandes acontecimientos en el comercio y la ingeniería. Sobresalen la invención de la imprenta, los grandes descubrimientos geográficos, el Renacimiento, la Reforma Protestante, la Contra-reforma Política, entre otros. Con el paso de los años, las ciudades habían crecido y se desató un desarrollo urbano sin precedentes en Europa.

Con ese crecimiento urbano también se produjeron cambios en el sistema económico, el desarrollo del comercio por el Mediterráneo, y el crecimiento de la actividad ingenieril y de la industria, que aprovecharon los burgueses, una clase social que crecía al mismo ritmo que las ciudades [5]. Toda esa actividad dio paso a la necesidad de nuevas tierras, en las que se consiguieran nuevas materias primas, lo que así mismo permitió el advenimiento de nuevos mercados para comerciar e intercambiar conocimiento.

La Edad Moderna se subdivide de acuerdo con los acontecimientos que se sucedieron en:

1492-1571. Etapa de la hegemonía española que está definida por las guerras entre protestantes, que buscan reformar la Iglesia, y los católicos, comandos por los españoles quienes lideran la Contra-reforma. En este período se da el esplendor económico y financiero de Europa, pero los turcos lo amenazan con su dominio sobre el Mediterráneo.

1571-1619. En esta etapa se incrementan las tensiones nacionalistas entre los Estados europeos. Se presenta una crisis a nivel económico y se recrudecen los problemas religiosos, lo que lleva al surgimiento de guerras entre estos Estados.

1619-1688. Se da origen a la llamada Guerra de los Treinta Años, que de un modo u otro involucró a todos los Estados europeos. Sus dañinos efectos tuvieron eco hasta finalizando el siglo XVII. En esta etapa Francia logra la máxima hegemonía, y España, con su

casa de Habsburgo, lo mismo que el Imperio Germánico, son los más golpeados al finalizar dicha guerra.

1688-1725. Luego de finalizada la guerra, se origina una reorganización total para determinar las fronteras de cada Estado, de lo se fortalecen Inglaterra y Rusia. Al no confiar en sus vecinos y debido a la necesidad de materias primas y de tierras, las naciones se lanzan en una carrera por conquistar más allá del Mediterráneo.

1725-1789. Surge el fenómeno del Despotismo Ilustrado, debido en parte a que el Antiguo Régimen presentaba una estructura que flaqueaba, y a que fue una etapa en la que las reformas eran tímidas y sólo buscaban mantener el status social que los burgueses habían logrado. Pero se sucedieron una serie de hechos, como la independencia de las colonias americanas, la revolución del pueblo francés, y las reformas al dominio de la iglesia, que pusieron fin a esta época en la historia.

5. Discusión de cierre

El concepto de ingeniería ha existido desde tiempos antiguos, cuando los seres humanos idearon invenciones fundamentales como la polea, la palanca, y la rueda. Cada uno de estos inventos es coherente con la definición moderna de ingeniería: explotar los principios básicos de la mecánica para desarrollar herramientas y objetos útiles. El término ingeniería en sí tiene una etimología mucho más reciente, derivada de la palabra ingeniero, que se remonta a 1325, cuando un *engine'er*, literalmente, quien opera un motor, se refería originalmente a "un constructor de motores militares" [42]. En este contexto, ahora en desuso, un "motor" se refiere a un aparato militar, como un artillugio mecánico utilizado en la guerra, por ejemplo, una catapulta. La palabra "motor" en sí es de origen aún más antiguo, y en última instancia se deriva del latín *ingenium* –1250–, que significa "cualidad innata", especialmente poder mental, por consiguiente, "una invención ingeniosa" [43]. Más tarde, dado que el diseño de estructuras civiles, como puentes y edificios, maduraba como una disciplina técnica, la ingeniería civil entró en el léxico como una forma de distinguir entre aquellos que se especializaban en la construcción de tales proyectos no militares y los que participaban en la disciplina más antigua de la ingeniería militar [29].

En esta serie de artículos [44], [45] se ha descrito la influencia de la ingeniería en el desarrollo del comercio a lo largo de la historia de la humanidad. A continuación se presenta un recorrido por los hechos más sobresalientes de la ingeniería en cada una de las edades de esa historia.

Edad Antigua. La Acrópolis y el Partenón en Grecia, los acueductos romanos, la Vía Appia y el Coliseo, los Jardines Colgantes de Babilonia, el Faro de Alejandría, las pirámides de Egipto, Teotihuacán y las

ciudades y pirámides de los imperios Maya, Inca y Azteca, la Gran Muralla de China, entre muchos otros, son como un testamento de la creatividad y la habilidad de los ingenieros civiles y militares antiguos. El primer ingeniero civil conocido por su nombre es Imhotep [42]. Como uno de los funcionarios del Faraón Zoser, probablemente diseñó y supervisó la construcción de la pirámide escalonada de Zoser en Saqqara en Egipto, alrededor de 2630-2611 A.C. [46]. También puede haber sido responsable del primer uso conocido de columnas en la arquitectura.

En la antigua Grecia se desarrollaron máquinas tanto en los ámbitos civiles como militares. El mecanismo de Antikythera, el primer modelo conocido de un equipo mecánico en la historia, y los inventos mecánicos de Arquímedes, son ejemplos de la ingeniería mecánica de entonces. Algunos de los inventos de Arquímedes, así como el mecanismo Antikythera, requieren un conocimiento sofisticado de transmisión diferencial o engranaje epicíclico, dos principios fundamentales en la teoría de las máquinas que ayudaron a diseñar los trenes de engranaje en la revolución industrial, y que son ampliamente utilizados en la actualidad en diversos campos como la robótica y la ingeniería de automóviles [47]. Los ejércitos chinos y romanos emplearon complejas máquinas militares, incluyendo la ballesta y catapulta.

Edad Media. Un iraquí de nombre al-Jazarī construyó cinco máquinas para bombear agua para los reyes de la dinastía turca Artuqid y sus palacios. Además de más de 50 dispositivos mecánicos ingeniosos, al-Jazarī también desarrolló e hizo innovaciones a los engranajes segmentarios, los controles mecánicos, los mecanismos de escape, los relojes, la robótica, y los protocolos para el diseño y métodos de fabricación. El ingeniero británico Donald Routledge Hill escribió alguna vez: "Es imposible hacer hincapié sobre la importancia del trabajo de al-Jazari en la historia de la ingeniería, ya que ofrece una gran cantidad de instrucciones para el diseño, fabricación y montaje de máquinas" [48]. Incluso hoy en día algunos juguetes siguen utilizando el mecanismo de la leva de palanca hallado en la cerradura de combinación de al-Jazarī.

El Renacimiento. A William Gilbert se le conoce como el primer ingeniero eléctrico, con su publicación de 1600 "De Magnete", en el que acuñó el término "electricidad" [34]. La primera máquina de vapor fue construida en 1698 por el ingeniero mecánico Thomas Savery. El desarrollo de este dispositivo dio lugar a la revolución industrial en las próximas décadas, lo que permitió el inicio de la producción en masa. Con el desarrollo de la ingeniería como profesión en el siglo XVIII, el término se hizo más restrictivo y aplicado a campos en los que las matemáticas y la ciencia se aplicaban a estos fines. Del mismo modo, además de la ingeniería militar y la civil, las artes mecánicas también se incorporaron a la ingeniería.

Era Moderna. La Ingeniería Eléctrica puede remontar sus orígenes a los experimentos de Alessandro Volta en el siglo XIX, los experimentos de Michael Faraday, Georg Ohm y otros, y a la invención del motor eléctrico en 1872. El trabajo de James Maxwell y Heinrich Hertz en el siglo XIX dio lugar al campo de la electrónica. Los posteriores inventos del tubo de vacío y el transistor aceleraron el desarrollo de la electrónica, de tal manera que los ingenieros eléctricos y los electrónicos actualmente superan en número a sus colegas de cualquier otra especialidad de Ingeniería [49]. Los inventos de Thomas Savery y el ingeniero escocés James Watt dieron origen a la moderna Ingeniería Mecánica. El desarrollo de máquinas especializadas y sus herramientas de mantenimiento, durante la revolución industrial, llevó al rápido crecimiento de la Ingeniería Mecánica, tanto en su natal Gran Bretaña como en el extranjero [21]. La Ingeniería Química, al igual que su contraparte de la Ingeniería Mecánica, se desarrolló en el siglo XIX durante la Revolución Industrial [3]. La fabricación a escala industrial demandó nuevos materiales y nuevos procesos, y en 1880 la necesidad de producción a gran escala de productos químicos fue tal que se creó una nueva industria dedicada al desarrollo y la fabricación de productos químicos en las nuevas plantas industriales [17]. El papel del ingeniero químico fue diseñar estas plantas y procesos químicos.

La Ingeniería Aeronáutica comenzó con el diseño de las aeronaves, mientras que la Ingeniería Aeroespacial es un término más moderno cuyo objetivo es el diseño de naves espaciales [50]. Sus orígenes se remontan a los pioneros de la aviación a comienzos del siglo XX, aunque el trabajo de Sir George Cayley

recientemente ha sido datado como de la última década del siglo XVIII. Los primeros conocimientos de la ingeniería aeronáutica fueron en gran parte empíricos, con algunos conceptos y habilidades importados de otras ramas de la ingeniería. Sólo una década después de los vuelos con éxito por los hermanos Wright, en la década de 1920 se dio un amplio desarrollo a la ingeniería aeronáutica en plena Primera Guerra Mundial para las aeronaves militares. Mientras tanto, la investigación para proporcionar una ciencia como base fundamental ha continuado con la combinación de la física teórica en los experimentos [24]. En 1990, con el auge de la tecnología informática, el primer motor de búsqueda fue construido por el ingeniero informático Alan Emtage.

En los siglos XVIII y XIX se dio un fuerte desarrollo en la ciencia y el método científico, aunque se utilizaba muy escasa. La aplicación más sobresaliente fue para innovar las máquinas textiles que hasta ese momento se habían fabricado. El surgimiento de especialidades de ingeniería que se dio desde entonces se debe precisamente al progreso de la ciencia [13]. Si bien se tenía a la ingeniería civil y la militar, para finales del siglo XVIII y comienzos del XIX, aparecieron la mecánica, la eléctrica, la industrial, la química, la electrónica, y más recientemente la nuclear, la bioquímica, la de transportes y la informática [51]. Un avance que se ha logrado obviamente gracias al progreso del conocimiento y a que los problemas han crecido en complejidad, lo que imposibilita que con una sola disciplina los pueda resolver eficientemente.

REFERENCIAS

1. M. Dunan. "Larousse Encyclopedia of Modern History, From 1500 to the Present Day". New York: Harper & Row, 1964.
2. Modern Age. "The American Heritage Dictionary of the English Language". Fourth Edition. 2000.
3. H. Miller & A. Newman. "Early modern British history, 1485-1760: a select bibliography". Historical Association, 1970.
4. H. Petroski. "The Evolution of Useful Things: How Everyday Artifacts-From Forks and Pins to Paper Clips and Zippers-Came to be as they are". New York: Vintage. 1994.
5. W. G. Armytage. "A social history of engineering". London: Faber, 378 p. 1966.
6. R. Romano & A. Tenenti. "Los fundamentos del mundo moderno. Edad Media tardía, Renacimiento, Reforma". Madrid: Siglo XXI. 1971.
7. I. Wallerstein. "El moderno sistema mundial. La agricultura capitalista y los orígenes de la economía-mundo europeo en el siglo XVI". Madrid: Siglo XXI. 1979.
8. E. Martínez. "Progreso tecnológico: la economía clásica y la economía neoclásica tradicional". En E. Martínez (Ed.) "Ciencia, tecnología y desarrollo: interrelaciones teóricas y metodológicas". Caracas: UNESCO. 221 p. 1994.
9. J. Kérisel. "Down to earth: foundations past and present: the invisible art of the builder". Rotterdam: A. A. Balkema, 147 p. 1987.
10. L. P. Martínez S. "Historia de la Técnica". En J. Sanmartín, S. H. Cutcliffe, S. L. Goldman & M. Medina (Eds.) "Estudios sobre sociedad y tecnología". Barcelona: Anthropos. 1992.
11. W. B. Parsons. "Engineers and Engineering in the Renaissance". Cambridge: MIT Press. 1939.
12. C. Singer, E. J. Holy, E. J. Holmyard & A. R. Hall. "A History of Technology". Oxford: Oxford University Press. 1954.
13. C. Lord. "Guide to Information Sources in Engineering". Englewood: Libraries Unlimited. 2000.
14. I. Wallerstein. "El moderno sistema mundial II: El mercantilismo y la consolidación de la economía-mundo europea, 1600-1750". Madrid: Siglo XXI. 1984.
15. W. G. Vincenti. "What Engineers Know and How They Know It: Analytical Studies from Aeronautical History". Baltimore: The Johns Hopkins University Press. 1993.
16. D. Hill. "A History of Engineering in Classical and Medieval Times". La Salle: Open Court. 1984.
17. E. Benvenuto. "An Introduction to the History of Structural Mechanics". New York: Springer-Verlag. 1991.
18. F. Braudel. "Civilización material, economía y capitalismo, siglos XV-XVIII". Madrid: Alianza. 1984.

19. R. Mousnier. "Los siglos XVI y XVII. El progreso de la civilización europea y la decadencia de Oriente (1492-1715)". Barcelona: Destino. 1974.
20. R. A. Buchanan. "The rise of scientific engineering in Britain". *British Journal for the History of Science*, Vol. 18, pp. 218-233. 1985.
21. J. K. Finch. "The story of engineering". Garden City: Doubleday. 528 p. 1960.
22. O. Mayr. "The Origins of Feedback Control". Cambridge: MIT Press. 1970.
23. H. Petroski. "To Engineer Is Human: The Role of Failure in Successful Design". New York: Vintage Books. 1992.
24. J. G. Skakoon & W. J. King. "The Unwritten Laws of Engineering". New York: ASME Press. 2001.
25. R. S. Woodbury. "Studies in the History of Machine Tools". Cambridge: MIT Press. 1972.
26. F. Crozet. "The First Industrialists: The Problems of Origins". New York: Cambridge University Press. 1985.
27. P. Aries & G. Duby. "Historia de la vida privada". Madrid, Taurus. 1992.
28. L. S. De Camp. "The ancient engineers". Cambridge: MIT Press, 408 p. 1970.
29. E. G. Garrison. "A history of engineering and technology: Artful methods". Boca Raton: CRC Press, 347 p. 1999.
30. D. F. Channell. "The history of engineering science: an annotated bibliography". New York: Garland, 311 p. 1989.
31. H. Straub. "A History of Civil Engineering: An Outline from Ancient to Modern Times". Cambridge: MIT Press. 1952.
32. A. Neuburger. "The technical arts and sciences of the ancients". Translated by Henry L. Brose, New York: Barnes & Noble, 518 p. 1969.
33. J. K. Finch. "Engineering Classics". Kensington: Cedar press. 1978.
34. A. E. Musson & E. Robinson. "Science and Technology in the Industrial Revolution". Toronto: University of Toronto Press. 1969.
35. L. C. Bruno. "The tradition of technology: landmarks of Western technology in the collections of the Library of Congress". Washington: Library of Congress, 356 p. 1995.
36. P. Vilar. "Oro y monedas en la historia (1450-1920)". Barcelona: Ariel. 1969.
37. A. Grafton. "Leon Battista Alberti: Master Builder of the Italian Renaissance". New York: Hill and Wang. 2000.
38. I. Calvino. "El barón rampante (Italia, siglo XVIII)". Madrid: El País. 2002.
39. A. F. Burstall. "A history of technical engineering". London: Faber and Faber, 456 p. 1963.
40. T. F. Peters. "Transitions in Engineering". Basil: Birkhäuser Verlag. 1987.
41. N. A. F. Smith. "The origins of the water turbine and the invention of its name". *History of Technology*, Vol. 2, pp. 215-59. 1977.
42. R. S. Kirby. "Engineering in History". New York: Dover. 1990.
43. A. Williams. "Engineering feats: great achievements simply described". London: T. Nelson and Sons, 263 p. 1925.
44. G. A. M. Saravia & L. F. Amorim. "Influencia de la ingeniería en el desarrollo comercial de la humanidad: Edad Antigua". *Lámpsakos*, No. 2, pp. 79-89. 2009.
45. G. A. M. Saravia & L. F. Amorim. "Influencia de la Ingeniería en el desarrollo comercial de la humanidad: Edad Media". *Lámpsakos*, No. 3, pp. 54-66. 2010.
46. B. J. Kemp. "Ancient Egypt: Anatomy of a Civilization". London: Routledge. 2005.
47. P. Thuillier. "De Arquímedes a Einstein". Madrid: Alianza Editorial. 1990.
48. I. al-Jazarī. "Kitāb fī ma'rifat al-hiyal al-handasiyya". (1206) Donald R. Hill trans. "The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices". Islamabad. Pakistan Hijra Council. 1989.
49. L. P. Wheeler. "Josiah Willard Gibbs - the History of a Great Mind". Woodbridge: Ox Bow Press. 1998.
50. A. Valencia. "Breve historia de la ingeniería". *Revista Facultad de Ingeniería*. UdeA. No. 20, pp. 121-132. Junio 2000.
51. Y. C. Fung & P. Tong. "Classical and Computational Solid Mechanics". Singapore; River Edge. 2001. [Ω](#)

Analysis of Algorithms Used by the BI Software

Análise de Algoritmos Usados pelo Software para BI

Análisis a los Algoritmos Utilizados por el Software para BI

Curtis Cooke

*Oregon State University
Curtis.Cooke@oregonstate.edu*

(Artículo de INVESTIGACIÓN. Recibido el 22/02/2011. Aprobado el 17/05/2011)

Abstract

The purpose of this work is to examine which are the algorithms that use the most popular packages of software for BI. An initial informal inquiry show that current BI software package including the majority of algorithms described in the literature of the traditional statistical packages. Also, one of the main differences between BI software and the traditional statistical packages is that the first one has better characteristics for reports.

