

(2010). Revista Digital Lámpsakos, Número 3.



**FACULTAD DE
INGENIERÍAS**

**FUNDACIÓN
UNIVERSITARIA
LUIS AMIGÓ**

Número 3. Semestre I-2010

**MEDELLÍN - ANTIOQUIA
2010**

Número 3. Semestre I-2010

Director

Luis Fernando Vargas Cano
Decano Facultad de Ingenierías

Editor

Edgar Serna Montoya

Diseño y producción

Edgar Serna Montoya

Derechos

**Copyleft and Creative Common
Open Access**

Colaboradores

José Manuel Berrio Jaimes

COMITÉ EDITORIAL

MSc. Paula Andrea Tamayo Osorio
Fundación Universitaria Luis Amigó

MSc. Jonier Rendón Prado
Institución Universitaria de Envigado

Esp. Ramiro H. Giraldo Naranjo
Universidad de Antioquia

MSc. José Eucario Parra Castrillón
Fundación Universitaria Luis Amigó

MSc. Carlos Mario Durango Yepes
Universidad Pontificia Bolivariana

Esp. Jorge Mauricio Sepúlveda Castaño
Corporación Universitaria Remington

COMITÉ CIENTÍFICO

Dr. Mario Tamayo y Tamayo
Universidad del Valle
Colombia

Dra. Susana Carreras Gómez
Sede Universitaria Municipal Camajuaní
Cuba

Dr. Fernando Arango Isaza
UNAL Facultad de Minas - Medellín
Colombia

Lic. Valerio Adrián Anacleto
Epidata Consulting
Argentina

Dr. Gabriel Hernán Uribe
UNAL Facultad de Minas - Medellín
Colombia

Dr. Darío Jaén Navarro
Universidad San Buenaventura
Colombia

MSc. Carlos A. Hernández Medina
Sede Universitaria Municipal Camajuaní
Cuba

FACULTAD DE INGENIERÍAS

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LUIS AMIGÓ

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

lampsakos@funlam.edu.co

revistalampsakos@gmail.com

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

CONTENIDO

5. EDITORIAL

7. CARTAS AL EDITOR

8. DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

9. Computación y paradojas matemáticas

Jhon Sideleat Tasenm

16. De Newton a Einstein: A debate el destino del universo

Rogelio Parreira Y., Bianca Yanuba P.

27. Los casos de prueba en la prueba del software

José Luis Aristegui O.

35. Los retos de la Sociedad del Conocimiento

Ana Cristina Figueredo, Patricia Anderson R.

42. Modelamiento electromagnético de los sistemas eléctricos ferroviarios para estudiar su compatibilidad

Patrick Journey M., Jeremy Steel O., Kilena Forte B.

54. Influencia de la Ingeniería en el desarrollo comercial de la humanidad: Edad Media

Ana María Saravia G., Luisa Fernanda Amorim

67. La Ingeniería en la Era de la Tecnología: Una profesión política

María Alejandra Buendía A., Antonio Bejarano P.

75. PRODUCCIÓN INTELECTUAL

76. Por qué Johnny no puede comprender

Edgar Serna Montoya

78. NOMBRES DE CIENCIA

79. Galileo Galilei

Edgar Serna M., José Marquiná F., Eugenio Fernández R.

85. JÓVENES INVESTIGADORES

86. Línea del tiempo de las ciencias computacionales

Alexei Serna Arenas

EDITORIAL

La comunicación científica se ha visto marcada por un continuo incremento en calidad, cubrimiento y facilidad de acceso a la información. Cada vez más la publicación de ideas, resultados de investigación y trabajos propositivos, le permite a los científicos establecer derechos por descubrimientos, innovaciones o mejoras que los posicionan frente a sus colegas y la sociedad en general. Pero no siempre fue así, desde la aparición de las primeras revistas científicas, alrededor de 1665, la comunicación entre hombres de ciencia y entre ellos y sus seguidores pasó de ser primordialmente unidireccional a convertirse en un sistema de interacción entre las partes, que se ha convertido hoy en necesaria para la divulgación científica. Este proceso de cobertura y de difusión también generó un sistema para el control de calidad, que en su evolución pasó de estar en manos de un “sabelotodo” prominente a convertirse en un sistema de revisión por pares –“*peer review*”–, que se constituye en el estándar de calidad para cualquier publicación científica seriada.

El círculo de distribución de las publicaciones inicialmente se limitaba a los integrantes de pequeñas sociedades y, en muchos casos, eran exclusivamente para personajes en lugares cercanos. La aparición del servicio postal en el mundo las puso al alcance de más personas y en lugares cada vez más remotos, lo que, paralelamente, amplió el radio de cobertura de los círculos en los que se producía el conocimiento. En la sociedad actual, el desarrollo de Internet produjo un sustancial cambio tecnológico en la forma como se comunica y produce ciencia, y ha modificado radicalmente las estrategias con las que se aplica el control a la calidad, la edición y la distribución de las publicaciones científicas.

Hoy se acepta, sin mucha discusión, que la calidad editorial de una publicación depende en gran medida del sistema que utiliza para la evaluación por pares. En el último año, para nuestra publicación, incorporamos un distinguido grupo de hombres y mujeres de ciencia, investigadores y críticos de varios países de América y Europa, que se han comprometido de manera desinteresada a trabajar con nuestra revista, no sólo en la selección de buenos artículos sino también con comentarios que promuevan el continuo mejoramiento de la estructura, edición y publicación de cada semestre. Consideramos que estos elementos –selección y mejoramiento– recogen lo más esencial del valor real de un sistema de pares, como la estrategia que permite el mantenimiento y la sostenibilidad de la calidad científica de una publicación.

Otro aspecto valorado y promovido desde la divulgación científica es el hecho de que las revistas constituyen un instrumento que impulsa la difusión social del conocimiento científico y tecnológico. Lo que permite que el conocimiento, como acervo de la actual Sociedad del Conocimiento, se incremente y enriquezca al momento que aquellos que lo generan publiquen los resultados de sus investigaciones mediante informes o artículos científicos. Por esto resulta necesario, para continuar con la divulgación y discusión de los resultados de la investigación, que se identifique, estimule y apoye a las revistas que se destacan por su calidad en contenidos, fortaleciendo de esta forma los procesos de difusión del conocimiento en el mundo. Son precisamente las instituciones, las llamadas a patrocinar adecuadamente el surgimiento y la permanencia de las publicaciones científicas, mediante estímulos a los buenos trabajos y a quienes se dedican a su mantenimiento; esto repercutirá en que la ciencia cada vez sea más conocida y aprovechada por una sociedad necesitada de ideas y de resultados fiables.

Recientemente se ha generado otro cambio alrededor de la divulgación científica y en la estructura de la ciencia: se ha pasado de un sistema organizado de forma disciplinar a otro organizado de forma transdisciplinar. En este paradigma se producen y destacan relaciones interpersonales únicas, y emergen relaciones intergrupales e interinstitucionales alrededor de la investigación que direccionan los nuevos procesos de divulgación y producción científica y tecnológica, y contribuyen al mismo tiempo a un desarrollo global sin precedentes.

También, en los últimos años, a raíz de los cambios en la literatura acerca de la investigación y la difusión científica, y teniendo en cuenta que se les evalúa a través de pares, los investigadores demuestran cautela al momento de seleccionar la revista a la que someterán su producción, lo que es comprensible, ya que mucha parte de su éxito está sujeto a la habilidad y competencia del editor de la publicación, a las políticas editoriales de la misma, a la presentación que se haga del artículo y a las normas que recomiendan los organismos internacionales en cuanto estándares que regulan y rigen las publicaciones.

De otra parte, tampoco es difícil comprender que los editores asuman la revista científica no sólo como vehículo que facilita perpetuar el conocimiento, sino que, gracias a los cambios y al incremento en la velocidad de los procesos de comunicación, también la vean como promotora del proceso para generar y difundir conocimiento, mediante la creación de vínculos con las nuevas bibliotecas digitales y virtuales a las que llegan las publicaciones de mayor impacto. Pero esta forma de visionar las publicaciones por parte de los editores presenta un aspecto preocupante: tener que enfrentar esas nuevas condiciones de difusión del conocimiento científico en ausencia de una capacitación formal y comprometida que respalde su labor y les otorgue algún grado de profesionalización, ya que en la mayoría de los casos esta tarea se enfrenta con mucho entusiasmo pero con poco conocimiento específico.

Otro aspecto que inquieta al investigador que desea difundir su conocimiento es la falta de uniformidad acerca de las normas para publicación y evaluación de sus artículos, que generalmente son hechas sólo por pares, con discreción para aceptar o rechazar el nuevo conocimiento, pero que suelen ignorar aspectos como competitividad, costo y aceptación en la comunidad científica, instancia encargada de juzgar y en definitiva de aceptar o rechazar la veracidad del nuevo conocimiento. En cada área del conocimiento existen revistas prestigiosas que reciben cada vez más aportes, que tienen estándares más rigurosos, pero también índices de rechazo más altos.

En resumen, la evaluación de una publicación científica, como todo proceso involucrado en un proyecto de investigación, implica procesos complejos y poco debatidos, con criterios como:

- Detectar cuáles son las características que permiten determinar la formalidad y la calidad científica de la publicación.
- Mejorar cada vez la calidad de la publicación como medio e instrumento de comunicación y evaluación de la actividad científica.
- Procurar incrementar el nivel del prestigio y el reconocimiento nacional e internacional de la publicación.
- Medir el impacto social que el nuevo conocimiento genera, haciendo uso de las nuevas alternativas que permiten el acceso a las fuentes requeridas.



CARTAS AL EDITOR

Reciban un cordial saludo.

Soy español, y laboro en el Centro de Alto Desempeño para el Desarrollo de Software de la Comunidad Europea de Naciones; por recomendación de un compañero universitario accedí a la Revista Lámpsakos. Les comento que es una idea editorial que vale la pena apoyar y sostener. Les invito para que no desmayen en su trabajo y continúen adelante.

Joaquín Bedurrea G.

Center for High Performance Software-Entwicklung
München - Deutschland

Estimados compañeros.

Comparto con ustedes la labor de editar y mantener una publicación, ya que soy editora de la revista de mi facultad. Como ya lo han vivido, es una labor que requiere esfuerzo y dedicación continua, por lo que se espera que los logros sean equivalentes. Esa imagen, para quienes estamos en este medio, sabemos que no siempre es verdadera; por eso los invito a que aunemos esfuerzos para que realicemos un trabajo conjunto para que las cargas no sean tan pesadas para cada uno individualmente.

Cordial saludo.

Luisa Fernanda Gaviria R.

Universidad de la Pampa

Greetings.

From one of the most beautiful corners of the Swiss Alps sent him a greeting of congratulations to those who work for publishing the magazine. I met to hear of its existence in a Microsoft conference in Lisbon.

Frank Pearl Justine

Innsbruck - Switzerland

Desde México.

Excelente idea la de su publicación, pero creo que deben seguir con una línea ingenieril solamente y no abrirla con cobertura a otras áreas. Ya existen muchas revistas que quieren abarcar tanto conocimiento. Claro, esto lo expreso sin conocer sus intenciones editoriales y administrativas, pero la ingeniería requiere revistas con mayor dedicación a su cubrimiento.

Muchas gracias.

Luis Gabriel Pinzón

Chapultepec

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 los comités editorial y científico, y un cuerpo de 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.

COMPUTATION AND MATHEMATICS PARADOXES

COMPUTACIÓN Y PARADOJAS MATEMÁTICAS

Jhon Sideleat Tasenm

Computational group, New York.

Sideleat@engineer.com

(Artículo de REFLEXIÓN) (Recibido el 16 de febrero de 2010. Aprobado el 10 de mayo de 2010)

Abstract – *Computers are powerful and very practical machines, to the point that soon became indispensable for the modern society functioning. But even those who collaborated in the invention and progress, they forgot they were invented to help clarify a philosophical question related to the mathematical foundations*

Keywords: *computation, logic paradoxes, mathematics paradoxes, paradoxes.*

Resumen – Los computadores son máquinas poderosas y muy prácticas, al punto que en poco tiempo se tornaron indispensables para el funcionamiento de la sociedad moderna. Pero hasta quienes colaboraron en su invención y progreso, olvidaron que se inventaron para ayudar a aclarar un asunto filosófico relacionado con los fundamentos matemáticos.

Palabras clave: computación, paradojas, paradojas lógicas, paradojas matemáticas.

INTRODUCCIÓN

A principios del siglo XX, David Hilbert, un conocido matemático alemán, propuso que todo el razonamiento matemático debería formalizarse. Pero esa “*matemática y brillante idea*” resultó, en cierto sentido, un fracaso, ya que era imposible formalizar tal razonamiento. En otro sentido, resultó ser un gran éxito, debido a que el concepto del formalismo se convirtió en uno de los más grandes legados que dejó el siglo XX. Claro está, no para razonar o deducir matemáticamente sino para la programación y para el cálculo, es decir, para las ciencias computacionales; algo olvidado en la historia intelectual (Kleiner and Movshovitz, 1994).

Este artículo se refiere a esa historia, aunque sin los detalles matemáticos, y se explica a grandes rasgos la obra de algunos pensadores que hicieron aportes fundamentales para que su legado fuera una realidad. El objetivo es brindarle al lector las herramientas necesarias para que capte la esencia del aporte de dichos pensadores, y comprenda

sus ideas acerca de la aleatoriedad propia de las matemáticas.

PARADOJAS MATEMÁTICAS

En muchas ocasiones se interpreta el término paradoja como

... algo que a primera vista parece ser falso pero que en realidad es cierto, o que parece ser cierto pero que en rigor es falso, o sencillamente que encierra en sí mismo contradicciones” (Russell, 1972).

No obstante, es necesario tener en cuenta que conceptos como certeza y falsedad, desde el punto de vista de las matemáticas, en un momento dado pueden relacionarse con su mismo grado de desarrollo. El término paradoja se origina en el latín *paradoxus*, que a su vez proviene del griego *παράδοξος*—. Etimológicamente, *paradoxos* significa lo que *parà ten doxan*, “*lo que va en contra de la opinión pública*”.

Es decir, una paradoja es una proposición que aparentemente es verdadera, pero que conlleva a una contradicción lógica o situación en la que se vulnera el sentido común. Retóricamente, refleja un pensamiento que emplea expresiones o afirmaciones que encierran contradicciones. Estimula en gran medida la reflexión, al punto que los filósofos la utilizan frecuentemente para revelar la complejidad de una realidad (Northrop, 1991); también se emplea para hacer palpables las limitaciones que poseen las herramientas de la mente (De Lorenzo and Frege, 1995). Por todo esto, identificar paradojas con base en conceptos, aparentemente razonables y simples, contribuye a impulsar los más grandes avances en ciencia, filosofía y matemáticas. Las paradojas matemáticas, lo mismo que las científicas, pueden conducir a los intelectuales hasta nociones muy profundas. Los números racionales se originaron de la paradoja de la demostración de que la diagonal de un cuadrado, cuyo lado fuera la unidad, no se podía medir exactamente. La

moderna teoría de conjuntos surge de la paradoja de que los elementos de un conjunto infinito A podían corresponder biunívocamente con los de algún subconjunto del mismo, mientras que por otro lado podían existir conjuntos infinitos para los que era imposible establecer la misma correspondencia (Suppes, 1968). A su vez, esta nueva teoría de conjuntos ejerció una profunda influencia en la filosofía de la ciencia.

Un aspecto bastante interesante de la matemática es que sus más difíciles paradojas conducen al origen de bellas y profundas teorías:

El testamento de la ciencia es un flujo continuo, de tal manera que la herejía del pasado es el evangelio del presente y el fundamento del mañana (Kasner and Newmann, 1979).

Esos caminos que conducen a dichas teorías, son los que se discuten a continuación.

PARADOJAS LÓGICAS

Bertrand Russell, que primero fue matemático, luego filósofo y posteriormente humanista, es una de las figuras clave en la cuestión de las paradojas matemáticas por haber descubierto, en la lógica misma, algunas bastante perturbadoras. Encontró casos en los que juicios, aparentemente impecables, conducían a contradicciones; su aporte fue fundamental para difundir la idea de que dichas contradicciones eran las causantes de graves crisis y que debían ser resueltas de alguna manera. Los descubrimientos paradójicos de Russell llamaron la atención de los intelectuales en los círculos matemáticos, aunque sólo una lleva su nombre:

... consideremos el conjunto de todos los conjuntos que no son un elemento de sí mismos. Preguntemos entonces: ¿es este conjunto elemento de sí mismo? Si fuera elemento de sí mismo, no lo sería, y recíprocamente (Shapiro, 1997).