Keywords: *Business intelligence, algorithms, statistical packages.*

Resumo

O objetivo deste trabalho é analisar quais são os algoritmos que usam os pacotes de software popular para BI. Um levantamento inicial mostra que informal pacotes de software de BI atuais incluem a maioria dos algoritmos descritos na literatura tradicional de pacotes estatísticos. Além disso, uma das principais diferenças entre o BI e software para as tradicionais pacotes estatísticos é que o primeiro tem características melhores para os relatórios.

Palavras-chave: *Business intelligence, algoritmos, pacotes estatísticos.*

Resumen

El propósito de este trabajo es examinar cuáles son los algoritmos que utilizan los paquetes de software más populares para BI. Una encuesta inicial informal muestra que los actuales paquetes de software de BI incluyen a la mayoría de algoritmos descritos en la literatura de los paquetes estadísticos tradicionales. Además, una de las principales diferencias entre el software para BI y los paquetes estadísticos tradicionales es que el primero tiene mejores características para los reportes.

Palabras clave: *Inteligencia de negocios, algoritmos, paquetes estadísticos.*

1. Introducción

Inteligencia de Negocios se ha convertido gradualmente en un término popular en los sistemas de información. Actualmente existe una variedad de paquetes de software de BI en el mercado a pesar de que en realidad son una combinación de minería de datos, análisis estadístico, y funciones avanzadas de presentación de reportes. La minería de datos busca patrones ocultos en los *data warehouse* por lo que puede ayudar a los gerentes a tomar decisiones de negocio. Para descubrir esos patrones ocultos, los paquetes de software de BI utilizan una variedad de algoritmos para determinar la relación entre los datos y las variables. Si bien la mayor parte de esos algoritmos parecen ser similares a las tradicionales técnicas estadísticas, las empresas de software están promocionando al software de BI en el mercado como una herramienta de decisión nueva. Por lo tanto, el propósito de este trabajo es examinar los algoritmos utilizados por el popular software de BI.

Los algoritmos utilizados por el software de BI incluyen el análisis de regresión, los árboles de decisión, la asociación y el análisis de *cluster*. Mediante el uso de reglas de asociación, crean también un análisis a la canasta de compras. Este análisis le permite a una empresa conocer los productos o servicios relacionados cuando un cliente compra un determinado producto. Por ejemplo, si un cliente compra un pasaje de avión, entonces es probable que alquile un auto y haga una reserva de

hotel. El término "*Business Intelligence*", se utilizó por primera vez por Gartner Group en 1990 [1]. Un estudio de la literatura muestra que en los últimos años se han publicado varios libros de texto y artículos acerca de esta temática [1], [2].

2. Algoritmos para BI

De acuerdo con algunos académicos [1], [3], los algoritmos utilizados por la minería de datos se pueden clasificar en tres niveles:

1. Algoritmos simples: SQL queries
2. Algoritmos intermedios: regression analysis, decision trees
3. Algoritmos complejos: neural network, orthogonal partitioning clustering

Microsoft SQL Server [4] lista los siguientes algoritmos para BI:

1. Algoritmos de clasificación: decision trees.
2. Algoritmos de regresión: time series.
3. Algoritmos de segmentación: clustering
4. Algoritmos de asociación
5. Algoritmos de análisis de secuencia

3. Software para BI

Software para BI incluye a la mayoría de programas ERP relacionados como SAP [5], Oracle [6] y Microsoft Dynamics [7]. Los paquetes tradicionales de software estadístico también proporcionan funciones de BI, por

ejemplo, un paquete tradicional de software estadístico SAS ahora incluye funciones para BI.

Tanto SAP R-3 como Oracle son software ERP para grandes corporaciones. SAP R-3 vincula su software a un paquete separado llamado Business Warehouse – BW–, que es el software para inteligencia de negocios también ofrecidos por SAP. Debido a su fortaleza en data warehousing, Oracle también ofrece complejos algoritmos de inteligencia de negocios. Microsoft que SQL Server 2005/2008 es un paquetes de software de base de datos para pequeñas y medianas empresas que tiene un componente llamado BI Development Studio. Además, Microsoft ofrece un software ERP llamado Microsoft Dynamics, que actualmente incluye varios paquetes de software ERP independientes: Great Plains GP, AX, SL, y NAV. La mayoría de ellos se conecta a los componentes externos que tienen características de BI. Estas características se centran en funciones de presentación de informes, y una de sus fortalezas es la capacidad para trabajar con Microsoft Excel y Dashboard. Si bien las definiciones de BI son diferentes, la mayoría de las compañías de software parecen creer que BI es un componente importante para el software ERP y de base de datos.

4. Preguntas y método de investigación

Las siguientes son las preguntas de investigación que se aplicaron:

- 1) ¿Cuáles son los algoritmos utilizados por el software para BI?
- 2) ¿Cuáles son los algoritmos utilizados por los paquetes tradicionales de software estadístico?
- 3) ¿Qué es un algoritmo estadístico?

Estas preguntas fueron contestadas mediante un examen al actual software de BI. Para las preguntas 2 y 3, se realizó una encuesta a estudiantes, con experiencia de trabajo en negocios, y a instructores. En segundo lugar, se verificó si los paquetes de BI tenían la capacidad de integrar diferentes fuentes de datos.

5. Resultados

Se examinaron tres paquetes de software diferentes para BI: SAP, SQL Server y Oracle. La Tabla 1 muestra los algoritmos que ofrecen estos paquetes.

Una encuesta inicial informal muestra que la mayoría de algoritmos descritos en la literatura han sido utilizados por el software de BI, y que muchos de esos algoritmos son similares para el análisis estadístico tradicional. Una de las principales diferencias entre el software para BI y los paquetes estadísticos tradicionales es que parece ser que el software de BI tiene mejores características para los informes.

Un algoritmo estadístico es aquel que utilizan las propiedades estadísticas inscritas en la fuente para mejorar su codificación. Su objetivo es aprovechar la información redundante de la fuente para conseguir la compresión de datos o la información necesaria para ofrecer resultados a las consultas [8]. Los algoritmos estadísticos más populares son los de Huffman, de Shannon-Fano, los Aritméticos y los Predictivos.

TABLA 1
Comparación de los paquetes de software para BI

Algoritmo	SAP BW	Microsoft SQL Server	Oracle (BI Suite)
Decision Tree	X	X	X
Linear Regression	X	X	X
Naïve Bayes		X	X
Clustering	X	X	
Association Rules (market basket analysis)	X	X	
Sequence Clustering	X	X	
Time Series	X	X	
Neural Network	X	X	
Logistic Regression	X	X	
Support Vector machine			X
Enhanced k-Means Clustering			X
Orthogonal Partitioning Clustering			X
Nonnegative Matrix Factorization			X

Fuente: Autor

REFERENCIAS

- [1] E. Turban, R. Sharda, J. E. Aronson, & D. King. "Business Intelligence: A Managerial Approach". London: Prentice Hall, 284 p. 2007.
- [2] B. Larson. "Delivering Business Intelligence with Microsoft SQL Server 2008". USA: McGraw Hill, 792 p. 2008.
- [3] H. R. Nemati & C. D. Barko. "Issues in organizational data mining: A survey of current practices". *Journal of Data Warehousing*, Vol. 6, No. 1, pp. 25-36. 2001.
- [4] Microsoft. [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms175595\(SQL.90\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms175595(SQL.90).aspx). [Dec. 2010].

- [5] K. McDonald, A. Wilmsmeier, D. C. Dixon, W. H. Inmon. "Mastering the SAP Business Information Warehouse". USA: Wiley, 516 p. 2002.
- [6] Oracle. Oracle Database 11g for Data Warehousing and Business Intelligence, <http://www.oracle.com/us/solutions/datawarehousing/039574.pdf>, [Nov. 2010].
- [7] Microsoft. http://www.microsoft.com/dynamics/gp/product/business_intelligence.msp, [Nov. 2010].
- [8] R. B. McCall. "Fundamental Statistics for the Behavioral Sciences". New York: Harcourt Brace Jovanovich, 512 p. 1998. Ω

An Analysis of Strength of Materials from Postulates of "Discourses and Mathematical Demonstrations Relating to two New Sciences" of Galileo Galilei

Uma Análise da Resistência de Materiais de Acordo com os Postulados da "Considerações e Demonstrações Matemáticas em duas Novas Ciências" da Galileu Galilei

Un Análisis de la Resistencia de Materiales a partir de los Postulados de "Consideraciones y Demostraciones Matemáticas sobre dos Nuevas Ciencias" de Galileo Galilei

Héctor E. Jaramillo S.

Universidad Autónoma de Occidente, Cali - Colombia
hjsuarez@uao.edu.co

(Artículo de REFLEXIÓN. Recibido el 11-03-2011. Aprobado el 18-05-2011)

Abstract

This paper presents an analysis of the assumptions made by Galileo Galilei in his book "Discourses and Mathematical Demonstrations Relating to Two New Sciences", from the standpoint of modern principles of Strength of Materials. Also the descriptive and numeric analysis of the proposals raised by Galileo showed, as cases application. It was found that these postulated keep valid today, and, although very basic currently, had not formally been made until that time, however, its importance lies in its contribution to laying the foundations of modern Strength Materials.

Keywords: *Finite element, Galileo Galilei, propositions, Strength of Materials.*

Resumo

Este trabalho apresenta uma análise das suposições feitas por Galileu Galilei em seu livro "Considerações e demonstrações matemáticas sobre duas novas ciências", do ponto de vista dos princípios modernos de Resistência dos Materiais. É igualmente a análise descritiva e numérica das propostas levantadas por Galileu, como uma aplicação individual. Verificou-se que estas suposições são válidas hoje válidas e, embora muito básicas, por enquanto, não foram formalmente até agora, mas sua importância reside na sua contribuição para estabelecer as bases da resistência de materiais modernos.

Palavras-chave: *Elementos finitos, Galileu Galilei, proposições, Resistência dos Materiais.*

Resumen

En este trabajo se presenta un análisis de los postulados realizados por Galileo Galilei en su libro "Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias", desde la óptica de los principios modernos de la Resistencia de Materiales. Igualmente se hace un análisis descriptivo y numérico de las proposiciones planteadas por Galileo, como casos particulares de aplicación. Se encontró que estos postulados guardan vigencia actualmente y, aunque son muy básicos para la actualidad, no habrían sido formulados formalmente hasta este momento, sin embargo su importancia radica en su contribución al sentar las bases de la Resistencia de Materiales moderna.

Palabras clave: *Elementos Finitos, Galileo Galilei, proposiciones, Resistencia de Materiales.*

NOMENCLATURA

σ : Esfuerzo normal
M: Momento flector
I: Momento de Inercia de área
w: Peso por unidad de longitud
x: Distancia
L: Distancia entre apoyos
y: Distancia desde el centroide del área a la posición de la fibra

1. Introducción

Desde tiempos inmemorables, el hombre ha tenido la necesidad de protegerse de las inclemencias de la naturaleza, razones que justificaron la construcción de viviendas. Esas construcciones se erigían con base en reglas empíricas que se transmitían de generación en generación de forma verbal, y para lo cual no existía ningún tratado científico ni de investigación que definiera un estudio del comportamiento de los

materiales usados en su construcción. Se pueden mencionar grandes obras estructurales realizadas en diferentes culturas, como los egipcios, quienes construyeron grandes templos, pirámides (2778-2160 A.C.) y obeliscos; los chinos construyeron la Gran Muralla China (s. III A.C.) y ciudades fortificadas; y los aztecas que construyeron grandes ciudades. Pero los diseñadores y constructores de estos monumentos carecían de reglas para estimar la resistencia de las vigas y columnas que usaban, y se limitaron solamente a seguir las tradiciones del oficio, ya que no existían precedentes suficientes para esa época.

Pero para sustentar que sí poseían bases cabe mencionar que los griegos presentaron avances en el arte de la construcción, de los que se conoce el estudio de la "Determinación de los centros de gravedad" de Arquímedes (287-212 A.C.), teoría que

fue usada para transportar y levantar las columnas del templo de Diana de Efeso [1]. Con el nacimiento y el desarrollo del imperio Romano aparecieron grandes constructores, se conocen los grandes coliseos y el Pont du Gard en el sur de Francia. Los Griegos y los Romanos acumularon durante mucho tiempo experiencias en el arte de la ingeniería estructural; experiencia que tuvo poco auge durante la Edad Media y que sólo fue retomada con fuerza durante el Renacimiento. De esta época se conoce al arquitecto italiano Fontana (1543-1607) que levantó el obelisco del Vaticano por pedido del Papa Sixtus V. Durante este periodo también se destacan los aportes hechos por Leonardo Da Vinci (1452-1519) en sus notas “Testing the strength of iron wires of various lengths” (Enciclopedia Británica, 2011). Leonardo no sólo fue un artista sino también un gran científico e ingeniero, que tuvo un gran interés en el comportamiento y estudio de los mecanismos. También hizo investigaciones acerca de las cargas sobre columnas, lo que le llevó a plantear que “la carga varía inversamente con la longitud y directamente con la sección transversal” [2].

Está claro que Leonardo planteó algunos problemas acerca de la Resistencia de Materiales, como por ejemplo determinar la tensión de ruptura de una viga en función de su longitud, sección, puntos de apoyo y cargas, que aparece ilustrado en sus bosquejos (Fig. 1); aunque formula pregunta tras pregunta, ofrece pocas respuestas de forma meramente especulativa [3]. Esto evidencia el hecho de que Leonardo no realizó una investigación con profundidad al respecto y sólo lo dejó como un planteamiento más de los muchos que hizo y que dejó sin respuesta.

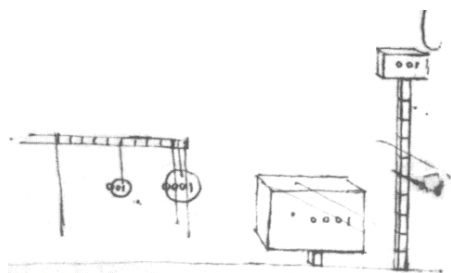


Fig. 1. Bosquejos de Leonardo da Vinci [3]

Sin embargo, se le reconocen algunos aportes a la ciencia y a la resistencia de materiales, como que fue el primero en dibujar la catenaria y proponer un estudio mediante un modelo discreto [3]. Este último se usa actualmente en la Resistencia de Materiales y otras ciencias, y también en aplicaciones específicas como el “método de elementos finitos”, técnica que en una de sus múltiples aplicaciones permite calcular los esfuerzos y deformaciones en sistemas estructurales.

Galileo se hizo famoso por su libro “Dos Nuevas Ciencias”, en el que muestra métodos aplicados al

análisis de esfuerzos donde presenta una secuencia lógica de análisis. Esto representa el inicio de la Resistencia de Materiales como “ciencia” [2]. Sin embargo sólo hasta el siglo XVIII se plantean de manera sistemática y analítica algunos elementos de la teoría de esta ciencia, para lo que se recogen los trabajos anteriores y especialmente los realizados por Galileo, y se dan los primeros intentos por dimensionar con cierta precisión elementos estructurales.