Este conjunto de todos los conjuntos que Russell menciona en su paradoja, puede asimilarse con la situación hipotética del barbero en un pueblo apartado: afeita a todo aquel que no se rasura a sí mismo. Este hecho es razonable hasta cuando se hace la pregunta: ¿será que el barbero se afeita a sí mismo? Se afeitará a sí mismo si, y sólo si, no se afeita a sí mismo. Entonces podría

decirse: ¿y a quién le interesa tal hipotético barbero? Todo se reduce a un juego absurdo de palabras. Pero este no es el caso, ya que de lo que se trata es de dilucidar el concepto matemático de conjunto, y no es tan fácil pasar por alto este problema lógico.

La paradoja de Russell tiene origen en otra de la antigua Grecia, aunque no aplicada a la teoría de conjuntos, conocida como la paradoja de Epiménides o del mentiroso: ¡Esta afirmación es falsa! Si la aseveración es falsa, entonces debe ser verdadera; pero, si es verdadera, entonces es falsa. En cualquiera de las hipótesis acerca de su veracidad, se está ante un conflicto. Todas estas paradojas son posibles de diseñar considerándolas como un juego de palabras sin significado, pero muchos de los más grandes intelectuales del siglo XX las tomaron seriamente (Burton, 2002). Entre ellos, y como respuesta a la crisis de la lógica, apareció la tentativa de Hilbert, quien trató de pasarla por alto utilizando formalismos:

Si se encuentran conflictos al seguir razonamientos que parecen correctos, la solución debe ser utilizar la lógica simbólica para generar un lenguaje artificial, y especificar sus reglas con sumo cuidado, de tal forma que no surjan contradicciones. Al fin de cuentas, el lenguaje natural es ambiguo, y no siempre se sabe con certeza qué antecede a un pronombre” (Sainsbury, 1995).

LA IDEA DEL RESCATE DE HILBERT

Hilbert tenía la idea de crear un lenguaje artificial perfecto para el razonamiento, la deducción y la matemática, y hacía hincapié en que el método axiomático era muy importante, ya que con él era posible partir de un conjunto de axiomas —postulados básicos— y fórmulas bien formadas, para deducir y derivar teoremas efectivos. Tenía, entonces, la intención de ser bastante riguroso en cuanto a las reglas del juego —es decir, definiciones, conceptos elementales, gramática y lenguaje—, de tal forma que se produjera un acuerdo general acerca de cómo debía trabajarse en matemáticas. Claro está que, en la práctica, su idea resultaba muy laboriosa, ya que utilizar tal sistema axiomático para encontrar nuevas teorías matemáticas era muy complicado, pero desde el punto de vista filosófico podía ser muy importante (Carrera, 2001).

Aunque esta propuesta no parecía muy trabajosa —ya que era una continuidad de una tradicional formalización matemática que se sustentaba en la larga historia del trabajo de anteriores pensadores como Leibniz, Boole, Frege, y Peano—, lo que Hilbert buscaba era trazar un camino completo, desde el principio hasta el fin, para formalizar totalmente la matemática; pero tal empresa no resultaba posible, ya que su idea estaba errada. No obstante, esa equivocación fue de gran utilidad, ya que planteaba una pregunta muy acertada que al formularla, crearía una disciplina totalmente nueva: la metamatemática, un área reflexiva de la matemática dedicada a estudiar lo que ésta puede o no alcanzar (Bunch, 1987).

Otra cuestión por la que su idea no era posible, consiste en que si se instaura un sistema axiomático totalmente formal, su significado pierde validez, y su consideración se limita a un simple juego en el que sus piezas serán marcas sobre un papel de las que es posible deducir teoremas desde los axiomas, claro que con el significado que le confiere la matemática. Pero para estudiar la matemática a través de métodos matemáticos, lo que se requiere es extraer su significado, y limitarse al estudio de un lenguaje artificial estructurado mediante reglas absolutamente precisas.

Las cuestiones que se podrían plantear entonces serían, por ejemplo, si es posible demostrar que $0 = 1$. Es decir, que dada una proposición A , cabe la pregunta de si es posible demostrar o a A , o a $\neg A$, lo que daría completitud al sistema axiomático formal (De Lorenzo and Frege, 1995). La propuesta de Hilbert buscaba crear reglas tan precisas que las demostraciones sólo tendrían que someterse a un veredicto imparcial, en el que un procedimiento mecánico confirmara la veracidad o no de la afirmación, y que no tendría apelación.

Claro que Hilbert no creía que toda creación matemática se llevara a cabo de ese modo; él pensaba que si fuese posible hacer matemática de esa forma, podría utilizarse para estudiar su propio poder, por lo que concluyó que ni él mismo sería capaz de concretar esa empresa (Yandell, 2002). Para complementar su desconcierto, en 1931 Gödel, un matemático austriaco, demostró

que su idea del rescate de ningún modo era razonable, y que ni siquiera se podría iniciar.

GÖDEL Y LA INCOMPLETITUD

El descubrimiento que Gödel realizó fue extraordinario. Demostró que Hilbert se equivocaba totalmente, ya que de ninguna forma puede existir un sistema axiomático que cobije la totalidad de la matemática, con el que sea posible demostrar, claramente, si una afirmación es verdadera o falsa. Demostró además que la idea fallaría aunque se limitara a la aritmética elemental, a los números $0, 1, 2, 3, \dots$, a la adición y a la multiplicación.

Cualquier sistema formal que busque contener la absoluta verdad y nada más que la verdad en lo relacionado con la adición, la multiplicación y los números $0, 1, 2, 3, \dots$, tiene que ser incompleto (Casti and DePauli, 2000).

Como será incoherente e incompleto, no es posible que solamente diga la verdad, ya que no dirá toda la verdad. Ello lleva a suponer que si con los axiomas y reglas de deducción no es posible demostrar los teoremas falsos, también habrá teoremas que a pesar de ser verdaderos no se podrán demostrar.

Gödel recurrió ingeniosamente a la paradoja del mentiroso para la demostración de la incompletitud, y construyó una afirmación que dice de sí misma que es indemostrable. De esta demostración es posible extraer complicados detalles técnicos, tanto que al leer el artículo original de Gödel (1931), se encuentran indicios de algo que tiene parecidos a la estructura del lenguaje de programación LISP; su demostración utiliza la recursividad en muchas de las funciones que trabajan sobre listas, precisamente lo mismo que hace LISP. Aunque en 1931 no existían computadores ni lenguajes de programación, en retrospectiva este artículo refleja claramente un lenguaje con la estructura de la programación que muchos años después se comenzó a utilizar.

La importancia del aporte de Gödel fue inmediatamente reconocida por John von Neumann, quien, aunque abiertamente jamás había planteado que la idea de Hilbert fuera errónea, encontró que Gödel, además de demostrar gran inteligencia, fue muy valiente al demostrar que éste estaba equivocado (Nagel y Newman, 1958). Aunque

en su época muchos consideraron que el aporte de Gödel era absolutamente catastrófico, debido a que la tradicional filosofía matemática quedaba reducida a escombros, existían otros problemas que exigían más atención: la cercanía de una guerra en medio de una gran depresión económica.

LA MÁQUINA DE TURING

Otro de los aportes importantes a la relación que aquí se analiza, se dio cinco años después en Inglaterra. En 1936, Alan Turing descubrió lo que más tarde se conocería como la no-computabilidad. De acuerdo con Hilbert, era posible que existiera “*un procedimiento mecánico*” tal que fuese capaz de decidir si una demostración cualquiera seguía o no las reglas, pero nunca aclaró aquello que entendía por procedimiento mecánico; no obstante Turing dio la definición y en esencia dijo que se trataba de una máquina (Turing, 1936).

Al igual que el artículo de Gödel, el de Turing describe lo que hoy se conoce como lenguaje de programación, aunque no tengan nada más de parecido. Mientras que el primero podría considerarse como un lenguaje de alto nivel, el segundo se trata más bien de un lenguaje de máquina bastante rudimentario. Aunque la máquina computacional hipotética de Turing era sencilla, con un lenguaje bastante primitivo, no dejaba de ser versátil, al punto que él mismo afirmaba que tal máquina era capaz de llevar a cabo cualquier cómputo que pudiera realizar un ser humano. Y es aquí donde su razonamiento gira violentamente, ¿qué es lo que esta máquina no puede realizar? A lo que el mismo Turing encuentra respuesta, y detalla un problema que ninguna máquina podría resolver: el de la detención. Es decir, que una máquina no puede decidir de antemano cuando detenerse luego de que encuentra la solución buscada (Pour-El and Richards, 1989).

Su idea era una máquina que fuera capaz de ejecutar, sobre una cinta infinitamente larga, operaciones casilla a casilla. Dicho aparato podría leer el contenido de cada casilla de la cinta y, de acuerdo con el estado interno de la máquina, la modificaría o la dejaría igual, luego corre la cinta un espacio hacia uno de los lados en un proceso repetitivo. Él demostró que para ejecutar cualquier proceso de cálculo, un autómata

podría utilizar dicho aparato sólo con proporcionarle un adecuado conjunto de instrucciones básicas. Para poder detener la ejecución del proceso, se imaginó que era necesario imponerle un límite de tiempo, con lo que solucionaba el problema antes mencionado. Además, Turing se percató que es posible encontrar una dificultad bastante seria al no colocar límite al tiempo de ejecución, ya que no es posible deducir si el programa se detendrá o no con sólo limitarse a ponerlo en funcionamiento (Turing, 1936).

¿Cuál es entonces el razonamiento de Turing? Supóngase que es posible crear un programa de computador que pueda deducir si otro programa cualquiera en algún momento se detendrá, o sea un verificador de detención. Teóricamente funcionaría de esta forma: se le suministra un programa y deduce la respuesta de “*sí, el programa analizado se detendrá*”, o “*no, ese programa se quedará en un bucle infinito y no se detendrá*”. En otro escenario, se modifica el verificador de tal forma que cuando analice un programa que se detiene, entre en un bucle infinito; es decir, si se le pide que analice una copia de sí mismo, ¿qué hará? Debido a que si termina, entra en un bucle infinito, entonces se genera una contradicción. Si, por el contrario, el programa no termina, el verificador lo indica, y el programa verificado no entra al bucle, por lo que llega a su término. Esta paradoja le llevó a deducir que era imposible diseñar un verificador de detención universal (Teuscher, 2004).

Turing dedujo entonces que si no había forma de conocer, mediante cálculos, si un programa se detendría o no, tampoco podía existir forma alguna de conocerlo mediante razonamientos. No existe un sistema axiomático formal que permita decidir si un programa terminará deteniéndose o no, ya que si esto fuera posible, dicho sistema debería proporcionar también la forma de calcular de antemano si el programa se detendrá (vos Savant, 1993). Una cuestión que a la luz de toda razón es imposible, pues se originaría una paradoja de la forma del mentiroso: “*Es posible crear un programa que se detenga si y sólo si no se detiene*”. Paradoja que es similar a la investigación de Gödel acerca de la teoría de números, pero de la que se diferencia porque demuestra que no existe un sistema axiomático formal que sea completo.

LA MATEMÁTICA ALEATORIA

Todos los matemáticos que hasta ese entonces se habían preocupado por tales cuestiones filosóficas, tuvieron que aplazar sus investigaciones debido al advenimiento de la Segunda Guerra Mundial. Turing se dedicó a trabajar en criptografía, von Neumann a calcular detonaciones de bombas atómicas y los otros corrieron igual suerte; por lo que el problema de la incompletitud de los sistemas axiomáticos quedó de lado por un tiempo.

A mediados del siglo XX, Gregory J. Chaitin, un matemático americano, se encontró con un artículo acerca de Gödel y la incompletitud que lo dejó fascinado. Aunque no lo había comprendido en su totalidad, le pareció que había algo dudoso en su contenido. También había leído el método de Turing, al que consideró mucho más profundo, pero aun así no estaba satisfecho. Chaitin es considerado el principal arquitecto de la teoría algorítmica de la información (Chow, 1998), que es de su autoría y que transformó para aplicarla a programas reales de computador.

Luego de estas lecturas, se le ocurrió una curiosa idea acerca de la aleatoriedad. Siendo muy joven había leído acerca de los fundamentos de la física —la Teoría de la Relatividad, la cosmología y la mecánica cuántica—, y comprendió que si las cosas son muy pequeñas, el comportamiento del mundo físico es desconcertante, aleatorio, impredecible. Entonces, se le ocurrió considerar una posible aleatoriedad en la matemática pura, y comenzó a sospechar que pudiera ser la causa no descubierta de la incompletitud. Pensó que dicha aleatoriedad inherente a la matemática podía proporcionar una razón profunda del por qué de la incompletitud, y a mediados de los sesenta, junto al ruso A. N. Kolmogoroff pero de forma independiente, aportaron las ideas que dieron origen a la “*Teoría Algorítmica de la Información*”, conocida como “*complejidad computacional*” (Ladrière, 1969).

Una de las primeras referencias a la complejidad algorítmica la proporciona von Neumann (MacRae, 2000), en la que describe que Turing “*consideraba al computador como un simple concepto matemático*”, una máquina perfecta que no comete errores,

que dispone de espacio y tiempo tanto como necesite. Luego que Turing promulgara esta idea, para un matemático el siguiente paso lógico sería calcular el tiempo que se requiere para efectuar un cálculo, que sería una medida de su complejidad. von Neumann (1951) recalcó la importancia de la complejidad temporal de los cálculos, la misma que hoy se ha convertido en una especialidad desarrollada e investigada.

Pero aunque, desde una visión práctica, estudiar el tiempo es muy importante, también lo es el tamaño de los programas —la cantidad de información necesaria para que un computador realice determinada tarea—, ya que la noción de complejidad, coligada al tamaño de los programas, se vincula con el concepto de entropía de la física. Dicho concepto desempeñó un importante papel en los trabajos de un físico del siglo XIX, Ludwig Boltzmann (Chaitin, 1975), lo mismo que en la mecánica estadística y en la termodinámica.

La entropía es la encargada de medir el grado de desorden, de caos, y de aleatoriedad en un sistema físico, y guarda relación con una importante cuestión filosófica: ¿por qué el tiempo marcha un solo sentido? Existe, desde luego, diferencia entre la regresión y la progresión en el tiempo. Igualmente, para Boltzmann, la entropía forzosamente se tiene que incrementar: “*el sistema debe adquirir cada vez mayor desorden*”, lo que se denomina Segundo Principio de la Termodinámica (Chaitin, 1975). En su teoría de los gases, Boltzmann afirma que “*existe una dirección en el tiempo en la que un sistema parte de un estado ordenado y termina en uno desordenado y mezclado*”, situación que se conoce como “*muerte térmica*”.

La relación entre las ideas de Chaitin y la teoría de Boltzmann se presenta cuando el primero hace la analogía entre el tamaño de un programa informático con el grado de desorden de un sistema físico (Chaitin, 1988). Para especificar el lugar en que se encuentran todos los átomos de un gas, cuya estructura es complicada, es necesario construir un programa enorme; por el contrario, para especificar los de un cristal, cuya estructura es uniforme, el programa sería pequeño. Es la base en la que Chaitin (1975) soporta su teoría de que entropía y

tamaño de programa se encuentran íntimamente relacionados.

Según Chaitin, la noción de complejidad, medida con relación al tamaño del programa, también guarda concordancia con una idea de la filosofía del método científico, que fue propuesta en 1960 por Ray Solomonoff, y que remite a pensar en el principio de “*la navaja de Occam*”: la teoría más sencilla es la mejor (Cañón, 1993). Es decir, si se asume que una teoría es un programa informático para predecir observaciones, la afirmación de que la mejor teoría es la más sencilla se convierte en que un programa informático reducido es el más adecuado.

Pero existe un problema: ¿qué pasa si no existe una teoría reducida, si el programa más pequeño capaz de reproducir el conjunto de datos tiene el mismo tamaño de dicho conjunto? Entonces esta teoría no sería aplicable; los datos serían aleatorios e imposibles de comprender. Así que la teoría es buena, sólo si en su aplicación es posible comprimir los datos hasta un programa mucho menor, y se tienen hipótesis teóricas y reglas de deducción.

La idea de Chaitin consiste en usar la complejidad, medida por el tamaño del programa, para definir la aleatoriedad. A medida que se examina el tamaño del programa —es decir, cuando se tiene en cuenta el concepto de su tamaño o complejidad de información, en lugar de su complejidad determinada por el tiempo de ejecución—, es posible determinar que en todas partes aparece la incompletitud (Chaitin, 1975). Esto se debe a que la complejidad de algo se mide por el tamaño mínimo del programa utilizado para calcularlo, lo que ya de por sí genera un conflicto: no es posible estar seguros de que se tiene el programa más pequeño, ya que es una tarea que escapa al alcance del razonamiento matemático.

Chaitin, al deducir que la demostración de por qué se presenta este conflicto es muy compleja, se limita a mencionar el resultado de uno de sus enunciados de incompletitud: “*Si se tienen n bits de axiomas, nunca será posible demostrar que un programa es el más pequeño si su tamaño supera n bits*” (Chow, 1988). Es decir, cuando el programa supera el tamaño de los axiomas, se tienen

dificultades; más exactamente, aparecen problemas si supera el tamaño del programa de comprobación-demostración de los axiomas y de sus reglas de deducción.

Por todo esto, concluye que no es posible, en general, calcular la complejidad medida por el tamaño de programa, ya que determinar de esta forma la complejidad es equivalente a conocer el tamaño del más pequeño de todos los programas que la calculan, lo que no es posible si el programa es más grande que los axiomas que calcula.

Si hay n bits de axiomas, nunca se podrá determinar la complejidad, medida por el tamaño del programa, de nada que tenga más de n bits de complejidad, que es casi todo (Chow, 1988).

Además, explica esta afirmación al expresar que los conjuntos de axiomas que se utilizan en matemáticas son muy concisos, ya que de no serlo nadie creería en ellos. En la práctica, existe un amplio universo de verdades matemáticas que conforman cantidades infinitas de información, mientras que, de otro lado, un determinado conjunto de axiomas abarca sólo una finita y diminuta cantidad de esa información. En pocas palabras, ésta es la razón por la que el teorema de incompletitud de Gödel no es misterioso y complicado, sino natural e inevitable (Casti and DePauli, 2000).

CONCLUSIONES

Esta última afirmación es impresionante, ya que es posible, sólo en tres pasos, ir del teorema de Gödel, con todo y sus límites al razonamiento, hasta Turing, donde parece mucho más razonable, y de éste a la consideración de la complejidad medida por el tamaño del programa donde, los límites de la matemática, son más notorios.

Esta teoría de información algorítmica resulta interesante y revela que existen innumerables cosas que no se pueden demostrar, pero no permite alcanzar conclusiones acerca de cuestiones matemáticas sueltas. Hoy se necesitan resultados concretos, ajenos a su juicio, del alcance del razonamiento matemático.

Aun con todo, y a pesar de la incompletitud, los matemáticos continúan logrando muchos progresos. Parece que estos resultados de incompletitud llevan consigo un pesimismo

adherido. Al leerlos literalmente, dan la impresión de que no existe forma de avanzar, que la matemática es imposible; pero para

los matemáticos no parece que se cumpla esa maldición, y su trabajo sigue en progreso constante.

REFERENCIAS

1. Bunch, B. H. (1987). *Matemática insólita. Paradojas y paradojismos*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
2. Burton, D. M. (2002). *The history of mathematics*. USA: Brown Publishers.
3. Cañón, C. (1993). *La matemática creación y descubrimiento*. Madrid: Universidad Pontificia de Comillas.
4. Carrera, J. P. (2001). El infinito y la lógica de primer orden. *Ideas del infinito. Investigación y ciencia*, Temas 23, pp. 23-37.
5. Casti, H. L. and DePauli W. (2000). *Gödel: A life of logic*. Cambridge: Perseus Publishing.
6. Casti, H. L. and DePauli, W. (2000). *Gödel: A life of logic*. Cambridge: Perseus Publishing.
7. Chaitin, G. J. (1975). Randomness and mathematical proof. *Scientific American*, Vol. 232, No. 5, pp. 47-52.
8. Chaitin, G. J. (1988). Aritmética y azar. *Investigación y Ciencia*, No. 144, pp. 44-50.
9. Chow, T. Y. (1998). The Surprise Examination or Unexpected Hanging Paradox. *The American Mathematical Monthly*, Vol. 105, pp. 41-51.
10. De Lorenzo, J. and Frege G. (1995). *Grandes Matemáticos*. Investigación y Ciencia. Barcelona: Temas 1.
11. Gödel, K. (1931). Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme. *Monatshefte für Mathematik und Physik*, Vol. 38, pp. 173-98.
12. Kasner, E. and Newmann J. (1979). Paradoja perdida y paradoja recuperada. Barcelona: Sigma Vol. 5.
13. Kleiner, I. and Movshovitz N. (1994). The role of paradoxes in the evolution of mathematics. *The American Mathematical Monthly*, Vol. 101, pp. 963-974
14. Ladrière, J. (1969). Limitaciones internas de los formalismos. Madrid: Editorial Tecnos.
15. MacRae, N. (2000). John von Neumann: The Scientific Genius Who Pioneered the Modern Computer, Game Theory, Nuclear Deterrence, and Much More. New York: American Mathematical Society.
16. Nagel, E. y Newman J. R. (1958). La demostración de Gödel. *Sigma*, el mundo de las matemáticas, Vol. 5, pp. 57- 84.
17. Northrop, E. P. (1991). *Paradojas Matemáticas*, México: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana.
18. Pour-El, M.B. and Richards J. I. (1989). *Computability in Analysis and Physics*. New York: Springer.
19. Russell, B. (1976). *La evolución de mi pensamiento filosófico*. Madrid: Alianza Editorial.
20. Sainsbury, R. M. (1995). *Paradoxes*. Boston: Cambridge University Press.
21. Shapiro, S. (1997). *Philosophy of Mathematics*. Oxford: Oxford University Press.
22. Suppes, P. (1968). *Teoría axiomática de conjuntos*. Cali: Editorial Norma.
23. Teuscher, C. (2004). *Alan Turing: Life and Legacy of a Great Thinker*. London: Springer-Verlag.
24. Turing, A. M. (1936). On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, Vol. 2 No. 42, pp. 230-265.
25. von Neumann, J. (1951). Various techniques used in connection with random digits. *National Bureau of Standards Applied Math Series*, No. 12, pp. 36-38.
26. vos Savant, M. (1993). The World's Most Famous Math Problem. New York: St. Martin's Press, pp. 48-50.
27. Yandell, B. H. (2002). *The Honors Class: Hilbert's Problems and Their Solvers*. New York: A K Peters.

NEWTON TO EINSTEIN: To debate the fate of the universe

DE NEWTON A EINSTEIN: A debate el destino del universo

Rogelio Parreira Y., Bianca Yanuba P.

Grupo Phisika, Portugal.

Phisika@accountant.com

(Artículo de REVISIÓN) (Recibido el 27 de diciembre de 2009. Aceptado el 30 de marzo de 2010)

Abstract – *This article describes the history of scientific thought in terms of theories of inertia, absolute space, relativity and gravitation; as Newton used the work of the first researchers in their theories, and Einstein Newton's theories in his, to try to explain the fate of the universe. It is the description of a revolutionary process of scientific knowledge and its contribution to development in many other fields of knowledge.*

Keywords: *gravity, scientific revolution, relativity, universe.*

Resumen – En este artículo se describe la historia del pensamiento científico en términos de las teorías de la inercia, el espacio absoluto, la relatividad y la gravitación; de cómo Newton utilizó el trabajo de los primeros investigadores en sus teorías, y Einstein las teorías de Newton en la suya, para tratar de explicar el destino del universo. Es la descripción de un proceso revolucionario del conocimiento científico, y sus aportes al desarrollo de muchos otros campos del saber.

Palabras clave: gravedad, relatividad, revolución científica, universo.

INTRODUCCIÓN

En 1543, al proponer una arquitectura para el universo centrada en el Sol, Nicolás Copérnico dio inicio a la era moderna de la astronomía, un giro de 180° respecto del cosmos centrado en la Tierra que dominaba la época. En su libro –*Sobre la revolución de los orbes celestes*– planteó una original teoría que modificó para siempre el lenguaje y el pensamiento; revolución que significó desde entonces un cambio completo o radical.

Su obra impresionó a pensadores como Kepler y Galileo, quienes examinaron el espacio y confirmaron que la Tierra se mueve alrededor del Sol. El primero también demostró que los planetas siguen órbitas elípticas, que se pueden calcular con detalle si se aplican simples reglas matemáticas: las leyes de Kepler (Osserman, 2001). Galileo, por su parte pudo demostrar que los cuerpos

al caer, sin la resistencia del aire y sin importar su tamaño o peso, se comportan idénticamente (MacLachlan, 1997).

Los trabajos de estos científicos sirvieron como punto de partida para la labor de uno de los mejores intelectuales en la historia, Isaac Newton, quien tomó las enseñanzas científicas como su propia vida, condensó los avances realizados hasta entonces y fue más allá de todos aquellos que lo precedieron, hasta el punto que por más de dos siglos sus teorías regieron la definición del funcionamiento del universo. Además, desarrolló la primera versión funcional del telescopio de reflexión –utilizaba un espejo curvo en vez de lentes para enfocar la luz–, definió y desarrolló el cálculo como una rama poderosa de las matemáticas y promulgó su trabajo fundamental, una verdadera revolución: la Teoría de la Gravitación Universal (Bravo, 1995).

A comienzos del siglo XX, un joven pensador entró en escena. Einstein comenzaba a postular la velocidad de la luz como una constante independiente del movimiento de la fuente o del observador (Bohm, 1996). Para eliminar el conflicto con la física clásica, Einstein amplió las ideas de Newton sobre la física del movimiento. Newton había invalidado el concepto de movimiento uniforme absoluto y demostró que el único estado de movimiento detectable es aquel en que un objeto se mueve con relación a un observador (Kragh, 2007); el gran salto de Einstein era invalidar también el espacio y el tiempo absolutos. Según su teoría, las dimensiones de un objeto y la duración de un acontecimiento no son valores fijos, y sólo pueden determinarse considerando el movimiento de su marco de referencia con relación al observador. Con sus ideas y teorías generó otra revolución científica.

En este artículo se analiza el debate científico de los procesos en el transcurso de

ambas revoluciones, la de Newton y la de Einstein, y sus aportes al desarrollo del conocimiento y la ciencia en general, en relación con el pasado, el presente y el futuro del universo.

PRIMERA REVOLUCIÓN: NEWTON

Los cimientos de toda la obra de Newton sobre la gravitación fueron su comprensión del movimiento, que expresaría finalmente como un conjunto de leyes. La primera de ellas describe la inercia, o la tendencia de cualquier cuerpo, en ausencia de una fuerza externa, a permanecer en descanso, y si se está moviendo a seguir un movimiento uniforme, viajando a una velocidad constante y en línea recta. La segunda ley sostiene que, cuando una fuerza causa un cambio en la velocidad de un objeto, el índice de cambio, o aceleración, es proporcional a la fuerza (Scheck, 2004). Los experimentos de Galileo demostraron que los cuerpos que caen aceleran de hecho a una velocidad constante; esto, para Newton significaba que el objeto estaba sometido a una fuerza de magnitud constante, que atribuyó a la gravedad.

Comparó el camino de un objeto que cae libremente con el de uno propulsado de forma paralela al suelo, como lanzado por una honda. El objeto influenciado sólo por la gravedad, cae a lo largo de una línea recta que si se prolongara llegaría hasta el centro de la Tierra. Pero el objeto afectado por la fuerza de la honda además de la gravedad, sigue un camino curvo, moviéndose horizontalmente, al tiempo que cae hacia la Tierra. Su velocidad horizontal inicial determina lo lejos que viajará.

Si un objeto fuera lanzado a una velocidad lo suficientemente alta, podría recorrer todo el camino alrededor de la Tierra y golpear a quien lo lanzó en la nuca. Y si el lanzador se agacha, el proyectil seguirá su órbita alrededor de la Tierra (Guicciardini, 2003).

Sabía además que la resistencia del aire impediría que esto realmente ocurriera, pero se dio cuenta que había descubierto cómo explicar por qué la Luna gira alrededor de la Tierra:

[...] está capturada por la gravedad de ésta, y cae eternamente hacia el planeta, pero su velocidad horizontal es suficiente para hacerla girar por siempre (Anstey, 2004).

Estos mismos principios deberían explicar el hecho de que la Tierra y los demás planetas giran en torno al Sol: “[...] *la gravedad tiene que ser una fuerza universal que actúa entre todos los cuerpos del universo*” (Brackenridge, 1996). Newton llegó a esta conclusión aplicando el proceso conocido como experimento de pensamiento: utilizar un escenario imaginario para enfocar las reglas que gobiernan el mundo real. Newton tenía a su disposición otro poderoso medio de comprobación, las matemáticas; pero primero tenía que formular una expresión exacta que relacionara fuerza gravitatoria, masa y distancia (Guicciardini, 2004).

Presumió que la fuerza de la propulsión gravitatoria de un objeto es directamente proporcional a su masa; cuanto más pesado es un planeta o estrella, más atrae a otro cuerpo. Utilizó la penetración matemática de las leyes de Kepler, para inferir que la fuerza gravitatoria del Sol sobre un planeta es igual al cuadrado inverso de la distancia del planeta al Sol. Es decir, un planeta dos veces más lejos del Sol que otro de igual masa experimentará una cuarta parte de la fuerza de atracción. Esta ley, conocida como del cuadrado inverso, le permitió estimar el período de la órbita de la Luna y el radio de la Tierra. Los resultados obtenidos, de 29,3 días, distaban mucho del valor real de 27,3, por lo que Newton decidió dejar de lado el trabajo sobre la teoría gravitatoria (Kochiras, 2009).

Aunque tuvo este tipo de contratiempos, su obra completa –“*Principia*”–, fue sin lugar a dudas un logro titánico. Además de anunciar la ley universal de la gravitación y las leyes del movimiento, contenía, página tras página, sorprendentes análisis matemáticos que no sólo explicaban las órbitas de los planetas y cometas alrededor del Sol y la órbita de la Luna alrededor de la Tierra, sino que también demostraba cómo las mareas oceánicas eran causadas por los efectos gravitatorios (Yilmaz, 1975). Newton calculó la masa del Sol, de la Tierra y de Júpiter, explicó el aplastamiento observado de los polos de Júpiter como un resultado de su rotación, y predijo el aplastamiento de los polos de la Tierra. Incluso, hizo aportes a la discusión sobre un método para lanzar satélites artificiales.

Faltantes en la teoría

Por efectiva que fuera la teoría gravitatoria para explicar la dinámica del universo, su autor admitía sus deficiencias, “[...] *explicar toda la naturaleza es una tarea demasiado difícil para un hombre o incluso para una época*” (Yamamoto, 1985); intentar comprender la naturaleza real de la gravedad y del espacio fue uno de sus mayores problemas. Aunque su teoría podía predecir los efectos de la gravedad en la práctica, no pudo decir nada acerca del mecanismo por medio del cual actúa esa gravedad. De hecho, creía que era el resultado de acciones divinas, una piedra cae porque el dedo de Dios la empuja.

En sus explicaciones matemáticas de los movimientos planetarios, Newton había trabajado sobre la suposición de que la gravedad actúa instantáneamente a través del espacio. No le gustaba esta idea, pero no podía pensar en ninguna alternativa, y, además, no parecía tener ninguna importancia práctica para sus cálculos. Por el contrario, la velocidad de la acción de la gravitación, si le resultaba de importancia crítica cuando consideraba el universo como un conjunto. Creía que el universo era infinito:

[...] de otro modo, tendría un borde y en consecuencia un centro gravitatorio, como cualquier otro objeto finito. La atracción entre sus partes haría que el universo “cayera hacia el centro del espacio”, lo cual evidentemente no ocurriría. Como contraste, cada fragmento de materia en un universo infinito se halla sometido a fuerzas iguales desde todas direcciones y, en consecuencia, permanece estable (Susanto and Karjanto, 2009).

El científico estaba un poco preocupado por la fragilidad de un universo gobernado por el equilibrio de estas fuerzas opuestas:

[...] si la gravedad actúa instantáneamente sobre distancias infinitas, entonces las fuerzas sobre cada fragmento de materia serán no sólo iguales sino también infinitas, en todas direcciones (Peterson, 1993).

El más mínimo desequilibrio en la distribución de la materia podría alterar el equilibrio de la atracción, sometiéndolo a los cuerpos a enormes fuerzas asimétricas, más fuertes que la gravitación ordinaria que mantiene a los planetas en sus órbitas o retiene a las estrellas. Las consecuencias serían catastróficas: los planetas se verían

arrancados de sus órbitas y lanzados al espacio interestelar a velocidades increíbles. Sin embargo, ya que el universo parecía estar bien cohesionado, llegó a la conclusión de que la distribución de la materia era de hecho perfectamente uniforme, y que el efecto gravitatorio neto de los objetos distantes era cero (Ghosh, 2000).