Una de las mayores obras de Galileo Galilei es “Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias”, publicado en 1630, cuatro años antes de la muerte del sabio Florentino. Las “dos nuevas ciencias” que alude este texto son la “Resistencia de Materiales”, que aborda en las dos primeras partes del libro, y el “Movimiento Local”, desarrollado en la tercera y cuarta parte. En este artículo se examina puntualmente uno de los aspectos sobre la Resistencia de Materiales que aborda Galileo en su libro, y se muestra cual fue el aporte y las limitaciones del modelo Galileano desde la óptica de la Resistencia de Materiales actual.

En su obra, Galileo aborda los planteamientos de la Resistencia de Materiales a partir de ocho proposiciones, sobre las cuales discurre su discurso y que fundamenta o explica a través de un dialogo entre sus tres personajes, Sagredo, Simplicio y Salviati. Salviati y Sagredo son caballeros cultos que simpatizan con el esquema Copernicano [4], y los utiliza para acelerar la argumentación llegando a conclusiones de mutuo acuerdo; mientras que Simplicio representa a los escolásticos, poco cultos en ciencias.

Respecto a las proposiciones planteadas por Galileo, se analizan los aportes realizados a la Resistencia de Materiales de sus proposiciones, pero no se detallan algunos aspectos considerados, ya que no hacen parte de la Resistencia de Materiales y en la actualidad corresponden a otras ciencias.

Para realizar un análisis a la obra de Galileo, es necesario ubicarse en su época para conocer las limitaciones técnicas y conceptuales que se tenía. Por ejemplo, sólo hasta 1822 Agustín Cauchy (1789-1857) creó el concepto genérico de esfuerzos [9], que es hasta el momento la base de la Mecánica de Medios Continuos, del que la Resistencia de Materiales es una de sus ramas o divisiones de estudio. Tampoco existía el cálculo infinitesimal, descubierto al mismo tiempo por Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) e Isaac Newton (1643-1727). Los hechos mencionados anteriormente sustentan el postulado de que la mayoría de las explicaciones de Galileo se deben tratar desde el punto de vista de la geometría, ya que era parte de su formación. Cabe mencionar, por ejemplo:

“¿Qué podemos decir, señor Simplicio?, ¿no debemos confesar que la geometría es el más poderoso instrumento para agudizar el ingenio y ponerlo a punto para discurrir y pensar? ¿No tenía muchísima razón Platón cuando exigía que sus alumnos antes que nada estuvieran bien impuestos en matemáticas?” [2].

Lo anterior es una muestra del tipo de formación que había recibido Galileo, y que es necesario tener en cuenta al realizar el análisis de su obra.

2. Análisis de las proposiciones

Proposición I

“Un prisma o cilindro sólido de cristal, acero, madera o cualquier otro material frágil, que sea capaz de sostener un peso muy considerable si se le ata longitudinalmente, se romperá si se le aplica transversalmente (como hemos indicado no hace mucho), aunque el peso sea sensiblemente menor, y tanto más cuanto más supere su longitud a su grosor”. [2].

De esta proposición se pueden destacar varios aspectos que aportaron de alguna manera a la Resistencia de Materiales. Como primer aporte, se tiene el hecho de que ya se plantea una clara diferenciación entre lo que es carga axial y carga transversal, y además de que la carga transversal depende de la relación entre la longitud de la viga (L) y la altura (h) de la sección transversal, es decir que la viga soportara menos carga en la medida que la relación (L/h) se hace mayor. Aunque Galileo no hace una cuantificación exacta entre la relación L/h y lo que él llama “resistencia” de la viga, y aunque tampoco se encuentra evidencia alguna de datos experimentales al respecto, se le puede abonar el hecho de tratar de encontrar una relación entre la resistencia de la viga y las propiedades geométricas del elemento prismático.

También se puede considerar como importante el hecho de que introduce en su manuscrito el término “Resistencia Absoluta a la fractura”, la cual define como “la que tiene lugar cuando la tracción se hace longitudinalmente”; en términos de la Resistencia de Materiales actual esto podría definir el concepto de esfuerzo último, que se puede definir como: “máximo valor de esfuerzo en el que se presenta la falla de una probeta sometida a un ensayo de tracción o carga axial”. Cabe aclarar que hasta ese momento, 1630, no se tenía definido el concepto de esfuerzo, que sólo se conoció hasta 1713 en un trabajo publicado por Parent [3]. Es destacable el hecho de que Galileo ya pensaba en un concepto de Resistencia Última, y que también relaciona la resistencia de un elemento sometido a carga transversal (viga) con la resistencia determinada mediante carga axial, suponiendo implícitamente el hecho de que en los dos casos están sometidos a esfuerzos de tipo normal, y además los compara entre sí.

Como contraparte de lo que pudo haber aportado Galileo a la Resistencia de Materiales en ésta

proposición, y con ayuda de uno de sus dibujos más conocidos y famosos, (ver Fig. 2) plantea: “Es evidente que si se rompe el cilindro, la fractura tendrá lugar en el punto B que es donde el muro actúa como punto de apoyo de la palanca BC ” [2]. Esta afirmación es un hecho evidente de la experiencia adquirida por los constructores y artesanos de la época, por lo que no se puede considerar como un aporte de Galileo a esta ciencia, más allá del hecho de que realizara una justificación o discusión del fenómeno de la fractura.



Fig. 2. Dibujo de una viga en voladizo [3]

Entre otras cosas, Galileo en esta proposición también demuestra cual debería ser el valor de la carga puntual colocada sobre una viga en voladizo, considerando los efectos del peso propio, a partir de la Ley de la palanca y haciendo uso del concepto de centro de gravedad.

Proposición II

“Cómo y en qué proporción resista más una vara, o mejor dicho, un prisma más ancho que grueso, a dejarse romper, cuando la fuerza se aplica según su anchura en vez de según su grosor” [2].

En ésta proposición hay una gran preocupación de Galileo por encontrar una relación entre el ancho de la sección ac y la longitud bd (ver Fig. 3), debido a que ya en esa época se conocía que una viga colocada de canto soportaría mayor carga que una viga colocada de forma acostada. Planteado esto desde los conceptos de la Resistencia de Materiales actual se puede decir que, “para que una viga resista una mayor cantidad de carga, debe colocarse de manera tal que produzca el mayor momento de inercia (I) respecto de la carga aplicada, y para que esto suceda, si se trata de una viga rectangular, ésta deberá ser más alta que ancha”. Al respecto, Galileo sólo da como conclusión a su discusión que “el prisma que sea más ancho que grueso ofrecerá mayor resistencia a la fractura de canto que de plano y según la proporción que guarden la anchura y el grosor”.

Lo planteado por Galileo en esta anterior proposición no corresponde a un aporte significativo a la Resistencia de Materiales, ya que habla de un relación entre la anchura y el grosor de la sección pero no hace una cuantificación matemática de ella, y dado

que el hecho de que una viga colocada de canto resiste más que una viga colocada de forma acostada, era ya conocido y aplicado en esa época, lo que consta en las grandes edificaciones que existen en la actualidad y que data de muchos años antes de Galileo.

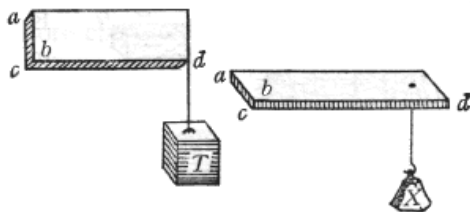


Fig. 3. Una viga cargada de diferente formas [3]

Proposición III

“Cuál es la proporción según la cual va creciendo la intensidad del propio peso, con relación a la resistencia a la fractura propia de un prisma o de un cilindro que se va alargando en sentido horizontal” [2].

Los efectos que produce el peso propio sobre la intensidad del momento flector, que a su vez lleva a la fractura del prisma (viga), es otra de las preocupaciones de Galileo que se evidencia y discute en esta proposición. De ésta proposición se puede rescatar el hecho de que plantea que el momento flector (M) producido por el peso propio es una función del cuadrado de la longitud. Desde los planteamientos de la Resistencia de Materiales actual esto es lo que sucede en una viga en voladizo (una viga empotrada en un extremo y libre en el otro), ya que para efectos del peso propio el Momento Flector es una función del cuadrado de la longitud, así:

$$M = \frac{wx^2}{2} \quad (1)$$

Donde w es el peso propio por unidad de longitud, y x es la distancia a la cual se desea el momento respecto del extremo libre.

Para deducir lo anterior, Galileo tuvo que haber hecho la consideración de que el peso propio se distribuye uniformemente sobre toda la longitud. Esto es posible dado que ya se conocían los estudios de determinación de los centros de gravedad hechos por Arquímedes (287-212 a.C.), y que parten del mismo principio.

Proposición IV

“En los prismas y cilindros de la misma longitud, pero de distinto grosor, la resistencia a la fractura crece en proporción al cubo de los diámetros de sus respectivos grosores, es decir de sus bases” [2].

Si se analiza un prisma cilíndrico trabajado como una viga, se puede calcular el esfuerzo (σ) en cualquier punto de ésta con la ecuación (2) [5]:

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (2)$$

Donde σ es el esfuerzo que soporta el prisma, M es el momento flector aplicado sobre la sección, y es la posición de la fibra respecto del centroide de la sección e I es el momento de inercia de la sección donde actúa el momento flector aplicado; sin embargo el concepto de momento de inercia (I), aparece mucho después de Galileo en los trabajos de Leibniz de 1684. Éste utiliza el concepto cuando define la variación de la tensión en las fibras de una viga sometida a carga [6].

Ahora, si el prisma es de sección transversal cilíndrica la ecuación (2) se reduce a:

$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3} \quad (3)$$

Donde d es el diámetro del elemento prismático. Como se observa en la ecuación (3), el esfuerzo depende del cubo del diámetro del elemento, por lo que en la medida que aumente el diámetro, el esfuerzo sobre el elemento es menor. De otra forma, se puede decir que si se tienen dos elementos de igual material, pero de diferente diámetro, el prisma de diámetro mayor soportará mayor carga antes de romperse que el de menor diámetro. Dicho con la terminología usada por Galileo, éste (el prisma de mayor diámetro) tendrá una “Resistencia Absoluta a la fractura” mayor que el de menor diámetro, y esta resistencia dependerá del cubo del diámetro.

Este análisis se presenta con el objeto de poder mostrar que la proposición presentada por Galileo estaba en lo correcto, aunque la explicación o discusión al respecto se hace a partir de relaciones geométricas. Se puede llegar a pensar que Galileo tuvo que haber realizado algún tipo de experimento donde cargara prismas (vigas), de diferentes diámetros, y haber hallado o determinado de forma experimental que “la resistencia del prisma depende del cubo de su diámetro”. Pero su tipo de formación no le permitía presentar estas afirmaciones desde el punto de vista del experimentalismo, sino que le debía encontrar una explicación de tipo matemático y específicamente geométrico, explicación en la cual falló, ya que su explicación en vez de aclarar la proposición lo que hace es enredarla en una maraña de conjeturas.

Adicionalmente y de manera acertada en la discusión de ésta proposición por parte de dos de sus personajes, Salviati y Simplicio, Galileo determina el hecho de que la resistencia a la fractura de un elemento —en este caso una cuerda, Fig. 4.— sometida a carga no depende de su longitud.

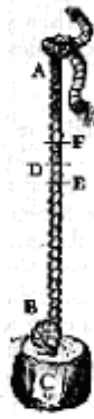


Fig. 4. Una cuerda sosteniendo un peso [3]

Proposición V

“Los prismas y los cilindros que difieren en longitud y en grosor tienen una resistencia a la fractura que es directamente proporcional a los cubos de los diámetros de sus bases e inversamente proporcional a sus longitudes respectivas” [2].

Si se parte del hecho de que Galileo trabajó con vigas empotradas en un extremo y libre en el otro, se puede determinar el momento flector en el empotramiento, que es donde se produce la falla, o donde el momento flector es mayor [7] debido a la carga aplicada, como:

$$M = PL \tag{4}$$

Reemplazando en la ecuación (4):

$$\sigma = \frac{32PL}{\pi d^3} \tag{5}$$

Partiendo de la ecuación (4) se puede decir, y en concordancia con el concepto de “resistencia a la factura” que manejaba Galileo, que ésta resistencia es directamente proporcional al cubo de los diámetros e inversamente proporcional a la longitud del prisma, muy acorde con lo expresado por Galileo en la proposición, aunque sin los argumentos matemáticos mostrados en las ecuaciones (4) y (5).

Proposición VI

“En el caso de cilindros y prismas semejantes, los momentos compuestos, es decir, los que resulta de multiplicar sus pesos y sus longitudes, actuando éstas como palancas, tienen entre sí la proporción sesquiáltera de la que se da entre las resistencias de sus bases respectivas” [2].

Galileo trata de explicar en esta proposición que debe haber una relación entre las medidas de un prisma – largo, ancho y espesor– con la “resistencia a la fractura”, pero sus conjeturas no lo llevan a conclusiones que tengan un aporte significativo a la Resistencia de Materiales, por lo que no se detallará más respecto de esta proposición.

Proposición VII

“Entre los prismas o cilindros pesados y semejantes, hay uno y solo uno que llega a encontrarse (a consecuencia de su propio peso) en un estado límite entre romperse y mantenerse todavía entero, de modo que todo aquel que sea más grande, incapaz de sostener su propio peso, se romperá, mientras que todo el que sea más pequeño opondrá alguna resistencia a la fuerza que se haga para romperlo” [2].

Proposición VIII

“Dado un cilindro o prisma que tenga mayor longitud compatible con no acabar rompiéndose debido a su propio peso, y dada una longitud mayor, encontrar el grosor de otro cilindro o prisma que bajo la longitud dada sea el único y el mayor capaz de resistir su propio peso” [2].

Se analizan a la vez las proposiciones VII y VIII debido a que están muy relacionadas entre sí. En estas proposiciones se hace evidente la preocupación de Galileo por encontrar las medidas de la sección transversal de un prisma –largo, ancho y espesor–, de manera que sea el único con esas medidas capaz de soportar los efectos de su peso propio. Así que aquel prisma cuyas medidas sean mayores proporcionalmente a éste, falle o se rompa debido a su peso propio, y aquel que sus medidas sean menores proporcionalmente, podrá ser capaz de resistir algún tipo de carga. Esto deja al descubierto que ya se tenía la preocupación de los efectos por peso propio, que en un momento dado pudiera llevar a la falla de una estructura o un elemento estructural determinado, aún sin sus cargas de trabajo. Lo anterior podría ser el intento de Galileo por explicar el desplome o caída de algunas estructuras en la etapa de construcción en su época.

El peso propio es uno de los factores que se consideran en la actualidad para diseñar una estructura [8], siendo de gran importancia ya que la tendencia general es a de tener estructuras cada vez más livianas y más resistentes. Las estructuras pesadas tienen efectos que se pueden llamar colaterales, por ejemplo en edificaciones donde una gran masa aumenta los efectos de los sismos sobre éstas y si se trata de una máquina, produce vibraciones excesivas que pueden hacer llegar el material a la rotura.

4. Conclusiones

Como conclusiones del análisis del trabajo de Galileo respecto de la Resistencia de Materiales, y adicionalmente a la discusión de las proposiciones dadas en las líneas anteriores, se pueden destacar algunos aspectos puntuales de la producción de Galileo. Por ejemplo, conviene mencionar que se evidencia una preocupación de Galileo por determinar formas más eficientes, que en ingeniería se conoce como “optimización de formas”, es decir, que resistan las mismas cargas pero con menor masa, con el objeto de evitar efectos debidos al peso propio que en algunos casos influye negativamente sobre el diseño. Esto se convierte en un aporte más a la Resistencia de Materiales si se observa desde el punto de vista que la Resistencia de Materiales como ciencia

aplicada. De esta manera se puede dar referencia a un diálogo sostenido entre los personajes de Galileo:

“De todo lo cual puede verse como disminuyendo el peso en más de un treinta y tres por ciento, se puede hacer techumbres de vigas sin que disminuya en un ápice su fuerza. Esto puede ser de gran utilidad en el caso de naves de gran tamaño, sobre todo, a fin de sostenerlas cubiertas, teniendo presente que en tales construcciones la ligereza es de suma importancia” [2].

A Galileo también se le debe abonar el hecho de ser el primero en analizar de manera formal aspectos que conciernen actualmente a la Resistencia de Materiales, independientemente si son correctos o no a la luz de la ciencia actual. Además, incluye conceptos como “resistencia a la fractura”, y un método experimental y analítico para abordar temas de este tipo. Conceptos y métodos que fueron depurados tiempo después por sus sucesores.