Otro tema planteó un nuevo rompecabezas a Newton. Esto sucedió cuando consideró las circunstancias de los cuerpos no sometidos a ninguna fuerza externa. La ley de la inercia, establecida primero por Galileo y apropiada por Newton como la primera de sus leyes del movimiento, afirma que un objeto continúa en un estado de reposo o de movimiento uniforme a menos que sea impulsado a cambiar de movimiento por fuerzas que actúen sobre él.

Pero no existe ningún estándar claro con el cual juzgar si un objeto está o no en reposo. Por ejemplo, un pasajero en un barco, en una noche perfectamente tranquila, puede ver luces que pasan en la oscuridad; estas luces pueden ser interpretadas como un signo de que el barco se mueve hacia delante mientras se cruza con otro que está parado, pero también pueden significar que el barco del observador permanece estacionario mientras que el otro barco es el que pasa; o ambos barcos pueden estar moviéndose. Siempre que estos movimientos sean uniformes, no es posible determinar la condición estacionaria (Yilmaz, 1973).

Newton resolvió esta abstracción con otra abstracción: “[...] *un objeto está en reposo si no posee ningún movimiento en relación con el “espacio absoluto”, que permanece siempre igual e inamovible*”. Imaginó al espacio absoluto como un enrejado invisible sobre el que es posible trazar cualquier movimiento. No estaba preocupado al concluir que los observadores humanos no podrían distinguir entre movimiento absoluto y reposo, ya que para él era suficiente con que Dios fuese capaz de indicar la diferencia (Barbour and Pfister, 1995).

En cualquier caso, la teoría de Newton funcionaba muy bien con respecto al comportamiento de las cosas que los humanos podían percibir, desde las balas de cañón hasta las cometas. Uno de los éxitos más sensacionales de la física newtoniana

llegó a mediados del siglo XIX, cuando las irregularidades observadas en la órbita del planeta Urano condujeron a dos jóvenes matemáticos, Urbain Leverrier en Francia y John Adams en Inglaterra, a una sorprendente conclusión: tenía que existir otro planeta mucho más grande y más distante que Urano (Lodge, 2003). De forma separada utilizaron las leyes del movimiento y de la gravitación newtoniana para calcular la posición del nuevo planeta, y en 1846 fue descubierto Neptuno, exactamente donde lo habían previsto. La ley de la gravitación de Newton parecía ser un instrumento científico de incomparable poder y perfección.

Otro gran aporte

En la segunda mitad del siglo XIX, los físicos —que creían que la gravedad y el movimiento eran temas ya resueltos— dirigieron su atención a dos fenómenos más misteriosos, la electricidad y el magnetismo. Se sabía que estaban relacionados:

[...] una carga eléctrica en movimiento puede producir una fuerza magnética que desviará la aguja de una brújula cercana, y un imán en movimiento puede producir una corriente eléctrica en un cable cercano (DiSalle, 2002).

Pero, aunque era evidente que formaban dos caras de la misma moneda, no se sabía exactamente cuál era esa moneda.

James Maxwell publicó en 1865 una descripción matemática de la relación entre ambos fenómenos. Sus fórmulas —ecuaciones de Maxwell— mostraban que un objeto con carga eléctrica que vibra, irradia ondas electromagnéticas, como las que se extienden por la superficie del agua al arrojar un objeto. Estas ecuaciones predecían que la velocidad de dichas ondas tenía que ser de 300.000 km/s; exactamente la velocidad que se había determinado para la luz. Maxwell concluyó que estas ondas electromagnéticas eran similares a la luz, de la que se conocía su naturaleza ondulatoria.

[...] de hecho, la luz visible es simplemente una de muchas formas de energía electromagnética, que se distingue de otras sólo por su diferente longitud de onda (Bohm, 1996).

La teoría de las ondas electromagnéticas revivió un dilema surgido por primera vez cuando los experimentos señalaron la naturaleza ondulatoria de la luz: los físicos pensaban que todas las ondas requerían

algún medio que las transportara, del mismo modo que el agua transporta las olas en el océano; también creían que el espacio, a través del cual viaja la luz, era vacío. Esta cuestión se solucionó al postular la existencia de un medio transportador de las ondas, llamado éter, definido como una materia insustancial e invisible que no se oponía al movimiento de los cuerpos celestes (DiSalle, 1990).

En 1847 Albert Michelson y Edward Morley realizaron un experimento para detectar el éter. Utilizaron el principio de interferencia de las ondas de luz para medir su velocidad en diferentes direcciones:

[...] si la Tierra se mueve a través del éter, un rayo de luz apuntado en la dirección de este movimiento viajará a una velocidad diferente de la de un rayo que se mueva perpendicularmente al mismo, el movimiento de la Tierra y el de la luz que apunta hacia delante se sumarán, mientras que el otro no obtendrá impulso alguno del movimiento del planeta (Michelson and Morley, 1847).

Los resultados del experimento indicaron que, sin importar la dirección a la que se apuntara el rayo, su velocidad era siempre la misma. Desconfiando de estos resultados, repitieron el experimento varias veces, y con mayor precisión, pero los resultados fueron los mismos. Entonces concluyeron: “[...] *la velocidad de la luz no resulta influenciada por el movimiento de su fuente o el de un observador, es siempre la misma*” (Friedman, 2007).

Durante las dos décadas siguientes los físicos lucharon en vano por reconciliar estos descubrimientos con la definición del espacio inherente en las leyes de Newton. Si el espacio y el tiempo son absolutos, entonces no es posible para dos observadores, el uno en movimiento y el otro en reposo, percibir que un rayo de luz se mueve a la misma velocidad relativa con respecto a ellos; es decir, precisamente lo que los resultados de Michelson-Morley demostraban. Entonces, o Newton o Maxwell estaban equivocados, aunque cada una de sus teorías parecía funcionar a la perfección al describir todo lo demás a lo que se aplicaban.

SEGUNDA REVOLUCIÓN: EINSTEIN

La salida a este dilema empezó a tomar forma en 1895 en la mente de un estudiante de dieciséis años. Desde joven imaginaba los

efectos del movimiento, a la velocidad de la luz, como un rompecabezas cuya resolución cambiaría para siempre la física y la cosmología. Aunque Einstein era esencialmente un solitario, empezó a publicar los resultados de sus investigaciones en uno de los principales diarios científicos, y enfocó sus poderes intuitivos y analíticos sobre las implicaciones de la cuestión que lo había intrigado años atrás: ¿cómo sería cabalgar en un rayo de luz?

Primero consideró la situación de un observador en reposo, con las ondas de luz pasando junto a él, vería un esquema regular de picos y valles moviéndose en el espacio. Si el mismo observador aceleraba para igualar la velocidad del rayo, presumiblemente el esquema de ondas desaparecería. Sin embargo, las ecuaciones de Maxwell necesitaban que las ondas se mantuvieran ondulando, sin importar la acción del observador. Entonces, o las ecuaciones estaban equivocadas, o era imposible para un observador moverse a la velocidad de la luz. Pero la teoría de Maxwell funcionaba bien en todas sus aplicaciones de la vida real, y la física clásica no contemplaba prohibición alguna contra el hecho de moverse a la velocidad de la luz..., o incluso más aprisa (Trautman, 1976).

Relatividad especial

En su ensayo en *Annalen der Physik*, Einstein (1905) propuso una forma revolucionaria de salir de este dilema, e introdujo el principio que más tarde lo haría famoso: la Teoría de la Relatividad Especial. Postulaba la velocidad de la luz como una constante, independiente del movimiento de la fuente o del observador, y para eliminar el conflicto con la física clásica, ampliaba las ideas de Newton sobre la física del movimiento. Este último, a todos los efectos, invalidaba el concepto de movimiento uniforme absoluto, demostrando que el único estado de movimiento detectable es aquel en el que un objeto se mueve con relación a un observador. El gran salto de Einstein fue invalidar también el espacio y el tiempo absolutos:

[...] las dimensiones de un objeto y la duración de un acontecimiento no son valores fijos, sólo pueden determinarse si se considera el movimiento de su marco de referencia con relación al observador (Einstein, 1905).

Mientras dicho movimiento sea sólo una pequeña fracción de la velocidad de la luz, los cambios en espacio y tiempo serán casi imperceptibles. En un objeto que se mueva a velocidades cercanas a la de la luz, sin embargo, los cambios se harán muy evidentes. Un rayo de luz seguirá viajando a velocidad constante, pero según los estándares de un observador en descanso, el metro utilizado para medir la distancia recorrida por la luz será más corto, y el reloj usado para marcar el paso de la luz funcionará más despacio.

Trabajando sobre estos fundamentos —velocidad de la luz constante y relatividad del espacio y del tiempo—, utilizó un álgebra simple para extender la teoría. Demostró que si un objeto se mueve a una velocidad cercana a la de la luz su masa se incrementa proporcionalmente a su energía cinética, y de esta relación dedujo que las dos propiedades son intercambiables. Conclusión que expresó con su ecuación $E=mc^2$, en la que E es la energía contenida en un objeto, m su masa, y c la velocidad de la luz.

Esta ecuación fue fundamental para la primera prueba sobre la relatividad, con experimentos que se iniciaron en 1901 —es decir, antes de que Einstein propusiera su teoría. El físico alemán Walter Kaufmann, al medir la masa de partículas radiactivas de alta energía, no había detectado ningún cambio cuando las partículas se aceleraban (Kaufmann, 1901). Einstein estaba convencido que las hipótesis subyacentes de la teoría eran válidas, y que la teoría en sí era tan sensata que tenía que ser correcta. Cuando los experimentos de partículas radiactivas fueron repetidos por otros científicos a lo largo de los siguientes diez años, se comprobó que los resultados iniciales eran erróneos.

Pero su teoría, tal como estaba formulada originalmente, se aplicaba tan sólo a sistemas en movimiento uniforme, con un movimiento relativo de unos con respecto a los otros en líneas rectas y a velocidades constantes. Luego de diez años, quiso generalizarla para incluir el movimiento no uniforme, ampliando las leyes de la física de tal forma que fueran las mismas para todos los sistemas, acelerados o uniformes. Para hacerlo tenía que examinar la relación entre la aceleración producida por la gravedad y la

generada por otras fuerzas. Se imaginó, en uno de sus experimentos de pensamiento, una habitación como un cajón que se movía en el espacio a velocidad constante con un observador en su interior, lejos de estrellas o planetas. Su contenido sería ingravido y flotaría libremente, sin existir arriba o abajo, ni techo ni suelo. Si a uno de sus lados se aplica una fuerza constante, se acelerará uniformemente, y una de las paredes se apretará hacia adentro. Para el observador en su interior, esa pared se convertiría en el suelo, y se podría ajustar la fuerza de aceleración de tal forma que el observador sintiera un leve empuje hacia abajo, igual al que se siente en la superficie de la Tierra. Por tanto, el observador no sabría si el empuje es producto de la gravitación o de la aceleración, por lo que Einstein concluyó que gravedad y aceleración son equivalentes (Euler, 1748).

Relatividad General

Este principio de equivalencia apareció por primera vez en un ensayo de Einstein (1911), y se convirtió en la premisa fundamental de la Teoría de la Relatividad General que completaría cuatro años más tarde. Durante ese periodo, desarrolló descripciones matemáticas de la interacción entre materia, radiación y fuerzas gravitatorias. En contraste con los cálculos que había usado para apoyar la relatividad especial, estas ecuaciones de campo de la relatividad general —llamadas así porque describían la naturaleza de los campos gravitatorios— eran complejas. Recurrió a la geometría no euclidiana, ya que toda la relatividad general se basaba en curvas.

La teoría predecía que cualquier objeto masivo, debido a su atracción gravitatoria, curvaría la trayectoria de cualquier cosa que pasara cerca de él. Las trayectorias curvas de los planetas y cometas se conocían bien, y Newton parecía haberlas explicado enteramente; pero Einstein creía que la gravedad también curvaba las trayectorias de las ondas electromagnéticas: “[...] *un rayo de luz se curva cuando viaja por las inmediaciones de una estrella muy masiva*” (Einstein, 1911).

Con su teoría pretendía brindar una explicación única para todos los fenómenos físicos, incluido cómo la luz recorre el camino más corto entre dos puntos. Mientras

que en la geometría euclidiana este camino es una línea recta, él pensaba que era curva. La geometría no euclidiana le permitió describir una forma nueva de mirar al universo: “[...] *los rayos de luz no se curvan, es el propio entramado del espacio que se combe por efecto de la gravedad*” (Einstein, 1911). El concepto de espacio curvo, basado en unas complejas matemáticas, puede ilustrarse con una analogía bidimensional: la superficie de una esfera. La geometría de las superficies planas no se aplica a las superficies curvas, las líneas paralelas trazadas sobre una superficie plana nunca se encuentran, pero siempre se interceptan cuando se trazan sobre la superficie de una esfera (Geroch, 1981).

Para la relatividad general el universo se describe en términos de cuatro dimensiones, tres en el espacio y una en el tiempo, y la gravedad es una propiedad geométrica de este espacio-tiempo tetra-dimensional. Según Newton, la masa del Sol irradia a su alrededor una fuerza de gravedad cuyo efecto es hacer que los planetas giren a lo largo de trayectorias curvas y no de líneas rectas; pero para Einstein, la masa del Sol curva el espacio-tiempo, y los planetas giran en sus órbitas en una trayectoria orbital porque se mueven a lo largo de geodésicas —los caminos más cortos en el espacio-tiempo curvo— (Misner et al., 1973).

Aunque se basaba en matemáticas abstractas, la relatividad general tenía un gran número de aplicaciones concretas. Por un lado, explicaba una desconcertante discrepancia en la órbita de Mercurio: el perihelio del planeta avanzaba cada año en una cantidad significativamente más grande que la predicha por Newton; la relatividad general demostró que ese fenómeno era una consecuencia del espacio intensamente curvo en las inmediaciones del Sol. Una prueba mucho más convincente de la teoría sería la confirmación de la predicha curvatura de la luz, específicamente la curvatura de la luz de las estrellas por parte del Sol. Este efecto sólo podía observarse durante un eclipse solar, cuando las posiciones relativas de un grupo de estrellas cerca del Sol se pudieran registrar en fotografías; estas posiciones se compararían luego con las posiciones previas relativas del mismo grupo, cuando la Tierra estuviera entre el Sol y las estrellas.

Los primeros cálculos de Einstein predecían una desviación de 0,83 segundos de arco, equivalente al ancho de una cabeza de alfiler vista a 300 metros. Luego descubrió que era aproximadamente la mitad del valor al que llegó en la teoría final. En 1916, trabajando con todo el esquema matemático de la teoría, predijo una desviación de la luz estelar igual a 1,7 segundos de arco. El eclipse elegido probó la teoría de la relatividad general ocurrió el 29 de mayo de 1919, cuando el Sol pasó frente a las Híadas, un denso conglomerado de estrellas en la constelación de Tauro. Eddington, el jefe de la expedición, escribiría luego de analizar los resultados:

Tres días después del eclipse, cuando alcancé las últimas líneas de los cálculos, supe que la teoría de Einstein había superado la prueba y que la nueva imagen del pensamiento científico era la que prevalecería (Eddington, 1920).

Nuevos aportes

Muy poco afectado por su nueva celebridad, Einstein había empezado a explorar ya las implicaciones de la relatividad general con referencia al universo como un todo. Como Newton, rechazaba por completo la idea de un universo con límites. Su razonamiento se basaba en el dogma de que *“todos los lugares en el universo son parecidos”*; una suposición ampliamente compartida que se conoció como *“el principio cosmológico”*, en el que el universo es en general el mismo, sin importar desde dónde se mire; ninguna parte es exactamente igual a otra, pero su aspecto general es el mismo en todas partes.

Desde la Tierra se observa el mismo número de estrellas en el hemisferio norte que en el hemisferio sur, y un observador muy lejos en el espacio debería observar un cuadro celeste similar; pero, si se observara desde el borde de un universo con límites, la vista sería radicalmente distinta a una cerca del centro (Flores, 1999). Si el universo no tiene límites, es evidente que es infinito. Einstein propuso otra posibilidad: el universo curvo, en cuatro dimensiones y que puede ser finito y sin límites a la vez. Lo comparó con la superficie de una esfera: un observador limitado a esa superficie, incapaz de percibir una tercera dimensión vertical, viajará a cualquier lado y no encontrará un borde; puede incluso regresar al punto de partida desde la dirección opuesta. La superficie de la esfera

no tiene límites ni centro, pero es finita; esto también puede ser cierto para el espacio-tiempo tetra-dimensional.

Pero, cuando se concentró en desarrollar las soluciones a las ecuaciones del campo que describiría al universo real, encontró que las observaciones lo describían como una entidad estática: *“[...] sus partes móviles ni se alejan ni chocan entre sí, y su tamaño no cambia aparentemente con el tiempo”* (Kolb and Turner, 1990); las soluciones a las ecuaciones de campo no producían un modelo estático del universo, todos sus cálculos indicaban que el universo se expandía o contraía. Einstein no estaba convencido de eso y prefirió modificar las ecuaciones. Les añadió un término extra que correspondía a una fuerza repulsiva del cosmos que actuaba en contra de la gravedad. Ese término —constante cosmológica—, le pareció que hacía más manejable el problema de la descripción del universo, ya que estaba directamente relacionada con su tamaño y masa; incluso pensó que era posible determinar esos valores mediante observaciones astronómicas.

Friedmann, un científico ruso intrigado por el trabajo de Einstein en gravitación y cosmología, y por el desafío matemático de sus ecuaciones de campo, se dedicó a encontrar las soluciones sin preocuparse por sus efectos en el universo real. En su trabajo logró demostrar que con esas ecuaciones era posible hallar una amplia gama de universos; descubrió que al dejar de lado la constante cosmológica, era posible encontrar universos en expansión llenos de materia, por lo que concluyó que existían dos posibilidades explicativas: o el universo se expande eternamente, o la atracción gravitatoria de la materia, al superar la expansión, causa una contracción en la que el universo colapsa (Friedman, 1992).

Lo que hace que los resultados se inclinen para uno u otro lado, expansión o colapso, es el factor de la densidad media de la masa en el universo. Si este factor es menor a un valor crítico de densidad —no calculado por Friedmann—, el universo se expandirá eternamente, su espacio-tiempo tendrá una curvatura negativa, y será infinito. Pero, no aparece el problema de equilibrar con exactitud la distribución de la materia en

este universo infinito regido por la gravedad newtoniana. Además, en la relatividad general se estipula que la gravedad, al igual que lo demás en el universo, está limitada por la velocidad de la luz; por lo que no puede, como suponía Newton, ejercer su influencia instantánea a cualquier distancia. Entonces, un campo gravitatorio en distancias infinitamente amplias requiere una cantidad igualmente infinita de tiempo para ejercer su influencia (Ferguson, 1991).

Por otro lado, si esa densidad media de masa es mayor al valor crítico, el universo colapsará en una pesada concentración de materia, y volverá a explotar para expandirse y luego colapsará nuevamente. Este universo tendrá una curvatura positiva, será finito, y contendrá una cantidad de masa igualmente finita (Hawking, 1991). Friedmann también encontró que entre ambos universos existe otro, en el que el factor de la densidad media de su masa es igual a la densidad crítica. Tal universo tendrá curvatura cero y su espacio-tiempo será plano, ya que en él sólo es posible aplicar geometría euclidiana para espacios planos; es infinito y se expande eternamente (Friedman, 1922).

Las soluciones de Friedmann a las ecuaciones de campo son matemáticamente correctas; sin embargo, al parecer no tienen validez física, ya que para generar un universo curvo, con las características aparentemente estáticas que observan los astrónomos, se necesita algo parecido a la constante cosmológica (Gamow, 1948).

La gravedad obstaculiza el tiempo

Si un movimiento acelerado es relativo, tendrá todo el espacio y el tiempo disponibles y, al igual que un movimiento uniforme a velocidad cercana a la de la luz, afecta la longitud de los objetos o la permanencia de los acontecimientos; por lo que un movimiento acelerado, por el principio de equivalencia, también afecta la gravedad (Alpher and Herman, 1988). En varios experimentos, posteriores a lo expuesto por Friedmann, se determinó que un reloj a cierta altura sobre el nivel del mar ganaba una quince mil millonésima de segundo al día respecto de otro a nivel de mar, y se atribuyó el fenómeno a las distancias de ambos lugares del centro de gravedad del planeta.

Otra cuestión aparentemente extraña de la Teoría de la Relatividad, es que aceleración y gravedad afectan la medida del tiempo, pero también las dimensiones y geometría del espacio. Ya que la gravedad es una propiedad de la masa, la ciencia suele buscar las distorsiones espaciales cerca a cuerpos masivos como estrellas o galaxias. Debido a que una geometría curva es muy difícil de detectar directamente, los científicos intentan observarla indirectamente al monitorear fenómenos como el paso de la luz por regiones sospechosas, ya que en condiciones ordinarias la luz sigue una línea recta, pero al observar una alteración en dicha línea en el que ya no es recta sino curva, se sospecha que el espacio está curvado en esa área (Dicke et al, 1965).

EL UNIVERSO TIENE UN NUEVO DESTINO

Una consecuencia de la descripción de la gravedad que hace la relatividad general, así como de sus relaciones con el espacio-tiempo, es que permite a los científicos encontrar respuestas a interrogantes que hasta hace poco eran dominio de la religión, el misticismo y la filosofía: ¿finalizará el universo alguna vez, y si es así, cómo será? (Green, 2006). La respuesta de la ciencia supone que el universo se está expandiendo como consecuencia del Big Bang, y que debe tomar uno de los tres modelos que Friedmann calculó (Sagan, 1996). El asunto es decidir cuál de esos modelos se debe tomar como correcto, ya que la decisión depende de encontrar el valor de la densidad media de la materia en el universo, que es la que determina si la gravedad acelera o detiene la expansión (Garriga et al., 2004).

1. Si el valor está por debajo del valor crítico de tres átomos de hidrógeno por metro cúbico, el universo será abierto, con una forma difícil de imaginar en tres dimensiones, y continuará su expansión hasta que los átomos que lo conforman se separen tanto que se enfriaría al consumir totalmente su energía.
2. Si el valor está por encima del mismo valor crítico, el universo será cerrado, y la fuerza de gravedad de toda su masa detendrá la expansión y lo contraerá sobre sí mismo hasta que explote nuevamente.
3. Por último, si el valor es igual a ese valor crítico, el universo será plano y la gravedad frenará la explosión, pero no podrá detenerla eternamente.

Algunos científicos creen que el universo se clasifica en el tercer modelo, por lo que es plano; otros afirman que la densidad media de la materia es diez a mil veces inferior que el valor crítico, y entonces el universo es abierto (Stone, 1977). La ciencia sospecha que el hecho de no poder hallar más materia en el universo se debe a que la mayoría radia de una forma que aún, con la actual tecnología, no se puede detectar. Mientras no se pueda determinar claramente la densidad media de la masa del universo, su destino seguirá como una de las cuestiones más investigadas y debatidas (Adams and Laughlin, 2000).

CONCLUSIONES

- Las contribuciones de Einstein a las ideas de espacio y tiempo, y del conocimiento del universo en general, son de naturaleza tan trascendental que pueden fácilmente tomar su lugar entre los dos o tres más grandes logros del siglo XX (Visser, 1996).
- Si el resultado de estas revoluciones fuera sólo descubrir que la luz se ve afectada por la gravedad, ya eso habría sido de la mayor importancia; pero tal conclusión no es un caso aislado, sino, parte de todo un continente de ideas científicas que afectan los conceptos más fundamentales de la física. Es, en fin, el resultado más importante obtenido en relación con la teoría de la gravitación desde la época de Newton.
- La diferencia entre las revoluciones de Einstein y Newton se da sólo en casos especiales. La importancia real de la teoría de Einstein no reside tanto en sus resultados como en el método por el que se logran, y ofrece una visión nueva y totalmente diferente de la gravitación. Si se sostiene que su razonamiento es válido y que ha sobrevivido a dos pruebas muy severas en relación con el perihelio de Mercurio y un eclipse, entonces puede afirmarse que tal resultado es uno de los mayores logros del pensamiento humano (Yurov et al, 2008).
- El punto débil de la teoría de la relatividad es la gran dificultad para expresarla. Parece que nadie pudiera entender esta ley sin un conocimiento profundo de la teoría de invariantes y del cálculo de variaciones (Goldstein and Inge, 1993).
- Otro punto de interés para la física, surgido de esta revolución, es que la luz se desvía al pasar cerca de grandes cuerpos de materia; lo que implica alteraciones en el campo eléctrico y magnético, y la existencia de fuerzas eléctricas y magnéticas fuera de las fuerzas de la materia, asunto todavía cuasi-desconocido, aunque se pueda desprender una idea de su naturaleza (Harrison, 2003).
- Desde cualquier punto de vista razonablemente empírico, Newton no podría haber demostrado que el espacio, el tiempo y el movimiento son infinitos. Con independencia de lo que podría haber mostrado sólo era posible establecerse en el contexto de las mismas leyes de Newton del movimiento, y así, con el fin de establecer una concepción de espacio y de tiempo, se habrían tenido que constituir esas mismas leyes; una tarea que él mismo reconoció era imposible, ya que las leyes, tal como se conocen, siempre pueden llegar a tener "*excepciones responsables*", y su procedimiento completo podría tener que cederse a algunos métodos más "*verdaderos*" de la filosofía (Linde, 1990).
- No obstante, es posible señalar un logro filosófico en el trabajo de Newton: demostró que la comprensión filosófica del espacio y el tiempo tiene que surgir, no de los principios generales filosóficos, sino de un análisis crítico de lo que suponen a partir de la observación y el razonamiento sobre la física del movimiento. El derrocamiento de la teoría de Newton fue posible gracias a la consecución, en un contexto teórico y empírico diferente, del mismo tipo de análisis (Guth, 1997).

REFERENCIAS

1. Adams, F. and Laughlin G. (2000). The Five Ages of the Universe: Inside the Physics of Eternity. Australia: Simon & Schuster.
2. Alpher, R. A. and Herman R. (1988). Reflections on early work on "big bang" cosmology. Physics Today, Vol. 41, No. 8, pp. 24-34.
3. Anstey, P. R. (2004). The methodological origins of Newton's queries. Studies In History and Philosophy of Science Part A, Vol. 35, No. 2, pp. 247-269.

4. Barbour, J. and Pfister H. (Eds.) (1995). *Mach's Principle: From Newton's Bucket to Quantum Gravity*. Boston: Birkhäuser.
5. Bohm, D. (1996). *The Special Theory of Relativity*. London: Taylor & Francis Ltd.
6. Brackenridge, J. B. (1996). *The Key to Newton's Dynamics: The Kepler Problem and the Principia*. California: University of California Press.
7. Bravo, S. (1995). Historia de la teoría de la gravitación universal. *Ciencias*, No. 37, pp. 33-41.
8. Dicke, R. H., Peebles P. J. E., Roll P. G. and Wilkinson D. T. (1965). Cosmic Black-Body Radiation. *Astrophysical Journal*, Vol. 142, pp. 414-419.
9. DiSalle, R. (1990). The "essential properties" of matter, space, and time. *Philosophical Perspectives on Newtonian Science*, P. Bricker and R. I. G. Hughes (Eds.). Cambridge: MIT Press, pp. 203-211.
10. DiSalle, R. (2002). Conventionalism and Modern Physics: A Re-Assessment. *Noûs*, Vol. 36, No. 2, pp. 169-200.
11. Eddington, A. S. (1920). *Report on the Relativity Theory of Gravitation*. London: Fleetwood Press.
12. Einstein, A. (1905). Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik*, Vol. 322, No. 6, pp.132-148.
13. Einstein, A. (1911). Über den Einfluss der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes. *Annalen der Physik*, Vol. 35, No. 10, pp. 898-908.
14. Euler, L. (1748). Reflexions sur l'espace et le temps. *Histoire de l'Academie Royale des sciences et belles lettres*, Vol. 4, pp. 324-33.
15. Ferguson, K. (1991). *Stephen Hawking: Quest For A Theory of Everything*. New York: Bantam Books.
16. Flores, F. (1999). Einstein's theory of theories and types of theoretical explanation. *International Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 13, No. 2, pp. 123-34.
17. Friedman, A. (1922). Über die Krümmung des Raumes. *Zeitschrift für Physik*, Vol. 10, No. 1, pp. 377-386.
18. Friedman, M. (2007). Understanding space-time. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, Vol. 38, No. 1, pp. 216-225.
19. Gamow, G. (1948). The Origin of Elements and the Separation of Galaxies. *Physical Review*, Vol. 74, No. 4, pp. 505-506.
20. Garriga, J., Mukhanov V. F., Olum K. D. and Vilenkin A. (2004). Eternal Inflation, Black Holes, and the Future of Civilizations. *The future of the universe and the future of our civilization*, V. Burdyuzha and G. Kohzin (Eds.). Budapest: World Scientific Publishing Company, pp. 42-55.
21. Geroch, R. (1981). *General Relativity from A to B*. Chicago: University of Chicago Press.
22. Ghosh, A. (2000). *Origin of Inertia: Extended Mach's Principle and Cosmological Consequences*. London: C. Roy Keys Inc.
23. Goldstein, M. and Inge F. (1993). *The Refrigerator and the Universe*. USA: Harvard University Press.
24. Green, B. (2006). *El tejido del cosmos: Espacio, tiempo y la textura de la realidad*. Barcelona: Crítica.
25. Guicciardini, N. (2003). Conceptualism and contextualism in the recent historiography of Newton's Principia. *Historia Mathematica*, Vol. 30, No. 4, pp. 407-431.
26. Guicciardini, N. (2004). Isaac Newton and the publication of his mathematical manuscripts. *Studies In History and Philosophy of Science Part A*, Vol. 35, No. 3, pp. 455-470.
27. Guth, A. (1997). *The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins*. Manchester: Addison Wesley.
28. Harrison, E. (2003). *Masks of the Universe: Changing Ideas on the Nature of the Cosmos*. Cambridge: Cambridge University Press.
29. Hawking, S. W. (1991). *Historia del tiempo: del Big Bang a los agujeros negros*. Barcelona: Círculo de Lectores.
30. Kaufmann, W. (1901). Die Entwicklung des Elektronenbegriffs. *Physikalische Zeitschrift*, Vol. 3, No. 1, pp. 9-15.
31. Kochiras, H. (2009). Gravity and Newton's Substance Counting Problem. *Studies In History and Philosophy of Science Part A*, Vol. 40, No. 3, pp. 267-280.

32. Kolb, E. W. and Turner M. S. (1990). *The Early Universe*. London: Addison-Wesley. 592 p.
33. Kragh, H. (2007). *Generaciones cuánticas: una historia de la física en el siglo XX*. Barcelona: Ediciones AKAL.
34. Linde, A. (1990). *Particle Physics and Inflationary Cosmology*. London: Taylor & Francis.
35. Lodge, O. (2003). *Pioneers of Science*. London: Kessinger Publishing.
36. MacLachlan, J. (1997). *Galileo Galilei: First Physicist*. USA: Oxford University Press. 128 p.
37. Michelson, A. A. and Morley E. E. (1887). On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether. *American journal of science*, Vol. XXXIV, No. 203, pp. 333-345.
38. Misner, C., Thorne K. and Wheeler J. A. (1973). *Gravitation*. New York: W. H. Freeman.
39. Osserman, R. (2001). Kepler's Laws, Newton's Laws, and the Search for New Planets. *American Mathematical*. Vol. 108, No. 9, pp. 813-820.
40. Peterson, I. (1993). *Newton's Clock: Chaos in the Solar System*. UK: W. H. Freeman & Co.
41. Purcell, E. M. (2005). *Electricidad y magnetismo*. Madrid: Reverte.
42. Sagan, C. (1996). *Cosmos*. Barcelona: Omnis Cellula.
43. Scheck, F. (2004). *Mechanics: From Newton's Laws to Deterministic Chaos*. USA: Springer.
44. Stone, M. (1977). Semiclassical methods for unstable states. *Physics Letters B*, Vol. 67, No. 2, pp. 186-183.
45. Susanto, H. and Karjanto N. (2009). Newton's method's basins of attraction revisited. *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 215, No. 3, pp. 1084-1090.
46. Trautman, A. (1976). A classification of space-time structures. *Reports on Mathematical Physics*, Vol. 10, No. 3, pp. 297-310.
47. Visser, M. (1996). *Lorentzian Wormholes from Einstein to Hawking*. USA: American Institute of Physics.
48. Yamamoto, T. (1985). A unified derivation of several error bounds for Newton's process. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Vol. 12-13, pp. 179-191.
49. Yilmaz, H. (1973). New approach to relativity and gravitation. *Annals of Physics*, Vol. 81, No. 1, pp. 179-200.
50. Yilmaz, H. (1975). Gravitation and source theory. *Annals of Physics*, Vol. 90, No. 1, pp. 256-265.
51. Yurov, A. V., Astashenok A. V. and Yurov V. A. (2008). The Dressing Procedure for the Cosmological Equations and the Indefinite Future of the Universe. *Gravitation and Cosmology*, Vol. 14, No. 1, pp. 8-16.