Cabe hacer la aclaración que la importancia del trabajo de Galileo radica en que con sus planteamientos dio inicio al desarrollo de una nueva ciencia, la “Resistencia de Materiales”. Aunque estos planteamientos, desde el punto de vista de la ciencia, no tuvieron el peso de una teoría estructurada, si orientó el trabajo de los investigadores y científicos que lo sucedieron. Por ejemplo y en orden cronológico, después de Galileo llegaron: Euler (1707-1783), Coulomb (1736-1806), Poisson (1781-1840), Navier (1785-1836), Cauchy (1789-1857) y Airy (1801-1892) [9] entre otros, los cuales dieron cimientos a las bases teóricas de la Resistencia de Materiales actual. Bases teóricas que desde hace varios siglos rigen el diseño estructural, que hoy permite contar con viviendas, máquinas y equipos con mayores grados de confiabilidad en su diseño, y que hacen la vida del hombre actual más confortable.

El aporte de Galileo Galilei, por pequeño que parezca, dio inicio al desarrollo de una ciencia que hoy puede considerarse entre las de mayor importancia para el desarrollo de la infraestructura vial y de bienes de capital de un país. El desarrollo de ésta ciencia, la aplicación de las matemáticas y la ayuda de los computadores, han permitido crear técnicas avanzadas para la determinación de esfuerzos y deformaciones en elementos estructurales. Técnicas que permiten determinar los esfuerzos y las deformaciones en estructuras bajo condiciones cambiantes de carga, temperatura y otros, y que con ayuda del computador se pueden realizar en cuestión de minutos o segundos.

Una de estas técnicas, aplicada a la ingeniería, es “el método de elementos finitos” [10], con el cual se hará un análisis de un modelo similar al de la Fig. 2.

REFERENCIAS

- [1] R. García. “Pequeño Larousse Ilustrado”. Colombia: Ediciones Larousse S.A. 1991.
- [2] B. Kouznetsov. “Galileo Galilei”. La Habana: Editorial científico-técnica. 1973.
- [3] C. Truesdell. “Ensayos de la Historia de la Mecánica”. Madrid: Editorial Tecnos S.A., pp. 26-40, 1975.

Esto no con el objeto de comparar las afirmaciones hechas por Galileo al respecto, si no de mostrar hasta qué punto un “pequeño” aporte ha evolucionado en una serie de teorías aplicadas, que en la actualidad rigen el diseño estructural de toda obra de ingeniería conocida.

De esta manera en la Fig. 5 se muestra el caso analizado por Galileo, desde el punto de vista de un análisis por elementos finitos. Las zonas de color rojo, muestran la mayor concentración de esfuerzos, que es donde el material presentara la rotura o falla. La Fig. 6 muestra estas zonas en mayor detalle, al ser una ampliación. Con esto no se pretende magnificar el aporte de Galileo, sino hacer notar que en los tiempos de Galileo no existían muchas de las herramientas matemáticas, experimentales y de informática que existen hoy, y que son instrumentos indispensables para los investigadores de este siglo.

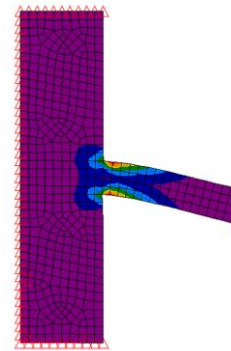


Fig. 5. Modelo por elementos finitos de una viga en voladizo [11]

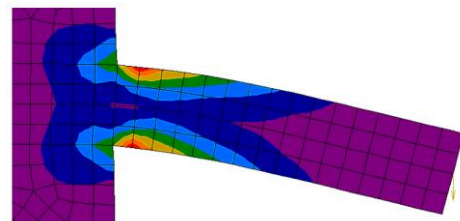



Fig. 6. Detalle de los esfuerzos ocurridos en una viga en voladizo [11]

Al revisar esta jornada de Galileo, el lector se puede percatar que termina de forma abrupta, lo que manifiesta el hecho de que Galileo la dejó inconclusa y muy posiblemente pretendía seguir desarrollándola. Por lo anterior no se puede dejar de plantear algunas inquietudes al respecto, como ¿qué motivos hicieron que Galileo no continuara con esta jornada? Y, debido a esto, ¿qué pudo haber perdido la Resistencia de Materiales como ciencia?

- [4] T. Ferris. "La aventura del Universo". Barcelona: Grijalbo Mondadori editores, pp. 78-83. 1997.
- [5] P. Beer, E. R. Jhonson & J. T. DeWolf. "Mecánica de Materiales". Massachusetts: Mc Graw Hill, pp. 105 120, 1982.
- [6] L. Ortiz. "Elasticidad". Madrid: Mc Graw Hill, 1998.
- [7] B. W. Fowler. "Estática: Mecánica para ingenieros". Delaware: Addison Wesley, pp. 439-471, 1996.
- [8] A. H. Nilson. "Diseño de Estructuras de Concreto". México: Mc Graw Hill, pp. 2-25, 1994.
- [9] S. P. Timoshenko. "History of Strength of Materials". New York: Dover Publications, pp. 104-110, 1983.
- [10] T. R. Chandrupatla & A. D. Belegundu. "Introducción al estudio del Elemento Finito en Ingeniería". México: Prentice Hall, 1999.
- [11] www.algor.com [Marzo 4 de 2011]. 

The Arrow of Time: A Reading Gerald Whitrow

A Flecha do Tempo: Uma Leitura Gerald Whitrow

La Saeta del Tiempo: Una Lectura a Gerald Whitrow

M. Butler

Department of Astronomy - University of Florida
mbutler@astro.ufl.edu

(Artículo de REFLEXIÓN. Recibido el 02-02-2011. Aprobado el 28-05-2011)

¿Por qué el tiempo aparentemente se mueve de una forma, cuando las leyes de la física en realidad son simétricas en el tiempo?

Abstract

In everyday life, the world shows a marked difference between past and future, but –with one small exception–, the laws of physics are symmetric in time. Gerald Whitrow was one of the first to realize that the resolution of this paradox is according to the cosmology and the initial conditions at birth of the universe. But this simple conclusion hidden some deep subtleties that take a new turn with the appearance of quantum cosmology and inflationary universe hypothesis. The question has not been completely resolved yet, and remains one of the great scientific mysteries outstanding.

Resumo

Na vida cotidiana, o mundo mostra uma diferença acentuada entre o passado eo futuro, mas, com uma pequena exceção, as leis da física são simétricas no tempo. Gerald Whitrow foi um dos primeiros a perceber que a resolução deste paradoxo está em conformidade com a cosmologia e as condições iniciais no momento do nascimento do universo. Mas esta simples conclusão máscaras algumas sutilezas que tomar um novo rumo com o surgimento da cosmologia quântica e no cenário do universo inflacionário. A questão ainda não foi completamente resolvida, e continua a ser um dos grandes mistérios científicos restantes.

Resumen

En la vida cotidiana, el mundo muestra una marcada diferencia entre el pasado y el futuro, pero –con una pequeña excepción– las leyes de la física son simétricas en el tiempo. Gerald Whitrow fue uno de los primeros en darse cuenta que la resolución de esta paradoja está de acuerdo con la cosmología y las condiciones iniciales en el nacimiento del universo. Pero esta simple conclusión oculta algunas profundas sutilezas que toman un nuevo giro con la aparición de la cosmología cuántica y la hipótesis del universo inflacionario. La cuestión aún no ha sido resuelta por completo, y sigue siendo uno de los grandes misterios científicos pendientes.

Keywords: *Arrow of time, cosmology, quantum, universe, origin of universe, entropy.*

Palavras-chave: *Flecha do tempo, cosmologia quântica, universo, origem do universo, entropia.*

Palabras clave: *Saeta del tiempo, cosmología, cuántica, universo, origen del universo, entropía.*

1. Introducción

Gerald Whitrow era un participante frecuente en los seminarios que se llevaban a cabo en el Departamento de Matemáticas en el King's College de Londres, en los que a menudo intercambiaba sus ideas acerca la naturaleza del tiempo. Sus libros *The Natural Philosophy of Time* [1] y *What Is Time?* [2] han sido de gran influencia para los estudiosos de este campo del conocimiento, y sirvieron de inspiración para autores como Davies [3]. Uno de sus mayores aportes fue la promulgación del famoso problema de "la saeta del tiempo", en 1968.

El reconocimiento de que la saeta del tiempo efectivamente constituye un problema data al menos desde el año 1854, cuando Hermann von Helmholtz hizo lo que probablemente es la más sombría predicción en la historia de la ciencia. El universo, afirmó Helmholtz, se está muriendo. La base de este pronunciamiento apocalíptico era la entonces nueva segunda ley de la termodinámica, según la cual la entropía de un sistema cerrado no puede disminuir. La entropía es, a grandes rasgos, una medida del desorden, y cuando la segunda ley se aplica al universo como un todo predice que éste está en

constante degeneración, atrapado en un tobogán de una vía hacia un estado de máxima entropía, conocido como equilibrio termodinámico. Una vez que logre este estado el universo no podrá liberarse. Por lo tanto el estado final de equilibrio fue denominado "la muerte térmica" del universo. La transición unidireccional del orden al desorden culmina en la muerte de calor cósmico, e impone al universo una penetrante "saeta del tiempo", convencionalmente apuntando a un punto del pasado hacia el futuro –en la dirección de la degeneración. El problema, tal como le pareció a los físicos de entonces, y especialmente a Boltzmann, es que las leyes fundamentales de la física –en ese entonces se asumían las leyes de la mecánica de Newton– son simétricas en el tiempo. ¿Cómo puede entonces emerger una saeta del tiempo dirigida desde las leyes que no hacen ninguna distinción entre pasado y futuro?

Whitrow identificó la esencia de la solución en las páginas 160 y 162 de su libro, cuando fijó claramente el problema de la saeta del tiempo como parte de la cosmología: "Lo que los muchos intentos por analizar la naturaleza del tiempo han demostrado es que en

última instancia el tiempo debe considerarse cosmológicamente. En última instancia, el tiempo es una propiedad fundamental de la relación entre el universo y el observador... la explicación última de la saeta del tiempo se encuentran en la cosmología" [2].

2. La saeta del tiempo de Whitrow

Para comprender la base cosmológica del problema es necesario adoptar la clasificación que hace Whitrow de las tres diferentes saetas. Distinguió entre una saeta histórica, una cosmológica y una termodinámica. La saeta histórica describe la acumulación de información o registros sobre el tiempo. Un ejemplo notable es la formación de cráteres en la Luna, que dejan constancia de su bombardeo por asteroides, cometas y meteoritos. Un ejemplo menos visible, pero literalmente vital, es la secuencia de nucleótidos en los genomas de los organismos vivos —un registro de la contingencia evolutiva durante billones de años. La acumulación de información de esta manera define una saeta del tiempo que, superficialmente, podría parecer que señala el camino contrario a la saeta termodinámica. Es decir, la información es lo contrario a la entropía, por lo que el aumento de la información se ve como si fuera "anti-termodinámica". Esto no es así: el proceso de fijar información en un registro es en sí un proceso irreversible que genera entropía, por lo que la entropía del universo aún se mantiene como un todo. La saeta cosmológica es fácil de describir: el universo se está expandiendo. De ahí que la saeta apunte en la dirección de un universo más grande. Algunos cosmólogos han planteado la idea de que si el universo se contrajera algún día, de modo que se invirtiera la saeta cosmológica, entonces las otras saetas podrían invertirse también. Pero al parecer esta visión es errónea [4].

La saeta termodinámica tiene múltiples manifestaciones, tanto en la vida cotidiana como en la astronomía. Un ejemplo sencillo es considerar lo que sucede con un huevo al caer al piso. El huevo es fácil de romper, pero prácticamente imposible de volver a armar. Un episodio de una película de un huevo rompiéndose podría, si se rueda a la inversa, representar una increíble secuencia de acontecimientos. Esto se aplica a la mayoría de las

escenas en la vida cotidiana: las personas se ríen cuando las películas se ruedan al revés porque la ven muy absurda. El proceso irreversible más dramático en nuestro vecindario astronómico es la emisión de calor y luz desde el Sol. Cada segundo el Sol irradia 4×10^{26} julios, la mayoría de los cuales desaparece en las profundidades del espacio para no volver jamás, lo que representa un enorme incremento de la entropía. Este gasto derrochador es pagado por el combustible nuclear en el núcleo solar que se utiliza para producirlos, y su energía libre se disipa en el universo. Durante billones de años el Sol ha quemado constantemente y de forma irreversible su stock finito de combustible, y con el tiempo se quemará y morirá. De forma general esta historia se aplica a las estrellas en todo el universo. Una parte importante de la aproximación a la muerte del calor cósmico de Helmholtz se representa en el envejecimiento y la muerte de las estrellas.

3. El problema de la reversibilidad

La marcada contradicción entre la saeta del tiempo y las leyes de la física se ilustra con más fuerza en la Fig. 1, donde se limita un gas a una esquina de una caja perfectamente rígida y luego se libera. El gas se difunde rápidamente por todo el volumen de la caja y eventualmente se asienta en un estado de equilibrio de densidad y presión uniformes. Esta transición es un claro ejemplo de la segunda ley de la termodinámica, ya que la ganancia del gas desde una entropía baja, estado relativamente ordenado, a una entropía alta, desordena el estado de equilibrio. El proceso inverso nunca se encuentra: una caja uniforme de gas en la que todas las moléculas de pronto y espontáneamente se precipitan en una esquina. Cuando nos preguntamos cómo se las arregla el gas para redistribuirse en la caja, nos encontramos con que este resultado se produce por colisiones intermoleculares, que transfieren energía caóticamente entre la población molecular, hasta que se comparte democráticamente. En un famoso artículo, Boltzmann [5] demostró que las colisiones intermoleculares podrían provocar un aumento de la entropía, mediante la aplicación de la mecánica newtoniana a las colisiones y el uso de un promedio estadístico sobre un gran número de moléculas.

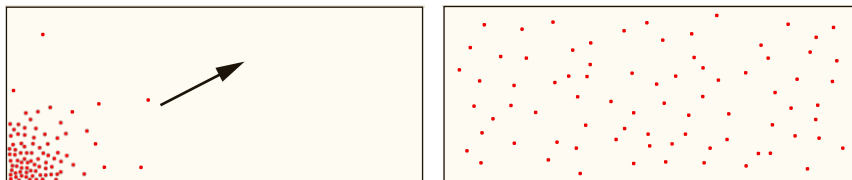


Fig. 1 La contradicción entre la saeta del tiempo y las leyes de la física

Tan pronto como se secó la tinta en el artículo de Boltzmann, sin embargo, se manifestó una paradoja. Cada colisión individual molécula-molécula es reversible. Si, por arte de magia, uno pudiera reflejar la colisión de un par de moléculas, podrían viajar a lo largo del mismo camino hasta su configuración inicial. En principio, toda la población de moléculas podría

recuperarse simultáneamente y enviada de vuelta a la esquina de la caja. Aunque técnicamente no plausible, no hay nada en las leyes de la física que lo descarte. Actualmente utilizaríamos las leyes de la mecánica cuántica en vez de la mecánica newtoniana para describir estos procesos, pero ambas comparten la propiedad de la simetría del tiempo. Así, para cada

conjunto de propuestas de resolución que plantea la entropía, existe un conjunto opuesto —perfectamente coherente con las leyes de la dinámica— que lo reduce, en violación a la segunda ley de la termodinámica. De hecho, simplemente invirtiendo el signo del parámetro de tiempo en la prueba de Boltzmann uno puede concluir que, al igual que la entropía, puede aumentar desde un estado específico de entropía baja como resultado de las colisiones intermoleculares, y que también debe caer, desde un estado de entropía mayor, antes del estado especificado (ver Fig. 2).

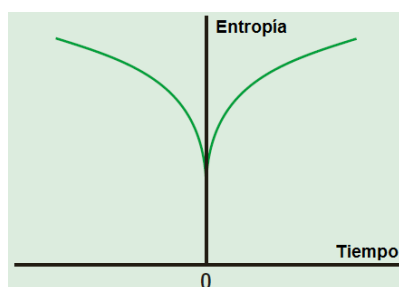


Fig. 2 Inversión del signo del parámetro de tiempo en la prueba de Boltzmann

La resolución de la anterior paradoja es para reconocer que no hay nada intrínseco a la caja de gas que se asemeje a una saeta del tiempo. Esto se demuestra más gráficamente en el trabajo de Poincaré [6] sobre este problema, quien puso de manifiesto que, dado un tiempo suficiente, el gas podría volver a revisar su posición inicial prensado en esquina de la caja. Una forma de entender esto es aceptar que la agitación aleatoria de las moléculas siempre va a crear pequeñas fluctuaciones sobre la uniformidad, es decir, pequeñas excursiones en la entropía que van "al revés" desde el punto de vista de la segunda ley de la termodinámica.