Ω

TEST CASES IN SOFTWARE TEST

LOS CASOS DE PRUEBA EN LA PRUEBA DEL SOFTWARE

José Luis Aristegui O.

Grupo IngeSoft, Chile.

Ingesoft@techie.com

(Artículo de REFLEXIÓN) (Recibido el 5 de enero de 2010. Aprobado el 12 de abril de 2010)

Abstract – In the place of traditional principle of project management a strategic management philosophy is emerging fast in which writing better test cases also receive the widespread attention of all those interested in software project management and software testing. In the current scenario managing software is an important task in an IT industry. Not only managing IT project, but also it is need to develop quality software product for the customer. It includes the number of tasks and phases of the software project development. Testing is one of the phases, which is most important in project management. In software testing writing test cases is very important. So it is necessary to study how to write better test cases.

Keywords: quality test cases, software testing, test cases.

Resumen – En el campo de la gestión tradicional de proyectos de software, surgió hace poco una filosofía estratégica que se centra en mejorar el diseño de los casos de prueba, y que llamó la atención generalizada de los interesados en la gestión de proyectos y en la prueba del software. Actualmente, la gestión de proyectos de software es una de las tareas más importantes en la industria de las tecnologías de la información, y más aún si el objetivo es desarrollar productos de calidad. En esa gestión, la prueba es una de las fases más importantes, y en ésta, lo que requiere más cuidado y dedicación es el diseño de los casos de prueba, por lo que es necesario estudiar cómo diseñarlos y escribirlos mejor.

Palabras clave: calidad de los casos de prueba, casos de prueba, prueba del software.

INTRODUCCIÓN

La gestión de proyectos es un complejo sistema de procedimientos de gestión, prácticas, tecnologías y conocimientos, en el que es necesaria la experiencia para gestionarlos con éxito. La gestión de proyectos de software es una actividad lineal en la Ingeniería de Software. Se inicia antes que cualquier actividad técnica comience y continúa durante todas las etapas de desarrollo hasta el mantenimiento.



Figura 1. La administración de proyectos (Jalote, 2002)

Gestionar el desarrollo de software como un proyecto es muy importante; se trata de integrar personas –desarrolladores, clientes–, problemas –requisitos del cliente–, y procesos –metodología para encontrar los requisitos–; es decir, integrar las tres P: Personas, Procesos y Problemas, como se observa en la Figura 1 (Jalote, 2002).

Para desarrollar productos software de calidad, la prueba es una de las tareas más importantes y, cuando se aplica linealmente en el ciclo de vida del producto, desempeña un papel crucial en la gestión de proyectos. Las pruebas evalúan el producto para determinar que cumple con el objetivo previsto, por lo que es necesario diseñar un plan de pruebas que se adapte y sea coherente con la metodología de desarrollo, que proporcione un enfoque de fácil acceso a la estructura para verificar los requisitos y cuantificar su rendimiento, y que identifique las diferencias entre los resultados previstos y los reales –errores o fallas–; es el proceso por medio del cual se evalúa la correcta interpretación y aplicación de los requisitos especificados. Un buen plan de pruebas es el conocido como PDCA (Yongkui and Guofeng, 2009), que contempla las siguientes actividades:

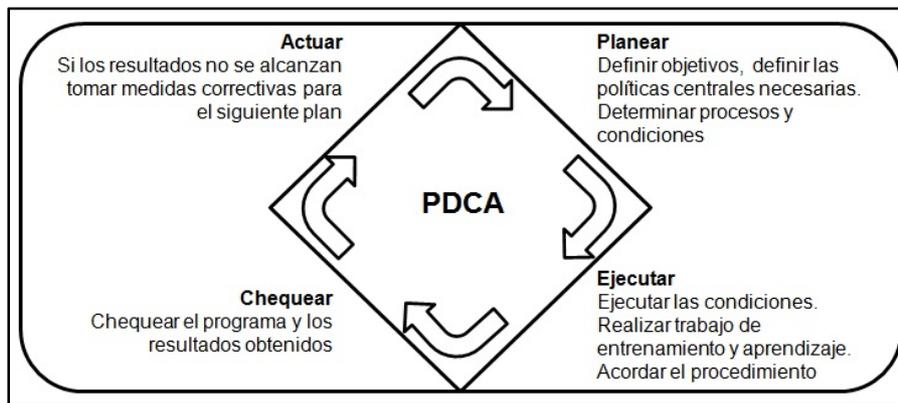


Figura 2. Ciclo de la prueba del software (Yongkui and Guofeng, 2009)

Este artículo detalla cómo evitar los contratiempos que se originan cuando los casos de prueba se diseñan pobremente, y describe cómo mejorar ese diseño para incrementar la productividad, la facilidad de uso, la fiabilidad de la programación y la gestión de valor. Además, se busca explicar qué son y para qué sirven los casos de prueba, así como la lista de estándares que se utilizan para identificar áreas de riesgo y mejorarlos para aplicaciones futuras. Se desarrolla un caso de estudio que demuestra cómo utilizar los casos de prueba para mejorar la capacidad de la prueba y la productividad, resolver los problemas más comunes en calidad y cómo aprovechar las ventajas de los casos de prueba, que se pueden poner en práctica en la industria del software.

ESTADO ACTUAL DE LA PRÁCTICA DEL DESARROLLO DE SOFTWARE

Toda persona, alguna vez, ha sufrido algún error del software, sea en una factura liquidada indebidamente o la pérdida de todo un día de trabajo; estos problemas se deben a la complejidad misma del software, que dificulta el desarrollo de sistemas e incrementa la probabilidad de que existan errores aun luego de finalizado y entregado al cliente.

Actualmente, la capacidad de los ingenieros de software para medir la fiabilidad de sus productos es inferior a la necesaria en el enfoque de la calidad (Gibbs, 1994), por lo que es deseable que estos ingenieros puedan demostrar matemáticamente la correctitud de sus programas, de la misma forma que otras ramas de la ingeniería lo pueden hacer. Otros ingenieros pueden recurrir al análisis matemático para conocer de antemano el comportamiento de sus productos en el

mundo real, para descubrir sus errores antes que estén operativos. No obstante, las matemáticas tradicionales utilizadas para describir sistemas físicos no tienen aplicabilidad en el universo de los computadores, en el que se debe recurrir a la matemática discreta, un área reciente, poco investigada, y que gobierna el campo de los sistemas software (Roventa and Spircu, 2008).

Es debido a esas imposibilidades que los ingenieros de software no pueden aplicar los métodos matemáticos rigurosos a sus productos, y deben recurrir a métodos de verificación empírica en los que hacen funcionar los programas y observan su comportamiento directamente, para luego depurarlos cada vez que aparece un error; de esta forma la fiabilidad de los productos se va incrementando a lo largo del proceso. Estos métodos no garantizan la ausencia de errores, y pueden existir errores en otros componentes del programa que no se ejecutan en ese momento. Por lo tanto, la recomendación es que el producto software se evalúe de forma paralela a su desarrollo, en un proceso de evaluación/comprobación de los diferentes productos en cada fase del ciclo de vida, y en el que participen desarrolladores y clientes.

Se concluye entonces que el logro de programas perfectos es por el momento una meta inalcanzable. *“Existe, actualmente, la imposibilidad práctica de conseguir software totalmente libre de defectos”* (Littlewood and Strigini, 1993), por lo que se debe aceptar que, debido a las actuales limitaciones en lo relacionado con el desarrollo de sistemas software, esta práctica debe investigarse más y más cada día; de hecho, existen autores que sugieren

que “[...] debido a la entidad no física del software, los errores en los programas son inherentes a su naturaleza” (Huang et al., 1994), y de hecho, hasta el software de más alto factor crítico contiene errores remanentes. En su investigación, Edward Adams analizó el número de errores en una base de datos, que se suponía de cobertura mundial, en un equivalente a miles de años de uso sobre un sistema de cómputo. Descubrió que uno de cada tres errores del programa llegan a producir un fallo tan sólo una vez cada 5.000 años. Claro está que emplear tiempo para detectar los errores que se producirán más allá de 75 años es inaceptable (Adams, 1984).

LOS CASOS DE PRUEBA EN LA INGENIERÍA DE SOFTWARE

Para desarrollar software de calidad y libre de errores, el plan de pruebas y los casos de prueba son muy importantes. El *Software Test Plan –STP–* se diseña para determinar el ambiente de aplicación de los recursos y el calendario de las actividades de las pruebas, se debe identificar el dominio y sus características a probar, lo mismo que el tipo de pruebas a realizar. Un caso de prueba bien diseñado tiene gran posibilidad de llegar a resultados más fiables y eficientes, mejorar el rendimiento del sistema, y reducir los costos en tres categorías: 1) productividad – menos tiempo para escribir y mantener los casos–; 2) capacidad de prueba –menor tiempo para ejecutarlos–; y 3) programar la fiabilidad –estimaciones más fiables y efectivas– (Perry, 1995).

La prueba del software consta de tres pasos: el entorno de la prueba, desarrollar y ejecutar *scripts*, y analizar los resultados (IEEE, 2008); el plan de pruebas “describe el alcance y enfoque de las actividades de pruebas previstas, e identifica las características a ser probadas” (Elaine and Vocolos, 2000); y el diseño de las pruebas “especifica los detalles del método de prueba para una característica del software e identifica las pruebas correspondientes” (IEEE, 2008-1). El estándar 829 de IEEE (IEEE, 2008-2) recomienda que un plan de pruebas debe incluir:

- Una lista de características y sus combinaciones a probar
- Una declaración general de enfoque para cada característica o combinación de características

- Identificación de la prueba de diseño asociada con cada una de las características y sus combinaciones.

El proceso de escribir casos de prueba y establecer su estándar es un logro especial muy dinámico, y es necesario que se enseñe, aplique, controle, mida y mejore continuamente.

Componentes de los casos de prueba

Un caso de prueba es un conjunto de acciones con resultados y salidas previstas basadas en los requisitos de especificación del sistema; sus componentes son:

1. Propósito: de la prueba o descripción del requisito que se está probando
2. Método: o forma como se probará
3. Versión: o configuración de la prueba, versión de la aplicación en prueba, el hardware, el software, el sistema operativo, los archivos de datos, entre otros
4. Resultados: acciones y resultados esperados o entradas y salidas
5. Documentación: de la prueba y sus anexos.

En cada nivel de la prueba, estos componentes deben probarse utilizando casos de prueba para pruebas de unidad, pruebas de integración, pruebas del sistema, pruebas Alpha y Beta,..., además, son útiles para las pruebas de rendimiento, pruebas funcionales y pruebas estructurales.

Factores de calidad de los casos de prueba

La calidad es un conjunto de métricas estándar o listas de control, y representa lo que los clientes buscan en un producto. Un caso de prueba debe cumplir con los siguientes factores de calidad:

1. Correcto. Ser apropiado para los probadores y el entorno. Si teóricamente es razonable, pero exige algo que ninguno de los probadores tiene, se caerá por su propio peso.
2. Exacto. Demostrar que su descripción se puede probar.
3. Económico. Tener sólo los pasos o los campos necesarios para su propósito.
4. Confiable y repetible. Ser un experimento controlado con el que se obtiene el mismo resultado cada vez que se ejecute, sin importa qué se pruebe.
5. Rastreable. Saber qué requisitos del caso de uso se prueban.

6. Medible. Este es un ejercicio muy útil para quienes escriben pruebas, para verificar constantemente dónde están, si pierden alguno de los elementos, o si no se cumple un estándar.

Formato de los casos de prueba

1. *Paso a paso*. Este formato se utiliza en:

- La mayoría de las reglas de procesamiento
- Casos de prueba únicos y diferentes
- Interfaces GUI
- Escenarios de movimiento en interfaces diferentes
- Entradas y salidas complicadas para representar en matrices.

2. *Matrices*. Sus usos más productivos son:

- Formularios con información muy variada, mismos campos, valores y archivos de entrada diferentes
- Mismas entradas, diferentes plataformas, navegadores y configuraciones
- Pantallas basadas en caracteres

- Entradas y salidas con mejor representación matricial.

3. *Scripts automatizados*. La decisión de utilizar software para automatizar las pruebas depende de la organización y del proyecto que se esté probando. Existen algunas cuestiones técnicas que deben concretarse y que varían de una herramienta a otra. El beneficio real de automatizar las pruebas se obtiene en la fase de mantenimiento del ciclo de vida del software; en ese momento, los *scripts* se pueden ejecutar repetidamente, incluso sin supervisión, y el ahorro en tiempo y dinero es sustancial (Moller and Paulish, 1993).

Un caso de prueba paso a paso tiende a ser más verbal, y el de matrices más numérico. A menudo, la ruta más productiva es utilizarlos todos. Los dos primeros se utilizan para las pruebas unitarias, de integración y del sistema; y el automatizado, para pruebas de regresión (Voas, 1993).

Tabla 1. Mitos y realidades de los casos de prueba

1	Mito	Los casos de prueba paso a paso toman mucho tiempo para escribirse. No lo podemos permitir.
	Realidad	Puede o no que tomen más tiempo para escribirse, pero su detalle los hace resistentes y fáciles de mantener; además, son necesarios para probar adecuadamente algunas de las funciones.
2	Mito	Una matriz es siempre la mejor opción. Hagámosla trabajar.
	Realidad	Un problema persistente es armar una matriz con la información adecuada de la configuración. Frecuentemente se omite dicha información, o peor aún, si las configuraciones o clases de entrada son diferentes no se pueden forzar dentro de una matriz como grupo similar, ya que no se han probado todos.
3	Mitos	La alta tecnología es la mejor. Si es posible automatizar los casos de prueba, se debe hacer.
	Realidad	La decisión de utilizar pruebas automatizadas debe basarse en muchos factores.
4	Mito	No tenemos tiempo para escribir los casos de prueba manuales. Vamos a automatizarlos.
	Realidad	Automatizar los casos de prueba toma más tiempo que los otros dos tipos.

MEJORAMIENTO DE LOS CASOS DE PRUEBA

Comprobabilidad de los Casos de Prueba

En la prueba es fácil de probar, con precisión, lo que significa que si el probador sigue las instrucciones, el resultado de aprobado o fallido será correcto. Se puede medir fácilmente por medio del tiempo que se tarda en ejecutar la prueba, y si el probador tiene que buscar o no aclaraciones en el proceso de prueba.

- Lenguaje para mejorar la comprobabilidad. Los pasos de los casos de prueba deben ser escritos en forma activa. El probador debe saber qué hacer, y cómo hacerlo. Por ejemplo, navegar en

la página de la tienda *online* y preparar la lista de lo que va a comprar, para comparar los precios y la variedad con los datos disponibles. Hacer clic en <Submit>, etc., puede hacerse más rápido mediante la creación de campos estructurados para que el probador registre las entradas que se verificarán y comprobarán posteriormente.

- Controlar longitud para mejorar la comprobabilidad. Es necesario tener en cuenta la longitud de los casos de prueba para saber cuán compleja y precisa es la prueba. Un buen caso de prueba debe tener entre 8 y 16 pasos —en el método paso a paso—, a menos que el probador no

pueda guardar su trabajo. Existen varias ventajas en mantener los casos de prueba cortos: se requiere menos tiempo y hay menos posibilidades de cometer errores, de necesitar ayuda o de alguna pérdida de datos. Con base en la longitud de los casos de prueba es posible estimar con precisión el tiempo y el esfuerzo que se debe invertir en la prueba, lo mismo que sus resultados. En los casos de prueba de matriz, una buena longitud oscila entre 18 y 20 minutos para la prueba. Mientras que la longitud de un *script* automatizado no es cuestión que interese para la ejecución de la prueba, ya que ésta se ejecuta en fracciones de segundo; la cuestión es administrar los contenidos, el mantenimiento y el seguimiento de los defectos.

- Pros y contras de los casos acumulativos. Estos casos son los que dependen de otros previamente ejecutados. El objetivo del probador es mantener la prueba de forma autónoma hasta que le sea posible, ya que esto le da mayor flexibilidad en su

programación, y reduce el costo y el tiempo de mantenimiento. Si el caso de prueba depende de otro, entonces podrá referenciarlos y en tal caso la prueba será acumulativa. Siempre que sea necesario, debe ofrecer una alternativa a una prueba anterior; esto implica que se pueden utilizar los datos creados en una prueba anterior, pero que también podría utilizar otros datos. En general, se deben mantener las referencias a otras pruebas lo más genéricas y compatibles posible, y no referirse a los casos de prueba solamente por su número (Pressman, 2004).