En el caso del movimiento browniano, por ejemplo, una pequeña partícula suspendida en un gas sigue una ruta en zig-zag debido a que el bombardeo de su superficie es ligeramente irregular. Solamente por razones estadísticas, las moléculas a veces forman pandillas y cooperan en pequeñas cantidades, bajando ligeramente la entropía. La rareza de estas fluctuaciones aleatorias aumenta considerablemente con las cantidades involucradas, y es obvio que se debería esperar mucho tiempo antes de que todas las moléculas en una habitación se muevan a una esquina al mismo momento por pura casualidad. Una medida aproximada de la duración entre esas "repeticiones" es 10^N , donde N es el número de moléculas en el sistema. Para una caja de gas de laboratorio, N puede ser 10^{23} , así la duración es un exponencial de un exponencial —un número estupendamente grande. Tan grande, de hecho, que no tenemos que preocuparnos demasiado por las unidades de tiempo utilizados para medirlo!

4. La Cosmología al rescate

La explicación de la saeta del tiempo se encuentra, al parecer, no en la dinámica intrínseca del gas —o

cualquier otro sistema—, sino en sus condiciones iniciales especiales. Está claro que se trata del caso de que si el gas inicia en un estado de entropía baja, lo hará, con una probabilidad abrumadora, proceder a un estado de entropía mayor. Pero todavía nos preguntamos cómo alcanza el gas su estado de entropía baja. Se pueden rastrear las circunstancias de cualquier sistema dado —caja de gas, el Sol, una estrella, etc.— a su entorno inmediato, pero en última instancia, como Whitrow señaló, este es un problema de la cosmología, ya que el entorno final es el universo como un todo. Boltzmann ya se enfrentó a la dimensión cosmológica del problema en el siglo XIX, al abordar la cuestión de cómo alcanzó su estado de entropía menor hasta la máxima que podemos ver actualmente. Su respuesta [7] fue para invocar al abuelo de todas las fluctuaciones, una excursión aleatoria a escala cósmica desde el equilibrio termodinámico, una situación rara y casi inimaginable que requiere una espera de por lo menos 10^{80} años —o un uno seguido por 10^{80} ceros. Hay muchas razones porque las conjeturas de Boltzmann no van a funcionar, no por el hecho de que el universo no ha existido por el requisito de 10^{80} años. Más bien, comenzó con un Big Bang hace unos simples 1.37×10^{10} años.

Para la resolución correcta, recurrimos nuevamente a Whitrow. En la página 160 de [2] escribe: "Si existe alguna profunda relación entre el tiempo y el universo, puede deberse a que la saeta del tiempo está asociada de alguna manera con las "condiciones iniciales" que determinaron el universo particular como es actualmente, a diferencia de cualquier otro universo que podría haber existido de acuerdo con los mismos principios físicos". En otras palabras, el universo empezó en un estado especial de entropía baja en el Big Bang y se ha desarrollado desde entonces, como un gigantesco reloj en movimiento. Así que la explicación para la saeta del tiempo se relaciona con la conducta del nacimiento cósmico.

Aunque esta resolución de la paradoja de la reversibilidad parece bastante plausible, una consideración inicial de sus consecuencias observacionales parece problemática, ya que predice que el universo primitivo debería haber tenido un estado de entropía mucho más bajo que el universo de hoy. La mejor información que tenemos acerca de los inicios del universo proviene de la radiación de fondo de microondas cósmico —CMB—, que ha viajado tranquilamente desde una época de alrededor de 380.000 años después del Big Bang, y lleva una impresión del estado del universo en los primeros instantes de su origen. Es muy reconocido el hecho de que el CMB lleva el sello distintivo del equilibrio termodinámico: su espectro traza precisamente esa radiación del agujero negro. Esto implica que, hace por lo menos 380.000 años, la materia y la radiación en el universo estaban en un estado muy cercano de la entropía máxima del equilibrio termodinámico. Entonces, ¿qué está mal?

La solución a este enigma se encuentra en la expansión del universo. La segunda ley de la termodinámica se aplica a un sistema cerrado. La materia y la radiación cosmológica no constituyen un sistema cerrado sujeto a la expansión del universo. En efecto, la expansión saca la materia y la radiación fuera del equilibrio. La historia completa de esto es complicada y tiene que ver con procesos como las reacciones nucleares que tuvieron lugar durante los tres primeros minutos [8], [9]. Esto se puede explicar con un ejemplo sencillo. Imaginemos que el universo está uniformemente lleno con una mezcla de un fluido no relativista –polvo– y radiación, inicialmente a una temperatura común. Es bien conocido que a medida que el universo se expande las temperaturas de estos dos componentes caen como $1/a^2$ y $1/a$, respectivamente, donde a es el factor de escala cosmológica. Por lo tanto, en ausencia de acoplamiento fuerte entre la materia y la radiación, se abre entre ellos una diferencia de temperatura. En otras palabras, lo que comenzó como equilibrio termodinámico es conducido, por la expansión, a un estado de no equilibrio. Si la materia y la radiación pueden equilibrarse mediante acoplamiento, entonces la entropía se incrementará como resultado de la transferencia irreversible de energía térmica, desde la radiación caliente a la materia más fría.

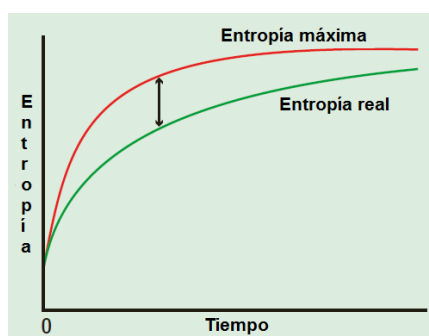


Fig. 3 La entropía del Universo

Una ilustración simplificada y esquemática de la historia entrópica del universo se muestra en la Fig. 3. La curva roja representa la entropía máxima admisible de una región en co-movimiento con el universo, que aumenta a medida que el universo se expande. La curva verde representa la entropía real de esta región. Cerca del principio –digamos hace 380.000 años, al momento de la disociación de la materia y la radiación– estas curvas coincidían, lo que implica una condición –temporal– de equilibrio termodinámico, según lo confirmado por el espectro de la CMB. Pero a medida que el universo se expandía, se abrió una brecha entre las dos curvas, con la entropía real cayendo detrás de la entropía máxima permitida en ese momento –y con el valor de a . Esta brecha en la entropía es la que permite todos los procesos de generación de entropía –como la combustión de estrellas– que proporcionan la saeta termodinámica del tiempo –procesos que están tratando de cerrar la brecha. La vida misma se alimenta de esa brecha, por lo que nuestra existencia se debe a los efectos del crecimiento diferencial en

las dos curvas de la entropía. En la práctica, la brecha mayor entre las dos curvas se abrió, no después de la disociación, sino durante la época de la nucleosíntesis, pero esa es otra historia [3]. La pregunta sigue siendo si la brecha en la entropía nunca se cerrará, conduciendo a la muerte térmica infame, o si, en el contexto de un universo en expansión, puede ser arbitrariamente retrasada [8].

5. La gravitación cambia la historia

La expansión cosmológica es una manifestación de la actividad gravitacional del universo. La expansión uniforme es, por supuesto, una descripción simplificada del campo gravitatorio cosmológico. Una inspección más cuidadosa a los datos del CMB muestra todas las fluctuaciones importantes en temperatura y densidad a un nivel de aproximadamente una parte en 10^5 . Estas ondulaciones en el CMB son las semillas de la estructura a gran escala del universo, características que estaban destinadas a convertirse en cúmulos de galaxias. El mecanismo del aumento del agrupamiento es la agregación gravitatoria. Las regiones del universo que eran ligeramente más densas tenían una tendencia a tirar material a expensas de su entorno y de ese modo aumentar el contraste de densidad. Esta tendencia por la gravitación a su vez distribuyó suavemente el gas en unos cúmulos marcando un contraste con la tendencia de los gases, por lo que los efectos gravitatorios sean despreciables para ir desde una gran concentración a una menos densa –como en la Fig. 1.

En términos generales, entonces, un gas de laboratorio agrupado representa un estado de baja entropía, mientras que un gas expandido representa un estado de alta entropía. Para un sistema gravitacional es al revés. El estado final de esta amplificación del agrupamiento gravitatorio es el agujero negro, que puede ser considerado como el estado de equilibrio de entropía máxima de la materia gravitatoria. Esto nos lleva a una conclusión significativa acerca del universo temprano. Considerando que en los primeros tiempos el contenido de materia del universo estaba en un estado cercano al equilibrio termodinámico, el campo gravitatorio estaba muy lejos de dicho equilibrio.

¿Hasta dónde? Una forma de cuantificar la brecha ha sido propuesta por Penrose [10], [11], quien apeló a la fórmula de Bekenstein-Hawking para la entropía de un agujero negro [12], [13]. Tomando el contenido de todo el universo observable hoy en día, es sencillo calcular la entropía de un agujero negro de masa equivalente. La respuesta es $10^{123}k$, donde k es la constante de Boltzmann. Compare esto con la entropía real derivada del CMB de alrededor de $10^{90}k$ en el momento de la desvinculación, o la actual $10^{100}k$. Es evidente que el universo de hecho estaba –y sigue estando– muy lejos del estado de entropía máxima posible. Este desfase es aún más sorprendente cuando se traduce a probabilidades. La entropía de un estado está relacionada logarítmica con el número de micro-estados que la componen, lo

que significa que la probabilidad de un determinado estado de entropía, menor a la máxima, disminuye exponencialmente con la entropía. Si nos preguntamos cuál es la probabilidad de que un estado aleatorio inicial del universo poseyera una entropía de sólo $10^{90}k$ en lugar de $10^{123}k$, la respuesta es $\exp(-10^{123})$, un número alucinante pequeño.

¿Cómo explicar este resultado? En resumen, la saeta del tiempo deriva en última instancia del hecho de que el universo empezó en un —tranquilo— estado gravitacional de entropía extremadamente baja, con casi toda la actividad gravitacional concentrada en un único y ordenado modo dilatatorio, y sólo con pequeñas irregularidades sobrepuestas en él. Este estado inicial, sin embargo, desde el punto de vista de la gravedad, es sumamente especial y notable, pero es un elemento esencial para explicar el universo que percibimos. ¿Dejamos las cosas así, y aceptamos que el universo nació en un estado extremadamente inusual? O ¿Hay una explicación más profunda?

6. ¿La inflación es la respuesta?

Hoy en día existe una explicación para la tranquilidad inicial del universo. Se llama inflación. De acuerdo con el escenario inflacionario [14], el universo saltó en tamaño a través de un enorme factor durante la primera fracción de segundo de su existencia. Esto tuvo el efecto de "aplanamiento" que puede haber estado presente inicialmente por un amplio espacio de distensión. El episodio fugaz de expansión acelerada fue impulsado por la excitación de un campo de "inflación" hipotético que poseía presión negativa conducida en forma de anti-gravedad. Los detalles no son importantes aquí. El punto a resaltar es que la tentación de apelar a un proceso físico anterior para explicar las condiciones "iniciales" del universo simplemente es un paso más. Las ecuaciones que rigen el campo de inflación son simétricas en el tiempo como todas las otras, y todavía se puede preguntar, en primer lugar, ¿cómo pudo el campo de inflación entrar en su estado excitado de baja entropía? En otras palabras, sólo es posible cambiar el carácter especial del estado de gravitación inicial al campo especial de inflación.

Al final, nunca será posible derivar la asimetría de la simetría, y parece ser que sólo quedan estas alternativas:

- Aceptar un estado inicial especial como un hecho real.
- Postular alguna forma de ley asimétrica del tiempo, posiblemente limitada en sus efectos principales al universo muy temprano [11].
- Utilizar algún tipo de argumento antrópico como un efecto de selección, a lo largo de las siguientes líneas: Solamente en regiones donde el campo de inflación, por casualidad, inicialmente estaba en un estado excitado especial, podría inflarse el universo y lograr un alto grado de uniformidad gravitacional, desde la cual surgen, eventualmente, de una manera ordenada las

galaxias, las estrellas y la vida. La mayor parte del universo se caracteriza por estados gravitacionalmente muy agrupados, con grandes agujeros negros, con expansión cosmológica altamente caótica, etc., que es hostil a todo tipo de vida.

- Recurrir a la mecánica cuántica.

7. La mecánica cuántica

La mecánica cuántica se puede aplicar a todo el universo, de la forma como la discuten Hartle & Hawking [15], tomando la función de onda del universo como una suma de todas las posibles historias cósmicas y geometrías. La cuestión de cómo interpretarla como una función de onda ha sido muy discutida, pero el consenso parece ser que sólo tiene sentido la interpretación de los así llamados universos múltiples. Es decir, se supone que todas las ramas de la función de onda cósmica describen un universo realmente existente, y que existe una infinidad de universos que coexisten en paralelo [16], [17]. Así que esta es una variación de una teoría de todos los mundos posibles.

Las implicaciones son más fáciles de comprender si nos restringimos solamente a la función de onda para todos los posibles universos reconstruidos. Se trata de universos que se inician con una gran explosión y terminan con un big crunch (Fig. 6).

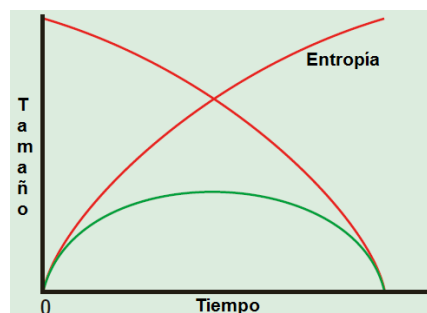


Fig. 6 Comportamiento de algunos universos

En promedio, el brusco comportamiento dinámico es por tanto simétrico en el tiempo. Sin embargo, en los universos individuales —es decir, las ramas de la función de onda—, la entropía no seguirá el factor de escala cósmica para subir y bajar de nuevo. Más bien, es muy probable que comience baja y al final sea alta, o viceversa, como se muestra en la Fig. 6. Cualquier de estos universos podría por definición finalizar con baja entropía "big bang" y con alta entropía "big crunch", por lo que desde cualquier punto de vista no importa cualquier forma redonda para una rama particular de la función de onda —es decir, el universo. El asunto clave es que para ensamblar los universos como un todo la situación sigue siendo simétrica en el tiempo. Por lo tanto, la idea es integrar universos especiales con tiempo asimétrico en un conjunto global simétrico en el tiempo. Hay que tener en cuenta que en casos muy raros —ya que la función de onda del universo contiene todos los posibles universos contraídos— la


entropía aumenta y luego cae de nuevo, permitiendo que la saeta del tiempo se invierta.

8. Conclusión

Al parecer esto es lo mejor que podemos hacer tanto como para tener nuestro pastel y comérmolo. Esto da cuenta de la existencia de una saeta del tiempo, sin imponerse a través de una legislación ad hoc especial,

y sin una apelación indebida a la selección antrópica. Su debilidad radica en el hecho de que la aplicación de la mecánica cuántica a todo el universo sigue siendo un ejercicio altamente especulativo, y la interpretación de la función de onda, de la forma como se ha descrito, está lejos de ser aceptada de forma general.

REFERENCIAS

- [1] G. J. Whitrow. "The Natural Philosophy of Time". Edinburgh: Thomas Nelson and Sons, 410 p. 1980.
- [2] G. J. Whitrow. "What Is Time?" London: Thames & Hudson, 192 p. 1972.
- [3] P. C. W. Davies. "The Physics of Time Asymmetry". Berkeley: University of California Press, 214 p. 1977.
- [4] H. Price. "Time's Arrow and Archimedes' Point: New Directions for the Physics of Time". Oxford: Oxford University Press, 214 p. 1997.
- [5] L. Boltzmann. "Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gas-Molekülen". *Sitzungsbericht der Akademie der Wissenschaften*, No. 66, pp. 275-370, 1872.
- [6] H. Poincaré. "Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste vol. II". Paris: Gauthier-Villars, 251 p. 1893.
- [7] L. Boltzmann. "Über die Unentbehrlichkeit der Atomistik in der Naturwissenschaft". *Annalen der Physik*, Vol. 296, No. 2, pp. 231-247, 1897.
- [8] P. C. W. Davies. "The Last Three Minutes: Speculating About the Fate of the Cosmos". London: Weidenfeld & Nicolson, 176 p. 1995.
- [9] A. Albrecht. "Cosmic inflation and the arrow of time". In J. D. Barrow, P. C. W. Davies and C. L. Harper (Eds.) "Science and Ultimate Reality: Quantum Theory, Cosmology, and Complexity". Cambridge: Cambridge University Press, 742 p. 2004.
- [10] R. Penrose. "Singularities and time asymmetry". In W. Israel and S. W. Hawking (Eds.) "General Relativity: an Einstein centenary survey". Cambridge: Cambridge University Press, p. 581-638, 1980.
- [11] R. Penrose. "The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe". London: Jonathan Cape, 1136 p. 2005.
- [12] J. D. Bekenstein. "Black Holes and Entropy". *Phys. Rev. D*, Vol. 7, No. 8, pp. 2333-2346, 1973.
- [13] S. W. Hawking. "Particle creation by black holes". *Commun. Math. Phys.* Vol. 43, No. 3, pp. 199-220, 1975.
- [14] A. Guth. "The Inflationary Universe". New York: Basic Books, 384 p. 1998.
- [15] J. B. Hartle & S. W. Hawking. "Wave function of the Universe". *Phys. Rev. D*. Vol. 28, No. 12, pp. 2960-2975, 1983.
- [16] H. Everett. "'Relative State' Formulation of Quantum Mechanics". *Rev. Mod. Phys.* Vol. 29, No. 3, pp. 454-462, 1957.
- [17] D. Deutsch. "The Fabric of Reality: The Science of Parallel Universes and Its Implications". London: Allen Lane, 390 p. 1998. 