Plantillas para mejorar la productividad

La plantilla para casos de prueba es un formulario con campos marcados o símbolos, y sirve para mejorar los casos de prueba paso a paso; sirve para darle orden a los casos de prueba, ya que evita la indeseable página en blanco, y se basa en normas. Es posible observar el proceso impreso y ayuda a los probadores a encontrar información.

Tabla 2. Plantilla para casos de prueba

Proyecto No.: Nombre del Proyecto:	Página No.:
Caso No.: Nombre del Caso:	Ejecución No.: Nombre: Estado de la prueba:
Marca/Subsistema/Módulo/Nivel/Función/Código de la Unidad bajo prueba:	Requisito No.: Nombre:
Escrito por: Fecha:	Ejecutado por: Fecha:
Descripción del caso de prueba (propósito y método):	
Configuración de la prueba para (H/W, S/W, N/W, datos, pre-requisitos de prueba, seguridad y tiempo):	

Paso	Acción	Resultados esperados	Pasado/Fallido
1			
2			
...			

También se recomiendan plantillas para las matrices (Watts, 1989):

Tabla 3. Plantilla para matrices

Proyecto No.:	Nombre del proyecto:								Página:	
Nombre de la prueba:	Construcción No.:								Ejecución No.:	
	Fecha de ejecución:									
	Nombre ejecutor:									
Escrito por:	Fecha:								Requisito No.:	
Descripción del caso de prueba (propósito y método):										
Configuración de la prueba:										
Pasado/ Fallido	Usuario	Visualiza	Edición	Adición	Borrado	Reconst.	Auditar	Report.	Seguir	Result.
	1									
	2									
	3									
	...									

- Clonar mejora la productividad. Significa modelar un caso de prueba en otro. Un caso de prueba es un buen candidato para clonar si se ajusta a la necesidad de un caso paso a paso y tiene variables que puedan ser fácilmente sustituidas. Investigar en torno del proyecto las oportunidades de clonación, como los casos de otras personas, manuales de usuario o tutoriales *help desk*, que pueden estar buscando un intercambio para los casos de prueba. Las matrices también pueden ser clonadas, sobre todo si la sección de configuración es la misma. Las variables pueden cambiar en los nombres de campo y sus valores.
- Administrar las pruebas mejora la productividad. Un software diseñado para soportar pruebas de auditoría incrementa la productividad al escribir los casos de prueba, y tiene ventajas sobre los procesadores de texto, base de datos o software de hoja de cálculo. Administrar la prueba del software hace que escribir y diseñar los casos de prueba sea más fácil, facilita la clonación de los casos y sus pasos, hace fácil agregarlos, moverlos y eliminarlos, los numera automáticamente y renumera e imprime las pruebas con facilidad desde las plantillas (Watts, 1995).

CASO DE ESTUDIO

Los probadores eran usuarios de un negocio con poca confianza en el software; estaban deseosos de probar, y después de pasar mucho tiempo tratando de averiguar qué hacer con las pruebas, casi tiraban la toalla. El analista de las pruebas observó los casos de prueba y comenzó un programa de formación y orientación al equipo; convencido de que los casos de prueba tenían gran utilidad, le dio a los probadores una lista de control e hizo que el grupo la usara para escribir los casos del siguiente módulo. Cada uno comenzó a producir casos que cumplían los estándares. La primera semana la escritura fue lenta, pero luego de dos meses todos lograron alcanzar el objetivo de productividad. En el ciclo de prueba siguiente, los casos eran más cortos, cada uno con un objetivo claro y criterios precisos para aprobar o rechazar.

El administrador de las pruebas mantenía indicadores acerca de los cambios. Los analistas gastaban entre cuatro y cinco horas

diarias solucionando problemas de casos deficientes con los probadores. Además del tiempo dedicado a los probadores, algunos analistas gastaban una o dos horas tratando de arreglar los casos en cada fase, en lugar de realizar su trabajo regular: escribir casos de prueba para el siguiente módulo.

Después de la capacitación y del establecimiento de estándares, las métricas para el próximo ciclo de prueba se veían mucho mejor. Ninguno de los analistas pasaba más de una hora al día ayudando a los probadores. A pesar de que había más pruebas, los casos de prueba eran más cortos debido a los estándares; los probadores los aplicaban en veinticinco minutos, y a menudo las pruebas terminaban un día antes. Al final del proyecto, los analistas y probadores recibían reconocimiento por ofrecer una versión completa y a tiempo del producto, e inclusive por ahorrarse un mes en el ciclo de vida.

CONCLUSIONES

- La actividad más importante para proteger el valor de los casos de prueba es mantener los que son comprobables. Deben mantenerse después de cada ciclo de prueba, ya que los probadores encuentran errores en los casos de prueba, lo mismo que en el software. Cuando se programan las pruebas, se debe asignar tiempo para que el analista o escritor diseñe los casos, mientras los desarrolladores corrigen los errores en la aplicación.
- El director del proyecto o el administrador de las pruebas, debe encargarse de administrar la configuración para proteger el valor de los casos de prueba, así como de los estándares.
- El proceso de enseñar buenas prácticas de escritura y de establecer estándares para los casos de prueba es un logro en sí mismo; pero no pueden ser estáticas: deben enseñarse de forma dinámica, aplicadas, controladas, medidas y mejoradas.
- Este documento ha cubierto brevemente cuáles son los procesos y estándares de calidad y cómo se aplican a todo tipo de casos de prueba, cómo usarlos para mejorar la comprobabilidad y productividad de la prueba, cómo resolver los problemas comunes de calidad en los

casos de prueba, y cómo proteger el activo de los casos de prueba.

- Para que un caso de prueba se considere de buena calidad se recomienda la siguiente lista de chequeo (Dustin, 2003):

Tabla 4. Lista de comprobación para la calidad de un caso de prueba

Atributo	Lista de chequeo	S/N
Calidad	Correcto. Es apropiado para los probadores y el entorno	
	Exacto. Su descripción se puede probar	
	Económico. Tiene sólo los pasos o los campos necesarios para su propósito	
	Confiable y repetible. Se obtiene el mismo resultado sin importa qué se pruebe	
	Rastreable. Se sabe qué requisito se prueba	
Estructura y capacidad de prueba	Medible. Retorna al estado de la prueba sin valores en su estado	
	Tiene nombre y número	
	Tiene un propósito declarado que incluye qué requisito se está probando	
	Tiene una descripción del método de prueba	
	Especifica la información de configuración –entorno, datos, pre-requisitos de prueba, seguridad–	
	Tiene acciones y resultados esperados	
	Guarda el estado de las pruebas, como informes o capturas de pantalla	
	Mantiene el entorno de pruebas limpio	
	No supera los 15 pasos	
	La matriz no demora más de 20 minutos para probarse	
	El <i>script</i> automatizado tiene propósitos, entradas y resultados esperados	
Administración de la configuración	La configuración ofrece alternativas a los pre-requisitos de la prueba cuando es posible	
	El escenario de aplicación se relaciona con otras pruebas	
	Emplea convenciones de nomenclatura y numeración	
	Guarda en formatos especificados los tipos de archivo	
	Su versión coincide con el software bajo prueba	
	Incluye objetos de prueba necesarios para el caso, tales como bases de datos	
	Almacena con acceso controlado	
Realiza copias de seguridad en red		
	Archiva por fuera del sitio	

REFERENCIAS

1. Adams, E. (1984). Optimizing Preventive Service of Software Products. IBM Research Journal, Vol. 28, No. 1, pp. 2-14.
2. Dustin, E. (2003). Effective software testing: 50 Specific Ways to Improve Your Testing. New York: Addison-Wesley Professional.
3. Elaine, J. and Vocolos F. I. (2000). Experience with performance testing of software systems: Issues, approach and case study. IEEE transactions on software engineering, Vol. 26, No. 12, pp. 1147-1156.
4. Gibbs, W. W. (1994). Software's Chronic Crisis. Scientific American, No. 218, pp. 72-81.
5. Huang, Y., Jalote P. and Kintala C. (1994). Two Techniques for Transient Software Error Recovery. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 774, pp. 159-170.
6. IEEE Computer Society. (2008). IEEE Standard for Software and System Test Documentation. IEEE Standard 829, Section 3 "Definition", pp. 8.
7. IEEE Computer Society. (2008-1). IEEE Standard for Software and System Test Documentation. IEEE Standard 829, Section 10 "Level test design", pp. 50.
8. IEEE Computer Society. (2008-2). IEEE Standard for Software and System Test Documentation. IEEE Standard 829.
9. Jalote, P. (2002). Software project management in practice. Boston: Pearson Education.
10. Littlewood, B. and Strigini L. (1993). The Risks of Software. Scientific American, Vol. 268, No. 1, pp. 62-75.
11. Moller, K. and Paulish D. (1993). Software matrices: A practitioner guide to improve product development. London: Chapman and Hall.
12. Perry, W. (1995). Effective methods for software testing. New York: John Wiley.
13. Pressman, R. S. (2004). Software engineering: A practitioner approach. New York: Mc-Graw Hill International.

14. Roventa, E. and Spircu T. (2008). The central role of discrete mathematics in the context of information technology and communications. Fuzzy Information Processing Society, NAFIPS'08. Annual Meeting of the North American, pp. 1-5.
15. Voas, J. (1999). Software quality's eight greatest myths. IEEE Software, Vol. 16, No. 5, pp. 118 -120.
16. Watts S. H. (1995). A discipline for software engineering. USA: Addison-Wesley publishing Company.
17. Watts, S. H. (1989). Managing the Software Process. USA: Addison-Wesley Publishing Company.
18. Yongkui, S. and Guofeng S. (2009). Process control system of roof disaster based on PDCA cycle. 16th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, E&EM '09. Beijing, China, pp. 199-203.

Ω

CHALLENGES OF THE KNOWLEDGE SOCIETY

LOS RETOS DE LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Ana Cristina Figueredo, Patricia Anderson R.

Grupo Conocer, Uruguay.

Conocer@contractor.net

(Artículo de REFLEXIÓN) (Recibido el 12 de enero de 2010. Aprobado el 3 de abril de 2010)

Abstract – *Simply talk and spread the concept of "Knowledge Society" does not mean that one understands the background of this change. This article presents a different view of the traditional on the challenges that still are not discussed nor work on this new society.*

Keywords: *computing, electronics, Knowledge Society, privacy, social class.*

Resumen – El simple hecho de hablar y difundir el concepto de "Sociedad del Conocimiento" no quiere decir que se comprenda el trasfondo de este cambio. En este artículo se presenta una visión diferente de la tradicional acerca de los retos que todavía no se discuten ni trabajan de esta nueva sociedad.

Palabras clave: clase social, computación, electrónica, intimidad, Sociedad del Conocimiento.

INTRODUCCIÓN

"Revolución Microelectrónica", "Era de la Telemática", "Sociedad del Conocimiento"; por medio de estas consignas a fines de los años setenta y comienzos de los ochenta, se dio a conocer una de las más modernas tendencias de la sociología y futurología capitalistas. La sociología y la filosofía de la sociedad capitalista cifran en la Sociedad del Conocimiento las esperanzas de salir de la profunda crisis que sufre actualmente, y de superar las contradicciones inherentes a ella. La revolución técnica en la esfera de la electrónica se presenta como un testimonio de la "vitalidad del sistema", más aún, como panacea contra las posibles conmociones sociales. Pero, ¿qué significa esta nueva sociedad? Según afirman los teóricos capitalistas, "un nuevo tipo de orden social". ¿Una concepción abstracta con una super-tarea ideológica o una futura realidad?

DE LA SOCIEDAD INDUSTRIAL A LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

Daniel Bell fue uno de los sociólogos que mejor aprovechó las muy prometedoras posibilidades teóricas de la idea de la

Sociedad del Conocimiento (Bell, 1994). Para él, esta idea resultó como una salida de emergencia del atolladero en el que se encontraba el post-industrialismo. En su artículo "The Social Framework of the Information Society", Bell (1979) vincula la Sociedad del Conocimiento con la post-industrial. A su parecer, ambos tipos se caracterizan por un mismo rasgo: el tránsito de la sociedad productora de artículos a la sociedad de servicios. En su empeño por reforzar su tesis, describe los siguientes ejemplos: 1) En los años setenta, el 65% de la mano de obra de EE.UU. estaba ocupada en la esfera de los servicios, alrededor del 30%, en la industria y la construcción, y menos del 5%, en la agricultura. Durante las dos últimas décadas del siglo XX, subraya, el nivel de la ocupación creció en la "esfera de los servicios postindustriales", y esta tendencia, según afirma, se mantendrá en la Sociedad del Conocimiento. 2) Otro índice común para la sociedad post-industrial y la del conocimiento es, según Bell, el papel relativamente nuevo del conocimiento teórico que se convierte en un factor que determina la tendencia del desarrollo social. Cualquier sociedad, señala, funciona con base en los conocimientos, pero sólo en los últimos cincuenta años se nota una fusión orgánica de la ciencia y la ingeniería, lo que cambia el carácter de la misma tecnología que se une, de manera simbiótica, con la ciencia.

Utiliza esta conclusión, de por sí indiscutible, para suposiciones teóricas muy dudosas: cuando el conocimiento en su forma aplicada se incorpora, de manera sistemática, a la transformación de los recursos —a través de un invento o un proyecto social—, es éste y no el trabajo la fuente de la plusvalía. Un poco más de sofismas y el lector tiene, ni más ni menos, una nueva "teoría" del valor del conocimiento -a knowledge theory of value.

Con la reducción de la jornada laboral y la disminución del papel del obrero productor —que en la teoría marxista representa la fuente del valor— ...el conocimiento y su aplicación reemplaza el trabajo como fuente de la plusvalía en la renta nacional. En este sentido, la información y el conocimiento son las variables decisivas de la sociedad postindustrial, como lo eran el capital y el trabajo en la sociedad industrial (Bell, 1976).

En este caso, Bell procura, a su manera, interpretar el hecho irrefutable de que la ciencia se convierte en la fuerza productiva directa. Pero no menos obvio es que las ideas científicas, por sí solas, no producen nada; la ciencia, como institución social, no puede funcionar en ninguna sociedad sin la inversiones y el trabajo humano —intelectual y manual—; es decir, sin todo aquello que Bell proclama atributos de la pasada etapa industrial. Lo mismo pasa con la maquinaria; por sí misma no crea la plusvalía cuya fuente es el trabajo, plasmado en ella, por los científicos que la diseñaron, el trabajo de los ingenieros que materializaron sus ideas y el trabajo de los obreros que la manipulan (Crovi, 2004).

Según Bell, la "*tecnología intelectual*" moderna —teoría matemática de la información, cibernética y teoría de los juegos— permite tomar decisiones racionales en la situación indefinida propia de la sociedad actual. La formalización de la información social posibilita modelar en el computador las variantes alternativas de distintos procesos económicos, calcular sus consecuencias y escoger la solución óptima entre un sinnúmero de soluciones posibles. Al comprender, seguramente, lo idealista del cuadro pintado que dista mucho de la realidad, Bell hace una típica confesión:

[...] la cuestión es que no tenemos una teoría más o menos convincente que aclare los nexos internos de la sociedad, aunque, por paradójico que parezca, gracias a nuestra comprensión de la tecnología, percibimos mejor los cambios de la sociedad (Bell, 1976).

Aquí le falla la lógica. ¿Acaso se puede hablar de las tendencias del desarrollo social sin conocer las características sustanciales de una sociedad concreta? (Drucker, 1994).

En este caso resulta claro su menosprecio por la lógica. Según los pasajes citados, no existe realmente una sociedad post-industrial, sino

un cierto modelo abstracto, exento de los rasgos de un organismo social vivo. Esto procede del propio esquema histórico-sociológico creado por Bell, en el cual un elemento estructural es desplazado constantemente por otro: el capital y el trabajo por el conocimiento y la información; la sociedad productora de artículos por la sociedad de los servicios; la propiedad privada, como factor formador de estructuras en la sociedad capitalista, por la instrucción y la cualificación, etc. (Scardamalia and Bereiter, 1996). El desarrollo social no se produce sistemáticamente sino de manera lineal y por etapas, el cambio de un modo de producción no es un proceso histórico-natural, sino una sucesión mecánica de ciertas etapas, cada una de las cuales representa una suma de índices lineales variables (Bell, 1994).

Al esquema histórico-sociológico de Bell se suma la concepción de la Sociedad del Conocimiento de Toffler (1980). En su obra, en sentido teórico, repite por completo las suposiciones de Bell; las tres olas destacadas por Toffler en el desarrollo de la civilización humana no son sino sus etapas aisladas: preindustrial, industrial y post-industrial o del conocimiento.