PRODUCCIÓN INTELECTUAL

Para la Revista Digital Lámpsakos, la producción intelectual se constituye en una tarea fundamental y elemento dinamizador del quehacer académico de todos los profesionales, y esta sección tiene como objetivo crear las condiciones que permitan la transmisión y transformación del conocimiento a través de diferentes estrategias, que promuevan la generación de materiales intelectuales que contribuyan a la generación y utilización de todo su saber académico.

Esta sección de la revista contiene los aportes de los colaboradores que representan el fruto de su producción intelectual y que pueden clasificarse como:

1. **Artículo corto.** Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren de una pronta difusión.
2. **Reporte de caso.** Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Incluye una revisión sistemática comentada de la literatura sobre casos análogos.
3. **Revisión de tema.** Documento resultado de la revisión crítica de la literatura sobre un tema en particular.
4. **Cartas al editor.** Posiciones críticas, analíticas o interpretativas sobre los documentos publicados en la revista, que a juicio del Comité editorial constituyen un aporte importante a la discusión del tema por parte de la comunidad científica de referencia.
5. **Traducción.** Traducciones de textos clásicos o de actualidad o transcripciones de documentos históricos o de interés particular en el dominio de publicación de la revista.
6. **Documento de reflexión no derivado de investigación**
7. **Reseña bibliográfica**
8. **Otros**

Aunque la producción científica también es reconocida como intelectual, hemos separado estos conceptos para dar cabida a los trabajos que, aunque no sean productos de procesos investigativos, sean el reflejo de un trabajo serio y comprometido con el objetivo de divulgar conocimiento.

Some Comments on the Aims of Mirfac (EWD-68)

Edsger Wybe Dijkstra

Algunos Comentarios a los Objetivos del Mirfac

Traducción

Edgar Serna M.

Fundación Universitaria Luis Amigó

edgar.sernamo@amigo.edu.co

Nota del traductor. En 1963, H. James Gawlik publicó su artículo "MIRFAC: A Compiler Base on Standard Mathematical Notation and Plain English", en el que describe una versión piloto del compilador MIRFAC. Las principales características del sistema, de acuerdo con el autor, es que está destinado a la solución de problemas científicos con presentación totalmente de fórmulas matemáticas. El uso del inglés sin formato para las instrucciones organizacionales, diagnostica los errores de manera automática e indica la ubicación real del error en un programa sin compilar. Además es un intento por minimizar la fragmentación de la declaración del problema original, que es una característica normal de los sistemas de programación. En esta carta, Dijkstra le escribe al editor de la revista, *Communications of the ACM*, sus comentarios acerca de dicho artículo.

Estimado Editor,

Recientemente H. J. Gawlik [1] ha publicado un artículo acerca del proyecto MIRFAC: A Compiler Base on Standard Mathematical Notation and Plain English. Su autor está al corriente de proyectos anteriores en líneas análogas (MADCAP y MADCAP) [2]. Cuando me enteré de esos proyectos anteriores me asombré debido a lo que pretendían parecer para mí difícilmente era algo sensato. No levanté mi voz entonces, convencido y confiado en que las personas descubrirían esto por sí mismas en un tiempo muy corto. Ahora, dos años y medio después me enfrento con el hecho de que el movimiento no ha desaparecido por muerte natural, como yo había supuesto que iba a suceder. Este descubrimiento me ha causado algo de decepción y sólo puedo lamentar mi silencio anterior sobre el tema.

La justificación para el proyecto MIRFAC parece ser la opinión de que lo que es correcto para la comunicación de persona a persona también debe ser adecuado para la comunicación del hombre con la máquina. (Esto es la única interpretación que me permite darle un significado a la declaración de Gawlik de que "un compilador no debe tener como objetivo simplemente simplificar la programación, sino también abolirla"). ¡Pero esta opinión no debería pasar sin respuesta!

Si encargamos a una persona "inteligente" de hacer algo por nosotros, podemos caer nosotros mismos en todo tipo de descuidos, errores, faltas, contradicciones, etc., apelando a su comprensión y sentido común: no se espera que lleve a cabo literalmente las tonterías que se le indicaron, se espera que intente hacer lo que se ordenó. Y un empleado humano es por lo tanto útil en virtud de su "desobediencia". Esto puede ser de alguna conveniencia para el maestro que no le gusta expresarse con claridad; el precio que se paga es el no depreciable riesgo de que el empleado realice, por su propia cuenta, algo totalmente involuntario.

Si, sin embargo, instruimos a una máquina para hacer algo debemos ser conscientes del hecho de que por primera vez en la historia de la humanidad tenemos un empleado a nuestra disposición que realmente hace lo que se ha dicho que haga. En la comunicación hombre-máquina no sólo es necesario ser excepcionalmente precisos y claros, hay por fin, además un punto para serlo, si deseamos por lo menos obtener todos los beneficios del poderoso y obediente empleado mecánico. Los esfuerzos encaminados a ocultar esta nueva necesidad de precisión —para el supuesto beneficio del usuario—, de hecho son perjudiciales: porque al mismo tiempo desean ocultar las igualmente nuevas posibilidades de la computación automática, de tener los procesos complejos bajo completo control.

Sigo citando al Sr. Gawlik: "... MIRFAC ha sido desarrollado para satisfacer el criterio básico de que sus enunciados del problema deben ser comprensibles para los no programadores, con el doble objetivo de que el usuario no necesita aprender algún lenguaje que no conozca ya, y que la exactitud del enunciado del problema pueda ser comprobada por cualquiera que entienda el problema aunque no conozca nada de programación".

No veo el punto del señor Gawlik acerca del "criterio fundamental". En otras partes he sido advertido acerca de la "... tendencia por diseñar lenguajes de programación para que puedan ser leídos fácilmente por un lector semi-profesionales, semi-interesado" (ver [3]). (Los síntomas de esta tendencia son lenguajes cuyo vocabulario incluye una agreste variedad de palabras en Inglés que se utiliza en un sentido casi normal, y algunos traductores que incluso permiten una lista en constante expansión de sinónimos y faltas de ortografía para esas palabras. Particularmente, los lenguajes diseñados bajo la presión comercial han sufrido seriamente de esta tendencia). Se ve tan atractiva: "Todo el mundo puede comprenderlo inmediatamente". Pero dar una interpretación semántica plausible para un texto que uno supone que es correcto y significativo, es una

cosa, escribir tal texto [.....] expresando exactamente lo que se quiere decir, “¡puede ser un asunto muy diferente!” Por razones similares, John McCarthy dice que “COBOL... es un paso hacia un callejón sin salida debido a su orientación hacia el Inglés, que no es adecuado para describir formalmente los procedimientos” [4].

Por otra parte, lograr el doble objetivo del Sr. Gawlik es un auto engaño. La notación matemática estándar ha sido diseñada para describir relaciones y ahora tenemos que definir los procesos. El inglés sin formato ha surgido de una necesidad de comunicación interhumana, pare se vago y ambiguo, para contar chistes y cantar canciones de cuna, pero obviamente es inútil para expresar lo que tiene que expresarse ahora. Uno puede apropiarse de notaciones matemáticas, puede pedir prestadas palabras en inglés, pero una semántica completamente nueva se debe adjuntar a ellos y a pesar de una semejanza superficial uno crea un nuevo lenguaje. Y creo que la similitud es más engañosa que clarificadora.

Este temor se ve confirmado por el segundo objetivo del Sr. Gawlik, a saber: “que la exactitud del enunciado del problema pueda ser comprobada por cualquiera que entienda el problema aunque no

conozca nada de programación”. Por supuesto que puede probarla, pero el punto crucial es si ¡va a encontrar los errores! Y por supuesto que no los encontrará: porque en la comunicación humana uno es constantemente entrenado para tratar de comprender las intenciones de los demás sin notar las tonterías. El corrector que entiende el problema pero que no conoce nada de programación, será engañado por la familiaridad de los caracteres y las palabras y, con toda probabilidad, estará satisfecho si reconoce el problema.

Estoy totalmente a favor de los lenguajes algorítmicos claros y convenientes, pero, por favor, francamente dejar que: disimulen en apariencia que han sido adaptados a otros propósitos, puede solamente incrementar la confusión.

E. W. Dijkstra
Department of Mathematics
Technological University
Postbox 513
EINDHOVEN
The Netherlands

REFERENCIAS

- [1] H. J. Gawlik. “MIRFAC: A Compiler Based on Standard Mathematical Notation and Plain English”. *Comm. ACM*, Vol. 6, No. 99, Sep. 1963.
- [2] M. B. Wells. “MADCAP: A Scientific Compiler is a Displayed Formula Textbook Language”. *Comm. ACM*, Vol. 4, No. 1, Jan. 1961.
- [3] E. W. Dijkstra. “On the Design of Machine Independent Programming Languages”. In Goodman, R. (Ed) “Annual Review in Automatic Programming”, Vol. III. London: Pergamon Press, 1961.
- [4] J. McCarthy. “A Basis for a Mathematical Theory of Computation, Preliminary Report”. *Western Joist Computer Conference*. Los Angeles, California, May 09-11, 1961. [Ω](#)

NOMBRES DE CIENCIA

En esta sección se describirá en cada número la vida de los científicos más representativos en cada área. La idea es recordar su labor, sus aportes y datos más sobresalientes que los hacen científicos modelo para la humanidad.

Buscamos no olvidar a aquellos que vivieron o viven y han hecho una excelente labor en pro de la difusión del conocimiento y del desarrollo científico, para hacer de este planeta un mejor lugar para vivir, con responsabilidad y respeto por los derechos de los seres vivos que lo habitan, y por buscar un mejor futuro para las próximas generaciones que lo habitarán.

Se trata de mantener memoria viva de estas personas cuyo aporte nos permite estar en el nivel de desarrollo que actualmente tiene la humanidad. Aunque no podemos aún definirnos como civilizados, la sociedad del siglo XXI es producto de siglos de progreso, aportes, ideas y experimentos que la moldearon hasta convertirla en lo que es. Esos aportes e ideas tuvieron un padre, un creador, un impulsor, y es a esa persona a la que no queremos olvidar.

No tenemos un orden, una corriente o una clasificación específica para tratar la vida de alguno de ellos, pueden ser propuestos por nuestros lectores o en su defecto, se seleccionarán de acuerdo con el momento, la representatividad de sus ideas en este siglo o simplemente porque la edición de la revista concuerda con alguna fecha especial en su vida.

Marie Curie



Edgar Serna M.

Fundación Universitaria Luis Amigó
edgar.sernamo@amigo.edu.co

Abstract

Maria Sklodowska –Marie Curie– opened up the science of radioactivity; it's best known as the discoverer of the radioactive elements polonium and radium, and as the first scientific to win two Nobel prizes: Physics and Chemistry. For their colleagues and the general public, the radium was a key to a basic change in our understanding of matter and energy. Her work not only influenced the development of fundamental science, but also ushered in a new era in medical research and treatment.

Keywords: Marie Curie, radioactivity, polonium, radio, X-rays.

Resumo

Maria Sklodowska –Marie Curie– foi um pioneiro na ciência da radioatividade, é mais conhecido como o descobridor de elementos radioativos polônio e rádio, e como o primeiro cientista a ganhar dois prêmios Nobel: Física e Química. Para seus colegas eo público em geral, o rádio era a chave para uma mudança fundamental em nossa compreensão da matéria e energia. Seu trabalho não só influenciou o desenvolvimento da ciência fundamental, mas também marcou o início de uma nova era no domínio da investigação e tratamentos médicos.

Palavras-chave: Marie Curie, radioatividade, polônio, rádio, raios-X.

Resumen

María Sklodowska –Marie Curie– fue pionera en la ciencia de la radiactividad; es mejor conocida como la descubridora de los elementos radiactivos polonio y radio, y como el primer científico en ganar dos premios Nobel: Física y Química. Para sus colegas y el público en general, el radio fue la clave para un cambio fundamental en nuestra comprensión de la materia y la energía. Su trabajo no sólo influyó en el desarrollo de la ciencia fundamental, sino que también marcó el comienzo de una nueva era en la investigación y los tratamientos médicos.

Palabras clave: Marie Curie, radioactividad, polonio, radio, rayos-X.

1. Introducción

Cuando se pregunta a las personas por el nombre de una mujer científica importante, la mayoría sólo dudaría un corto período de tiempo antes de responder: "Marie Curie". Las razones parecen obvias: Marie Curie hizo uno de los avances teóricos más importantes del siglo XX cuando postuló que la radiación era una propiedad atómica en lugar de química; fue la primera persona en utilizar el término radiactividad. Sus estudios, luego de una larga búsqueda, culminaron con el descubrimiento de dos nuevos elementos: el polonio y el radio.

Dos aspectos del genio científico de Marie Curie fueron su creatividad y perseverancia. Si bien el descubrimiento imaginativo de la naturaleza atómica de la radiación es quizás su contribución más significativa, sin el otro aspecto, perseverancia, habría sido incapaz de justificar sus hipótesis. Su

trabajo científico la hizo merecedora de dos premios Nobel: uno en física y otro en química.

Al mirar la vida de este notable científico, es fácil imaginar a una mujer severa, una mujer dimensional, tan comprometida con su ciencia que sería incapaz de emociones complejas. Pero un examen más profundo revela una mujer con una infancia que estuvo marcada por la enfermedad, la muerte de la madre y una hermana, y luego la del padre, quien también había quedado marcado por las pérdidas. Su padre luchó para apoyar a los cuatro hijos que le quedaron, como profesor en un régimen opresivo en una Polonia controlada por el zar de Rusia.

La reacción de Marie fue de rechazar las creencias religiosas de su infancia, y comenzar a participar en movimientos políticos. Luego de que muchos obstáculos le impidieran de niña asistir a las

universidades en Polonia, Marie ingresó a una universidad clandestina no oficial.

Con el fin de ganar suficiente dinero para asistir a una universidad extranjera, salió de su casa para convertirse en institutriz. Inmediatamente se enamoró del hijo de sus empleadores, pero esa historia de amor fue un desastre total por lo que Marie desconfiaría en el futuro de cualquier compromiso. Cuando finalmente conoció a Pierre Curie, seguía siendo muy reacia a comprometerse en otra relación. Una vez que decidió confiar sus emociones a Pierre, su lealtad fue inquebrantable, incluso después de la prematura y trágica muerte del primero. Marie amaba a sus dos hijos, pero algunas veces los descuidaba emocionalmente, de la misma forma que ella había sentido el abandono.

Después de la muerte de Pierre, entabló amistad con el físico Paul Langevin, quien estaba casado, y con el que comenzó un romance; este hecho indignó al país entero. De desconsolada viuda, Marie fue retratada como una destructora de hogares. Agotada y enferma después de la controversia, gradualmente se reincorporó a la sociedad. Más tarde, pasó gran parte de su tiempo trabajando para desarrollar un nuevo centro de investigación dedicado a la radiactividad.

Durante la Primera Guerra Mundial estableció una flota de unidades móviles de rayos X, que se transportaban en vehículos especialmente equipados. Después de la guerra, aunque tenía el tiempo para dedicarse a la investigación, el dinero y los suministros eran escasos. Con el fin de abastecer su laboratorio viajó en dos ocasiones a los Estados Unidos y llevó a cabo un trabajo totalmente antiético para su tímida personalidad pública: se convirtió en embajadora para la ciencia en un papel de recaudadora de fondos.

En sus últimos años hizo muchos enemigos masculinos, al interior de una comunidad científica que menospreciaban su trabajo y afirmaban que sus primeros éxitos fueron posibles gracias a Pierre. A medida que su salud declinaba se refugió en su laboratorio, hasta que finalmente no pudo hacerlo por más tiempo. Fue un amado mentor para los científicos más jóvenes del Radium Institute, del que había sido pionera. Acosada por la fatiga, las cataratas y la anemia aguda, valientemente fue al laboratorio y dio clases en la Sorbonne hasta que contrajo una enfermedad terminal. Su amado radio finalmente la mató.

Marie Curie fue una persona muy compleja, un científico creativo y fino, que fue acosada por sus demonios personales pero que logró convertirlos en éxitos. En 1935, un año después de su muerte, Albert Einstein publicó un memorial en su honor en el que atribuyó su descubrimiento, de los dos elementos nuevos, a la intuición y la tenacidad bajo circunstancias inimaginables. Además, concluyó que de toda la gente famosa era la única a quien la fama

no había corrompido. No es de extrañar que cuando pensamos en una mujer de ciencia famosa su nombre siempre esté en primer plano.

2. Vida de Marie Curie

Una biografía es la historia de la vida de un individuo. Ninguna vida se vive en el vacío, y la vida de Marie Curie no fue una excepción. Al entender cómo vivió este destacado científico en el contexto de la ciencia y la sociedad de finales del siglo XIX y principios del siglo XX, seremos capaces de entender tanto su vida como su ciencia.

Cada individuo es el producto de muchos factores: padres, hermanos, la educación, la formación religiosa, la situación socioeconómica, el cónyuge, los hijos y la historia de los ideales políticos nacionales y sociales. Pero, para la historia de Marie Curie, tanto personas como ciencia fueron fundamentales: familia, amigos y colegas científicos desempeñaron un papel esencial en su vida. Todos la moldearon y fueron moldeados por ella; y para entender a Marie Curie debemos considerar todos estos factores.

Sus logros científicos se convirtieron en el estándar por medio del cual una mujer podía llegar a la ciencia. Su ciencia fue impactada por los relevantes descubrimientos de otros científicos, tanto hombres como mujeres, por lo que a fin de comprender su lugar en la historia de la ciencia es importante tener en cuenta los logros de otros investigadores.

Marie Curie (1867-1934) fue una química francés de origen polaco y pionera en el naciente campo de la radiología, que en dos ocasiones fue galardonada con el Premio Nobel: 1903 en Física y 1911 en Química.

Sus primeros años fueron muy tristes, marcada por la muerte de su hermana y cuatro años más tarde por la de su madre; fue notable por su ética de trabajo diligente, descuidando incluso la comida por el sueño de estudiar. Debido a su género no se le permitía la admisión en cualquier universidad de Rusia o Polonia, por lo que tuvo que trabajar como institutriz durante varios años. Finalmente, con la asistencia monetaria de su hermana mayor, se mudó a París donde estudió química y física en la universidad de Sorbonne, donde se convirtió en la primera mujer en enseñar.

Su trabajo en física le valió una beca y que un grupo de industriales, la Sociedad para el Fomento de la Industria Nacional, le pagara para investigar las propiedades magnéticas de diferentes aceros. Debido a que para llevar a cabo ese trabajo necesitaba un laboratorio, se presentó ante Pierre Curie, en la primavera de 1894, quien le permitió utilizar su laboratorio. Pierre Curie había hecho importantes descubrimientos científicos sobre el magnetismo y los cristales. Como la relación con Pierre progresaba, él la convenció para que se dedicara a la ciencia en París, por lo que nunca más regresó a Polonia. Ella a su vez lo convenció para escribiera su investigación en el magnetismo, y de esta forma pudiera obtener el

título de doctorado, con lo que logró el ascenso a un puesto de profesor.

Se casaron en julio de 1895, y en los siguientes dos años Marie completó su investigación sobre las propiedades magnéticas de los aceros, de la que presentó sus resultados finales poco antes de dar a luz a su primera hija, Irène, en septiembre de 1897. El padre de Pierre, un médico jubilado, fue a vivir con ellos y les ayudaba a cuidarla. Marie comenzó a buscar un tema de investigación con el cual poder obtener un doctorado en ciencias, algo que ninguna mujer en el mundo había logrado hasta entonces.

Junto a Pierre estudiaron los materiales radiactivos, particularmente el uranio *pitchblende*, que tenía la curiosa propiedad de ser más radiactivo que el uranio extraído de él. En 1898 dedujeron una explicación lógica: el *pitchblende* contenía trazas de algún componente radiactivo desconocido que era mucho más radiactivo que el uranio, por lo que el 26 de diciembre Marie anunció la existencia de esta nueva sustancia:

Mis experimentos demostraron que la radiación de los compuestos de uranio se puede medir con precisión bajo determinadas condiciones, y que esta radiación es una propiedad atómica del elemento uranio. Su intensidad es proporcional a la cantidad de uranio presente en el compuesto, y no depende de ninguna de las condiciones de combinación química o circunstancias externas, como la luz o la temperatura. Me propuse descubrir si había otros elementos que poseyeran esa misma propiedad, y con este objetivo examiné todos los elementos hasta entonces conocidos, ya fuera en su estado puro o en compuestos. He encontrado que entre estos cuerpos, los compuestos de torio son los únicos que emiten rayos similares a los de uranio.

Durante el curso de mi investigación había tenido ocasión de examinar no sólo los compuestos simples, sales y óxidos, sino también un gran número de minerales. Algunos demostraron ser radiactivos, los que contienen uranio y torio, pero su radiactividad parecía anormal, ya que era mucho mayor que la cantidad que había encontrado en el uranio y el torio, y que esperaba encontrar en ellos.

Esta anomalía en gran medida nos sorprendió y, cuando me aseguré que no se debía a un error en el experimento, se hizo necesario encontrar una explicación. Entonces me planteé la hipótesis de que el uranio y el torio contienen, en pequeñas cantidades, una sustancia mucho más radiactiva que ellos. Esta sustancia no puede ser uno de los elementos conocidos, porque ya habían sido examinados, sino que debe ser, por tanto, un nuevo elemento químico.

Tenía un deseo apasionado de verificar esta hipótesis lo más rápidamente posible; y Pierre, muy interesado en la cuestión, abandonó su trabajo en los cristales y se me unió en la búsqueda de esta sustancia desconocida.

Elegimos para nuestro trabajo al *pitchblende*, un mineral de uranio que en su estado puro es

aproximadamente cuatro veces más activo que el óxido de uranio. Puesto que la composición de este mineral se conoce a través de análisis químicos muy cuidadosos, podríamos esperar encontrar, como máximo, un 1% de la nueva sustancia. El resultado de nuestro experimento demostró que en realidad había nuevos elementos radiactivos en el *pitchblende*, pero que su proporción no alcanzaba siquiera ¡una millonésima por ciento! [1].

Tras varios años de incesante trabajo refinaron varias toneladas de *pitchblende*, concentrando progresivamente los componentes radiactivos. Eventualmente aislaron inicialmente las sales de cloruro —20 de abril 1902—, y luego dos nuevos elementos químicos: al primero lo llamaron *polonio* en honor del país natal de Marie, y al otro lo llamaron *radio* por su intensa radiactividad.

Otros científicos no confiaban en el anuncio, debido a que los Curie no tenían suficiente polonio y radio para ver y pesar. La existencia de los elementos no se conocía físicamente, pero su radiactividad se podía medir. Los Curie tendrían que separar esos elementos de las otras sustancias con la que se encontraban mezclados. El almacén en la escuela de Pierre era demasiado pequeño para ese trabajo, por lo que debieron continuar su trabajo en un cobertizo abandonado que quedaba cerca.

La Escuela de física no nos podía conseguir un local adecuado, pero a falta de algo mejor, el director nos permitió usar un cobertizo abandonado que había estado en servicio como sala de disección de la Facultad de Medicina. Su techo de cristal no nos ofrecía un completo refugio de la lluvia, el calor era sofocante en verano, y el frío del invierno sólo se disminuía un poco por la estufa de hierro. No teníamos acceso a los aparatos necesarios y adecuados de uso común para los químicos, simplemente eran algunas mesas viejas de madera de pino con hornos y quemadores de gas. Tuvimos que utilizar el patio contiguo para nuestras operaciones químicas que involucraban la producción de gases irritantes, incluso entonces el gas a menudo llenaba nuestro cobertizo. Con este equipo comenzamos nuestro agotador trabajo.

Sin embargo, fue en este viejo cobertizo que dedicamos, los mejores y más felices años de nuestra vida, los días completos a nuestro trabajo. A menudo tuve que preparar el almuerzo en el cobertizo, para no interrumpir alguna operación de especial importancia. A veces tenía que pasar un día entero mezclando una masa de ebullición con una pesada barra de hierro casi tan grande como yo, por lo que quedaba muerta de cansancio al final del día.

Otros días, por el contrario, el trabajo era por algunos minutos, que dedicábamos a la cristalización fraccionada, y consagrados al esfuerzo por concentrar el radio. Yo estaba irritada después por el polvo de hierro y el carbón flotante del que no podía proteger a mis preciosos productos. Pero nunca seré capaz de expresar la alegría y la serena tranquilidad de esta atmósfera de investigación, y la emoción real del progreso con la confiada esperanza de llegar a

resultados aún mejores. La sensación de desaliento que a veces venía después de una fatiga sin éxito no duraba mucho, y daba paso a una renovada actividad. Hemos tenido momentos felices dedicados al tranquilo debate de nuestro trabajo, caminando alrededor de nuestro cobertizo.

Una de nuestras alegrías entró una noche a nuestra sala de trabajo: entonces percibimos por todos lados las siluetas débilmente luminosas de las botellas o cápsulas que contenían nuestros productos. Fue realmente un espectáculo encantador y nuevo para nosotros. Los tubos brillantes parecían débiles luces de Navidad [2].

Las empresas industriales pronto vieron una oportunidad, por lo que ayudaron a los Curie proporcionándoles espacio adicional en los laboratorios, materias primas y apoyo personal. Creció una próspera industria: la extracción de sustancias radiactivas para usos médicos. Como escribió Madame Curie:

Puede ser fácil entender lo mucho que aprecié el privilegio de darme cuenta de que nuestro descubrimiento se había convertido en un beneficio para la humanidad, no sólo a través de su gran importancia científica, sino también por su poder como ayuda eficaz contra el sufrimiento humano y las terribles enfermedades. Esto era realmente una magnífica recompensa para nuestros años de duro trabajo [2].

El radio también fue utilizado por los científicos para realizar experimentos con los átomos. Se confirmó lo que Marie había sospechado: la poderosa energía que presentaba la radiactividad era una propiedad fundamental de todos los átomos de la materia.

Con Pierre Curie y Henri Becquerel, Marie fue galardonada con el Premio Nobel de Física en 1903: "En reconocimiento a los extraordinarios servicios que han prestado por sus investigaciones conjuntas sobre los fenómenos de radiación descubiertos por el profesor Henri Becquerel". Ella fue la primera mujer en recibir un Premio Nobel.

La fama por el Premio Nobel en ocasiones fue difícil de soportar para ambos, como escribió Pierre:

Vemos que la fortuna nos favorece en este momento, pero estos favores de la fortuna no vienen con muchas preocupaciones. Nunca hemos sido menos tranquilos que en este momento. Hay días en los que apenas tenemos tiempo para respirar. Y pensar que soñaba con vivir en la naturaleza, ¡muy alejado de los seres humanos! [3].

En 1906, después de trabajar por la mañana en el laboratorio, Pierre Curie se dirigía a una biblioteca cuando se resbaló en la calle mojada, y cayó delante de un pesado carro tirado por caballos que le pasó por encima de su cabeza matándolo instantáneamente. Madame Curie refleja:

La muerte de mi marido viene inmediatamente después de los reconocimientos generales de los descubrimientos con los que se asocia su nombre, fue sentido por la población y especialmente por los

círculos científicos, por ser una desgracia nacional. Fue en gran parte bajo la influencia de esta emoción que la Facultad de Ciencias de París decidió ofrecerme la silla, como profesor, que había ocupado mi marido sólo por año y medio en la Sorbonne. Fue una decisión excepcional ya que hasta entonces ninguna mujer había ocupado tal posición... El honor que ahora me viene es muy doloroso por las circunstancias crueles de su llegada [2].

Marie Curie se decidió a crear una institución científica digna de la memoria de Pierre. Con la ayuda de sus amigos científicos convenció al gobierno francés y a la Fundación privada Pasteur para financiar el Radium Institute. Marie lideraría ese laboratorio de radiactividad, y como eminente físico llevaría la investigación médica a su laboratorio.

Recibió su segundo Premio Nobel en Química en 1911: "En reconocimiento a sus servicios para el avance de la química por el descubrimiento de los elementos radio y polonio, el aislamiento del radio y el estudio de la naturaleza y compuestos de este notable elemento". En un movimiento inusual Marie, intencionalmente, no patentó el proceso de aislamiento del radio, dejándolo en su lugar abierto para que la comunidad científica pudiera investigar sin trabas.

En agosto de 1914 Alemania invadió Francia, y casi todo el personal del Radium Institute se enlistó en el esfuerzo bélico. La investigación científica tuvo que detenerse durante la Guerra, y Marie tuvo que buscar de qué forma podría ayudar su ciencia. Insistió en la utilización de unidades de radiografía móvil para el tratamiento de soldados heridos. Estas unidades eran accionadas mediante tubos de emanación de radio, un gas incoloro y radiactivo emitido por el radio, que más tarde sería identificado como el radón. Marie personalmente operaba los tubos, llenándolos con el radio que ella purificaba. Inmediatamente después que comenzó la Guerra, vendió las monedas de oro que ella y su marido habían recibido por el Premio Nobel, para apoyar el esfuerzo bélico. Como escribe Marie durante la Guerra:

El dominante deber impuesto a todos en ese momento era el de ayudar al país en todo lo posible durante la crisis extrema que enfrentaba. No hubo instrucciones generales para los miembros de la Universidad. Le tocó a cada uno tomar su propia iniciativa y las acciones de fondo.

Durante la rápida sucesión de acontecimientos en agosto de 1914, se demostró claramente que la preparación para la defensa era insuficiente. El sentimiento público se inclinó especialmente por realizar muchos de los graves problemas que aparecieron en la organización del Servicio de Salud. Mi propia atención se centró especialmente a esta situación, y pronto encontré un campo de actividad que, una vez entrada en ella, absorbió la mayor parte de mi tiempo y esfuerzo hasta el final de la Guerra, e incluso durante algún tiempo después.

Es bien sabido que los rayos-X ofrecen a los cirujanos y médicos una gran utilidad para el examen de los

enfermos y heridos. Sin embargo, al comienzo de la Guerra, la Junta Militar de Sanidad no tenía división de radiología, mientras que en la organización civil estaba un poco desarrollada. Las instalaciones radiológicas sólo existían en un pequeño número de hospitales importantes, y sólo había unos pocos especialistas en las grandes ciudades. Los numerosos hospitales nuevos que se establecieron en toda Francia en los primeros meses de la Guerra no tenían, por regla general, ninguna instalación para el uso de rayos-X.

Para satisfacer esta necesidad reuní por primera vez todos los aparatos que pude encontrar en los laboratorios y almacenes. Con este equipo se establecieron, en agosto y septiembre de 1914, varias estaciones de radiología, cuya operación fue asegurada por los ayudantes voluntarios a quienes les di las instrucciones. Estas estaciones prestaron un gran servicio durante la batalla del Marne. Pero como no podían satisfacer las necesidades de todos los hospitales de la región de París, me equipé, con la ayuda de la Cruz Roja, de un auto radiológico. Se trataba simplemente de un automotor dispuesto para el transporte de un aparato radiológico completo, junto con una dinamo que trabajaba impulsado por el motor del auto, y que aportaba la corriente eléctrica necesaria para la producción de los rayos. Este auto podría atender el llamado de cualquiera de los hospitales, grandes o pequeños, en los alrededores de París. Los casos urgentes eran frecuentes, ya que estos hospitales tenían que cuidar de los heridos que no podían ser transportados a lugares más lejanos [4].

3. La radiología en la guerra

La historia de la radiología en la Guerra ofrece un sorprendente ejemplo de la insospechada amplitud que la aplicación de los descubrimientos, puramente científicos, puede tomar bajo ciertas condiciones. Los rayos-X sólo habían tenido una utilidad limitada hasta el momento de la Guerra. La gran catástrofe que se desencadenó sobre la humanidad: cifras aterradoras de víctimas acumuladas, planteaba una reacción por salvar todo lo que se podía salvar, y aprovechar todos los medios de preservación y protección de la vida humana.

De inmediato apareció aquí un esfuerzo para sacar de los rayos-X de su máximo rendimiento de servicio. Lo que parecía difícil se hizo fácil y recibió una solución inmediata. El material y el personal se multiplicaron como por encanto. Todos aquellos que no entendían terminaron por aceptar; los que no sabían aprendieron; los que habían sido indiferentes se convirtieron en devotos. Así, el descubrimiento científico alcanzaba la conquista de su ámbito natural de acción. Una evolución similar se produjo en la radioterapia, o la aplicación médica de las radiaciones emitidas por los elementos de radio. ¿Qué debemos concluir de este inesperado desarrollo compartido entre las nuevas radiaciones que nos reveló la ciencia a finales del siglo XIX? Parece que debemos poner nuestra confianza en la investigación desinteresada y aumentar nuestro respeto y admiración por ella [5].

En 1921, Marie Curie llegó de gira por Estados Unidos, donde fue recibida triunfalmente, para recaudar fondos para la investigación sobre el radio. Regresó con un gramo de radio —sólo una partícula, pero tan ferozmente radiactivo que podía alimentar a miles de experimentos— lo mismo que con costosos equipos y dinero en efectivo para el Radium Institute.

En sus últimos años, estaba decepcionada por la cantidad de médicos y fabricantes de cosméticos que utilizaban material radiactivo sin precauciones. Su muerte, cerca de Sallanches Francia en 1934, fue ocasionada por anemia perniciosa aplásica, casi con seguridad debida a su masiva exposición a la radiación en su trabajo. Su hija mayor, Irène Joliot-Curie, ganó el Premio Nobel de Química en 1935, un año después de la muerte de Marie Curie. Su hija menor, Eve Curie, escribió la biografía de Madame Curie después de su muerte.

4. Línea del tiempo de Marie Curie

- 7 de Noviembre/1867: Nace María Sklodowska en Warsaw, Polonia.
- 9 de Mayo/1878: muere la madre de María Sklodowska.
- 12 de Junio/1883: se gradúa de la escuela secundaria logrando la medalla de oro.
- 1 de Enero/1886: comienza a trabajar como institutriz con los Zorawski.
- Marzo/1889: deja su trabajo de institutriz.
- 5 de Noviembre/1891: se registra como estudiante en la Sorbonne.
- Junio/1893: se gradúa en física de la Sorbonne, ocupando el primer lugar de la promoción.
- Julio/1894: se gradúa en matemáticas de la Sorbonne, ocupando el segundo lugar.
- 26 de Julio/1895: se casa con Pierre Curie.
- 12 de Septiembre/1897: nace su hija Irène Joliot-Curie.
- 12 de Septiembre/1898: introduce el término radiactividad en un artículo publicado.
- 18 de Julio/1898: junto a Pierre anuncian el descubrimiento del polonio.
- 26 de Julio/1898: con Gustave Bémont y Pierre anuncia el descubrimiento del radio.
- Diciembre/1903: junto a Henri Becquerel y Pierre recibe el Premio Nobel de física.
- 6 de Diciembre/1904: nace Eve Curie.
- 19 de Abril/1906: muere Pierre en un accidente.
- 5 de Noviembre/1906: se convierte en la primera mujer profesor en la Sorbonne.
- 23 de Enero/1911: se le negó ser miembro de la Academia Francesa de Ciencias.
- Diciembre/1911: obtiene el Premio Nobel de química.
- Agosto/1914: funda el Radium Institute.
- 1914-1919: organiza y opera la unidad de rayos-X móvil durante la Primera Guerra Mundial.
- Mayo-Junio/1921: visita los Estados Unidos para recibir un gramo de radio.

- 1929: segunda visita a los Estados Unidos para recolectar dinero para las investigaciones en radio del Radium Institute.
- 4 de Julio/1934: muere de anemia perniciosa aplásica.
- 20 de Abril/1995: sus restos se ubican en un panteón. Primera mujer en ser honrada por sus logros.

REFERENCIAS

- [1] Curie, P. "Marie Curie". Paris: Les Éditeur Français Réunis. 1903
- [2] Curie, M. "L'isotopie et les belbements isotopes". Paris, bEditbe par la socibetbe "*Journal de physique*". 1924.
- [3] Curie, P. "Una carta a su amigo E. Gouy". 20 de marzo de 1902.
- [4] Curie, M. "Pierre Curie and Autobiographical Notes". New York: The Macmillan Company. 1923
- [5] Curie, E. "Madame Curie". Paris: Gallimard. 1938.

También se consultó en:

- Bensusade-Vincent, B. "Marie Curie: femme de science et de légende". *Reveu du Palais de la découverte*, Vol. 16. No. 157, pp. 15-30. 1988.
- Crawford, E. "The Beginnings of the Nobel Institution. The Science Prizes 1901-1915". Cambridge: Cambridge University Press. 1984
- Gleditsch, E. "Marie Skłodowska Curie". Norwegian: Nordisk Tidskrift. 1959.
- Kandinsky, W. "Look Into the Past 1901-1913: The Blue Rider". New York: Franz Marc. 1945.
- Langevin, A. "Paul Langevin, mon père". Paris: Les Éditeur Français Réunis. 1971.
- Marbo, C. "Souvenirs et Rencontres". Paris: Grasset. 1968.
- McGrayne, S. B. "Nobel Prize Women in Science, Their Lives, Struggles and Momentous Discoveries, A Birch Lane Press Book". New York: Carol Publishing Group. 1993.
- Pflaum, R. "Grand Obsession: Madame Curie and Her World". New York: Doubleday. 1989.
- Quinn, S. "Marie Curie: A Life". New York: Simon & Schuster. 1995.
- Ramstedt, E. "Marie Skłodowska Curie, Kosmos". *Papers on Physics*, No. 12. 1934.
- Reid, R. "Marie Curie". London: William Collins Sons & Co. Ltd. 1974. [Ω](#)

JÓVENES INVESTIGADORES

Las directrices de la investigación establecen que entre las características de dicha actividad debe contarse la contribución que hace al proceso formativo de los estudiantes, y que aquellos que participan en las actividades y proyectos de los grupos de investigación, deben tener la oportunidad de enriquecer su formación académica y profesional. No solo participando en los procesos de creación de conocimiento, ya valiosa en sí misma, sino que el ejecutar esos proyectos de investigación debe aportarles un aprendizaje del lado del conocimiento de frontera de la disciplina, además, entrenamiento en la metodología de trabajo sistémico con el objetivo de conseguir resultados concretos en tiempos determinados.

Para responder a esta propuesta, la revista les brinda la oportunidad para que publiquen sus trabajos, para que difundan sus experiencias y conocimientos adquiridos en sus procesos formativos. En esta sección de revista publicaremos cada semestre los trabajos más destacados de los jóvenes que se “atreven” a escribir sus procesos de investigación o de producción intelectual. La contribución de esta iniciativa al proceso formativo de los estudiantes podrá derivar en la aparición, en algunos de ellos, de vocaciones y aptitudes para continuar los procesos que sus predecesores investigadores están desarrollando.

Pueden hacerse llegar trabajos producto de proyectos de investigación, de semilleros de investigación o que sean el reflejo de pensamientos o reflexiones acerca de alguna de las temáticas de las que trata esta publicación.

Reflections on time travel

Reflexões sobre a viagem no tempo

Reflexiones Acerca del Viaje en el Tiempo

Luis Carlos Pallares V.

Universidad Simón Bolívar
luispallares@usb.edu.ve

En la novela de HG Wells, "La máquina del tiempo", el protagonista salta a una silla especial con luces parpadeantes, gira algunos pedales, y se ve catapultado a cientos de miles de años en el futuro, donde Inglaterra ha desaparecido hace tiempo y ahora está habitada por extrañas criaturas llamados Morlocks y Eloi. Eso puede tener mucha ficción, pero los físicos siempre se han burlado de la idea de viajar en el tiempo, considerándolo como un reino de manivelas, místicos, y charlatanes, y con buena razón. Sin embargo, los avances más notables en la gravedad cuántica están revitalizando la teoría; lo que se ha convertido en una feria de juego para los físicos teóricos escribir en las páginas de la *Physical Review magazine*. Uno de los problemas persistentes con el viaje en el tiempo es que está lleno de varios tipos de paradojas. Por ejemplo, existe la paradoja del hombre sin padres, es decir, ¿qué sucede cuando retrocedes en el tiempo y matas a tus padres antes de nacer? Pregunta: si tus padres murieron antes de que nacieras, entonces, en primer lugar ¿cómo podrías haber nacido para matarlos? También existe la paradoja del hombre sin pasado. Por ejemplo, digamos que un joven inventor está tratando inútilmente de construir una máquina del tiempo en su garaje. De repente, un anciano aparece de la nada y le entrega al joven el secreto para la construcción de una máquina del tiempo. Entonces el joven logra una enorme riqueza invirtiendo en la bolsa de valores, en las pistas de carreras y en eventos deportivos, porque conoce el futuro. Entonces, siendo ya un hombre viejo, decide hacer su último viaje hacia el pasado y darle el secreto del viaje en el tiempo a su propio yo joven. Pregunta: ¿dónde provino la idea de la máquina del tiempo?

También existe la paradoja del hombre que es su propia madre. "Jane" está en un orfanato como una huérfana. Cuando "Jane" es una adolescente, se enamora de un vagabundo, que luego la abandona, pero que la deja embarazada. Entonces ocurre un desastre. Ella casi muere dando a luz a una niña, que es misteriosamente secuestrada. Los médicos encuentran que Jane está sangrando mucho, pero, por extraño que parezca, tiene ambos órganos sexuales. Así que, para salvar su vida, los médicos convierten a "Jane" en "Jim". Posteriormente, "Jim" se convierte en un borracho vagabundo, hasta que conoce a un camarero amable (en realidad un viajero en el tiempo disfrazado) que conduce a "Jim" por el camino de vuelta hacia su pasado. "Jim" conoce a

una chica adolescente hermosa, accidentalmente consigue embarazarla de una niña. Arrepentido, secuestra a la niña y la deja fuera de un orfanato. Más tarde, "Jim" se une al cuerpo de viajeros en el tiempo, lleva una vida distinguida, y tiene un último sueño: disfrazarse de camarero para encontrarse con un borracho que se llamaba "Jim" en el pasado. Pregunta: ¿quién es la madre de "Jane", y el padre, el hermano, la hermana, el abuelo, la abuela y el nieto?

No es de extrañar, el viaje en el tiempo siempre se ha considerado imposible. Después de todo, Newton creía que el tiempo era como una flecha; una vez disparada, se eleva en línea recta, sin desviarse. Un segundo en la tierra fue un segundo en Marte. Relojes dispersos por todo el universo funcionan a la misma velocidad. Einstein nos dio una imagen mucho más radical. De acuerdo con Einstein, el tiempo era más como un río, que serpentea alrededor de estrellas y galaxias, acelerando y desacelerando al pasar cerca de cuerpos masivos. Un segundo en la Tierra NO fue un segundo en Marte. Relojes dispersos por todo el universo funcionan a su propio ritmo distante. Sin embargo, antes de que Einstein muriera, se enfrentó a un problema embarazoso. El vecino de Einstein en Princeton, Kurt Gödel, quizá el Lógico Matemático más grande de los últimos 500 años, encontró una nueva solución a las ecuaciones de Einstein que ¡le permitían viajar en el tiempo! El "río del tiempo" ahora tenía remolinos en los que tiempo puede envolverse en un círculo. La solución de Gödel era bastante ingeniosa: postuló un universo lleno de un fluido en rotación. Cualquiera que caminara a lo largo de la dirección de rotación se encontraría de vuelta en el punto de partida, ¡pero hacia atrás en el tiempo!

En sus memorias, Einstein escribió que estaba preocupado porque esta ecuación contenía soluciones que permitían el viaje en el tiempo. Pero finalmente llegó a la conclusión: el universo no rota, se expande —es decir, como en la teoría del Big Bang— y por lo tanto la solución de Gödel podría ser desestimada por "razones físicas". (Aparentemente, si el Big Bang hubiese sido giratorio, entonces ¡viajar en el tiempo sería posible a través del universo!)

Luego, en 1963, Roy Kerr, un matemático neozelandés, encontró una solución a las ecuaciones de Einstein para un agujero negro en rotación, que

tiene propiedades extrañas. El agujero negro no colapsa en un punto —como se pensaba—, sino en un anillo giratorio —de neutrones. El anillo podría circular tan rápidamente que la fuerza centrífuga lo mantendría fuera del colapso gravitacional. El anillo, a su vez, actúa como un espejo. Cualquiera que camine a través del anillo no moriría, sino que podría pasar por el anillo a un universo alternativo. Desde entonces, cientos de otras soluciones de “agujero de gusano” se han encontrado para las ecuaciones de Einstein. Estos agujeros de gusano conectan no solo dos regiones del espacio —de ahí el nombre—, sino también dos regiones de tiempo. En principio, pueden ser utilizados como máquinas del tiempo. Recientemente, los intentos por agregar la teoría cuántica a la gravedad —y por lo tanto crear una “teoría del todo”— nos han dado alguna información sobre el problema de las paradojas. En la teoría cuántica, podemos tener múltiples estados de cualquier objeto. Por ejemplo, un electrón puede existir simultáneamente en diferentes órbitas —un hecho responsable de darnos las leyes de la química. Del mismo modo, el famoso gato de Schrödinger puede existir simultáneamente en dos posibles estados: muerto y vivo. Así que yendo atrás en el tiempo y alterando el pasado, estamos simplemente creando un universo paralelo. Así que estamos cambiando los otros pasados de alguien, por ejemplo, a Abraham Lincoln de ser asesinado en el Teatro Ford, pero nuestro Lincoln permanecerá muerto. De esta manera, el río del tiempo se divide en dos ríos separados. Pero ¿significa esto que vamos a ser capaces de saltar en la máquina de H. G. Wells, girar una palanca, y lanzarnos varios cientos de miles de años a la Inglaterra del futuro? No. Hay una serie de obstáculos difíciles de superar.

En primer lugar, el problema principal es la energía. De la misma manera que un coche necesita gasolina, una máquina del tiempo necesita una fabulosa cantidad de energía. O se tiene que aprovechar el poder de una estrella, o encontrar algo llamado “materia exótica” —que cae hacia arriba en vez de hacia abajo— o encontrar una fuente de energía negativa. Los físicos pensaban que la energía negativa era imposible. Sin embargo, se han verificado

experimentalmente pequeñas cantidades de energía negativa por algo llamado el efecto Casimir, es decir, la energía creada por dos placas paralelas. Hasta ahora estas energías son muy difíciles de obtener en grandes cantidades, ¡por lo menos durante varios siglos más!

Luego está el problema de la estabilidad. El agujero negro de Kerr, por ejemplo, puede ser inestable si se cae a través de él. Del mismo modo, los efectos cuánticos pueden crear y destruir el agujero de gusano antes de entrar en él. Por desgracia, nuestras matemáticas no son lo suficientemente potentes como para responder a la cuestión de la estabilidad porque se necesita una “teoría del todo”, que combine las fuerzas cuánticas y la gravedad. En la actualidad, la Teoría de Súper-cuerdas es la principal candidata para tal teoría —de hecho, es la ÚNICA candidata; realmente no tiene rivales en absoluto. Pero esta teoría, es aún difícil de resolver por completo. La teoría está bien definida, pero nadie en la tierra es tan inteligente para resolverla.

Curiosamente, Stephen Hawking una vez se opuso a la idea de viajar en el tiempo. Incluso afirmó que tenía pruebas “empíricas” en su contra. Si el viaje en el tiempo existe, dijo, entonces habríamos sido visitados por turistas del futuro. Dado que no vemos turistas del futuro, ergo: el viaje en el tiempo no es posible. Debido a la enorme cantidad de trabajo realizado por los físicos teóricos en los últimos 5 años, Hawking ha cambiado de manera de pensar, y ahora cree que el viaje en el tiempo es posible —aunque no necesariamente práctico. Por otra parte, tal vez simplemente no somos muy interesantes para esos turistas del futuro. Cualquiera que pueda aprovechar el poder de una estrella nos consideraría muy primitivos. Imagine a sus amigos próximos a través de un hormiguero. ¿Podría agacharse hacia esas hormigas y darles baratijas, libros, medicina, y el poder? ¿O podría alguno de sus amigos tener el extravagante impulso de conocer el pasado de alguno de ellos?

En conclusión, no se extrañe si en el futuro alguien llega a su puerta diciendo que es su tatarataratarata nieto. Puede que tengan razón. **Ω**