Toffler, a diferencia de Bell, quien ve los indicios de la Sociedad del Conocimiento en la "*transformación radical de la organización social de la ciencia*" y en los más hondos cambios cualitativos de la tecnología, percibe el rasgo específico de esta sociedad en otros procesos y fenómenos. La nueva tecnología, señala, origina la complicación y el fraccionamiento de los afluentes informativos, y conduce a la desintegración del otrora único auditorio masivo (Gibbons et al., 1994). Más aún, se produce la desmasificación de la propia conciencia social, ya que los nuevos medios de audio-comunicación y video-comunicación, baratos, populares y fáciles de manejar, permiten a los consumidores componer a su propio gusto la "*minuta cultural*".

El proceso de la desmasificación aumenta en gran escala el volumen de la información que intercambia la gente, y justamente esto, según Toffler, explica las causas de la formación de la Sociedad del Conocimiento, ya que mientras más grande sea la diferenciación social, más diversos serán los

medios técnicos y las formas de la producción, así como tanto más grande será la cantidad de la información que deberá circular entre distintos grupos sociales. En caso contrario, sobre todo en condiciones de rápidos cambios sociales, se producirá la descomposición de la sociedad y su desintegración.

De esta manera, la transformación de la Sociedad Industrial en Sociedad del Conocimiento, supone cierta obligatoriedad, cierta necesidad social (Carnoy, 1998). Estos razonamientos, sin embargo, no aclaran qué es la Sociedad del Conocimiento en concreto y en qué se diferencia de la Sociedad Industrial.

OPTIMISMO FUTUROLÓGICO O UTOPIA DE COMPUTADORES

En la literatura, al lado de las concepciones meramente teóricas de la Sociedad del Conocimiento, se vislumbra, además, otra tendencia muy pragmática, que se caracteriza por un enfoque práctico y concreto del uso de la tecnología informática como medio para crear "*nuevas estructuras sociales*"; tendencia que se forma bajo una fuerte influencia de la intelectualidad tecnocientífica (Carnoy, 1998). A medida que se manifestaba el enorme potencial de la informática, los representantes de las profesiones técnicas vinculados directamente a las investigaciones y prospecciones de perspectiva en esta esfera, apelaban cada vez más a sus aspectos sociales, tratando no sólo de formular su propia manera de interpretar la "*Revolución Informática*", sino también de presentar proyectos sociales concretos basados en las posibilidades reales de la tecnología (Castells, 1998).

En el marco de esta tendencia, la concepción de la Sociedad del Conocimiento amplía y detalla sustancialmente su problemática, mientras que la elaboración de un número creciente de proyectos argumentados sobre el uso de la tecnología informática provoca una progresiva desvinculación entre el esquema sociológico general y la realidad (Held et al., 1999). Debido a que la sociología contemporánea carece de una metodología universal de investigaciones sociales, los teóricos de la Sociedad del Conocimiento —ante todo los llamados "*técnicos*"—, para poder comprender, por el camino más corto, la influencia de la

informática en el desarrollo social, emplean inevitablemente los métodos del determinismo tecnológico. Los esquemas heurísticos de estos trabajos resultan muy elementales, y son, por regla general, la agrupación de los problemas por parejas; por ejemplo, "*televisión y vida cotidiana*", "*computador y política*", "*información y democracia*", aunque algunos aspectos tengan vínculos muy pequeños o no los tengan en absoluto (Cairncross, 1997).

Como resultado de ello, el análisis se limita sólo a la perspectiva tecnológica. Más aún, se pierde el carácter integral de la misma tecnología y los estímulos de su desarrollo, que emanan de diferentes esferas de la sociedad. Estos vicios metodológicos se manifiestan aún más en las suposiciones futuroológicas, ya que la fórmula básica que utilizan los teóricos de la Sociedad del Conocimiento, al investigar el futuro, es muy sencilla: "*la tecnología es el futuro en general*". Y, de esta manera se enfoca a la mayoría de los trabajos.

Es muy natural que, salvo raras excepciones, las investigaciones carezcan de tentativa alguna de efectuar pronósticos a corto, mediano o largo plazo más o menos serios, sin lo cual no se puede percibir la dinámica tanto de los procesos sociales como de los tecnocientíficos propiamente dichos. Y esto, desde luego, no se debe solamente al vicio metodológico de esta concepción, sino también a la actitud ideológica consciente que permite a los sociólogos conservar su optimismo futuroológico, a pesar de las tendencias actuales del desarrollo de la sociedad y del crecimiento de su inestabilidad económica y socio-política (Cowan et al., 2000).

No obstante, al interpretar las consecuencias sociopolíticas de la Revolución Microelectrónica para la sociedad, la desvinculación entre la teoría y la realidad se convierte en una contradicción inaudita. Al respecto, el sociólogo norteamericano Moore escribe:

La creciente cantidad de las horas laborales será inyectada en la democracia con ayuda de la maquinaria electromecánica, cuyo valor disminuye de año en año mientras que su eficiencia aumenta, y que puede funcionar 24 horas diarias los 365 días del año, sin huelgas y sin esquivar el trabajo, sin exigir leyes sobre el

salario y pensión mínimos, sin exigir duchas para después del trabajo. A medida que los robots vayan asumiendo cada vez más funciones de producción, el descenso de la productividad del trabajo del obrero norteamericano ya no tendrá ninguna importancia. El capital tendrá por primera vez la posibilidad de ser generoso con la clase obrera sin causarse daño alguno a sí mismo. Surgirán miríadas de nuevas ramas de producción en torno a miles de millones de horas de ocio accesibles para todos los ciudadanos de Norteamérica, la sociedad se convertirá paulatinamente en una democracia esclavista, como la de Atenas, donde la aristocracia será atendida por millones de robots electromecánicos con cerebro de silicio y memoria electrónica (Moore, 1981).

Cualquiera de estas frases podría servir de trama para novelas de ciencia ficción; parece una "*utopía de computadores*". El desmedido optimismo de Moore que le permite imaginarse lo imposible —el cuadro del bienestar social de la sociedad, que se liberó felizmente de todos los antagonismos y entró en la etapa de la democracia ilimitada— es, por supuesto, no sólo un ejemplo de una manera muy simplificada y tendenciosa de enfocar la influencia de la Revolución Microelectrónica en la esfera socio-política de la vida de la sociedad futura, sino también una especie de apología basada en la idea de las reservas infinitas del capitalismo.

Los sociólogos consideran que todo en absoluto cambia con el surgimiento y la gran difusión de la nueva tecnología informática que permite efectuar contactos bilaterales y multilaterales, dinamizar los nexos políticos y aumentar la responsabilidad de la dirección política (Lytras and Sicilia, 2005).

Se cifran grandes esperanzas en el descubrimiento de sistemas tecnológicos que unifiquen la televisión, la comunicación interactiva y los computadores. Esta simbiosis, según Martin, puede ser utilizada con éxito para organizar la televisión "respondiente", por medio de la cual se efectuarían "*referéndums momentáneos*" tanto a escala local como nacional. Tal sistema le permitiría, por ejemplo, al comentarista de televisión saber en unos segundos la opinión de los televidentes sobre el último discurso de un presidente, o al presidente, cuando haga uso de la palabra,

dirigirse a la nación con una pregunta y recibir la respuesta de inmediato.

Hemos atravesado períodos de violencia social, de caos en las universidades y estallidos de desórdenes en las ciudades. La televisión respondiente podría hacer estos estallidos menos probables, brindando a la gente un modo no violento de expresar su desacuerdo, y a las autoridades, un medio para medirlo... (Martin, 1978).

Sobra hablar de la ingenuidad política, como mínimo, de tales ideas. Lo que es obvio es que las manipulaciones de la conciencia de la población por medio de la televisión no son capaces de eliminar y ni siquiera aliviar el creciente antagonismo entre el trabajo y el capital, entre un puñado de organizaciones monopolistas y la mayoría de la población de EE.UU. (Hoogvelt, 1997).

Requiere una atención más seria el problema de la vinculación entre la televisión respondiente y otros sistemas interactivos de tele-computadores, y la posibilidad de medir el grado de lealtad política de los ciudadanos, así como la recopilación de distinta información sobre ellos. Como experto en informática, Martin percata del peligro que representa el abuso de esta tecnología, pero no llega a comprender el sentido social del problema. Para él, la cuestión consiste en la necesidad de prevenir las intromisiones en la "*esfera privada de la vida*", el sanctasanctórum de la democracia (Poulantzas, 2001). En la sociedad norteamericana de hoy, dice, se produce una acumulación sistemática de información sobre los individuos: situación financiera y jurídica de cada uno, nivel educacional, estado de salud, publicaciones a que se suscribe, libros que lee, etc. Sin embargo, no es obligatorio, aclara, que alguien "*meta sus narices*" en los asuntos personales de uno, ya que la acumulación de información de carácter personal es producto indirecto del mecanismo social contemporáneo; es resultado de que se conserven los numerosos "*rastros informativos*" que deja un individuo en los documentos de distintos organismos e instituciones. El almacenamiento de esta información en los computadores abre la perspectiva de que se centralice en los organismos que controlan la sociedad (David, 1990).

El autor no exagera, ni mucho menos, el tamaño de tal peligro. En 1971, la Comisión del Senado descubrió que la Secretaría de Defensa de EE.UU. disponía de 25 millones de expedientes de los elementos "*subversivos*" y "*potencialmente subversivos*" —la sexta parte de la población del país— y 760 mil expedientes de distintas organizaciones sociales. Diariamente se operaban allí 12 mil solicitudes y se introducían 20 mil adiciones y modificaciones de los datos recopilados. Por decisión del tribunal este banco fue eliminado, pero dos años después en la prensa norteamericana se comunicó que todo el material informativo de ese banco había sido retransmitido a otro computador (Schiller, 1999). A la luz de estos hechos y tendencias, ¿caso se puede pensar en serio en la transformación de la sociedad norteamericana en una "*democracia ateniense*"? Hay más razones para hablar de la perspectiva de que se convierta en un "*estado policiaco*" o en una "*sociedad controlada*" (Wellman, 1999).

LA MAQUINARIA NECESARIA Y LA GENTE INNECESARIA

La probabilidad de que el individuo se convierta en objeto de control no es el único peligro que amenaza a la Sociedad del Conocimiento, y que subestiman los ideólogos, sociólogos y psicólogos. La implantación a gran escala de la automática y tecnología informática integrales entusiasma a estos profesionales, por ver en ello un medio para aumentar, en un futuro próximo, las horas de ocio. Pero el efecto que ya se observa es la desocupación forzosa de millones de trabajadores que han perdido el trabajo a causa de la "*racionalización*" del capitalismo (David, 1998).

Aun así, no se puede decir que los teóricos de la Sociedad del Conocimiento pasen por alto el problema de la ocupación. Aunque se esté totalmente alejado de la realidad, es difícil soslayar el problema de lo que se va a hacer con la gente desplazada por los robots y los otros "*milagros*" de la electrónica. Puesto que la existencia del desempleo no "*se ajusta*" a la optimista tonalidad general de la concepción, sus adeptos se limitan a unas frases vagas al respecto, o presentan distintos proyectos para el uso de la fuerza laboral liberada en la esfera de los servicios y en la industria electrónica que se amplía rápidamente. Pero al tomar como base los

hechos reales que caracterizan la actual situación socio-económica en el mundo, no hay motivos para semejante optimismo (David, 2000).

Los sociólogos proyectan sobre el futuro la tendencia propia de un pasado próximo sin tener en cuenta, por lo menos, tres circunstancias: 1) en la economía capitalista actual es imposible efectuar un traslado mecánico de la fuerza laboral de una rama a otra, como consecuencia de la gran transformación de la estructura de la ocupación, la desaparición de las profesiones "*viejas*" y el surgimiento de nuevas que suponen una preparación general y especial muy diferente; 2) el desarrollo de la esfera de los servicios requiere un nivel correspondiente de poder adquisitivo de la población y de la demanda de servicios, por lo que surge una contradicción, probablemente irresoluble a escala de toda la sociedad, entre la oferta siempre en aumento de servicios muy diversos —comprendidos algunos de los que se exponen en los trabajos sobre la Sociedad del Conocimiento— y el decrecimiento del poder adquisitivo y la motivación consumidora, de un conglomerado cada vez mayor de la población, afectado por las desfavorables consecuencias de la revolución electrónica; 3) mientras la automatización integral de la producción en el sector privado tiene estímulos internos de desarrollo y fuentes de financiamiento —los descuentos de la ganancia—, la ampliación de la esfera de servicios sociales necesita un aumento del financiamiento por parte del Estado. Pero lo que está ocurriendo en la realidad es exactamente lo opuesto: en todos los países se está produciendo una fuerte reducción de los recursos para las necesidades sociales (Cowan et al., 2000).

La incapacidad de la esfera de los servicios de compensar la reducción de los puestos de trabajo en la industria es el resultado de la actuación de todos esos factores. Más aún, según considera la mayoría de los expertos, la informatización que se produce en esta esfera —la implantación del correo electrónico, la oficina sin papeles, los mini y microcomputadores—, conduce a que esta misma esfera se vaya convirtiendo cada vez más en la suministradora de la "*gente sobrante*". Tampoco son fundadas las esperanzas de que se puedan atenuar las

consecuencias de la Revolución Electrónica a expensas de la ampliación de la ocupación en la esfera de los servicios y la industria electrónica, que crece rápidamente. Según datos oficiales, la industria electrónica de USA creó en diez años, de 1977 a 1987, un millón quinientos mil puestos de trabajo, que se sumaron a un millón de puestos ya existentes; pero esto no significó un crecimiento de la ocupación general, sino una compensación parcial de su disminución a consecuencia de la difusión de equipos micro-electrónicos (von Hippel, 1998).

¿Cuál es el futuro de la sociedad a la luz de estas tendencias? Obviamente, la sucesiva agudización de todas sus contradicciones y una inestabilidad creciente. Todos los problemas de la Sociedad del Conocimiento están vinculados, de una u otra manera, a la misma pregunta, ¿es capaz el Estado de regular mediante normas jurídicas la creciente tensión socioeconómica y política? El problema general que se discute frecuentemente a la luz de la informatización de la sociedad consiste en lo siguiente: ¿es necesaria la intervención del Estado en el desarrollo de la informática, y, en caso positivo, en qué cuestiones? En su empeño de igualar conceptos como democratización, descentralización y desreglamentación, los teóricos de esta sociedad tienden a negar la necesidad de que el Estado regule la "info-esfera", haciendo caso omiso de que en la lógica general de esta concepción surgen nuevas contradicciones, y que ésta se hace cada vez más utópica (Osborne, 2004).

Teóricamente, sólo el Estado puede estimular y financiar el desarrollo de la mayoría de los servicios informativos publicitados por los ideólogos, asegurar la preparación y la redistribución de la mano de obra a nivel de toda la economía y establecer estándares culturales más o menos altos para

la televisión social por cable. No obstante, en realidad el estado ha resultado incapaz de regular eficientemente los procesos socioeconómicos, incluso en aquellas esferas donde el mecanismo de semejante regulación existía desde hace mucho. La crisis del sistema de la gestión estatal-monopolista de la sociedad no deja a los ideólogos ninguna esperanza, ni la más débil, para la "transformación paulatina" de las estructuras sociales, la "revolución silenciosa" sin choques duros ni enfrentamientos de clases (Rogoff, 1990).

CONCLUSIONES

A medida que se ahonda en la crisis de la sociedad capitalista, los ideólogos cifran, con mayor frecuencia, sus esperanzas en una solución milagrosa, sin conflictos, de las contradicciones económicas y sociales del sistema actual, gracias a los últimos logros de la revolución científico-técnica. Hacen de los logros de la ciencia y la técnica el objeto de especulaciones ideológicas, tratan de inculcar en la sociedad la idea de las reservas infinitas del capitalismo, como sistema social, y una perspectiva histórica favorable. Al prometer un paraíso en la sociedad tecnocrata, electrónica, informativa del conocimiento y de otros tipos, lo que realmente proponen a las personas es conformarse con la realidad existente en aras de un futuro idílico. A la vez, se dejan aparte las consecuencias sociales de la automatización, cibernización e informatización en los países. Entretanto, a medida que se desarrolla la revolución científico-técnica, se hace evidente la incapacidad del capitalismo de manejar sus consecuencias sociales, en particular el desempleo. De esta manera, se pone de manifiesto y se comprueba la inconsistencia de las distintas teorías tecnócratas de los ideólogos, entre ellas la concepción de la "Sociedad del Conocimiento".

REFERENCIAS

1. Bell, D. (1976). *The Coming of Post-Industrial Society: A Venture in Social Forecasting*. USA: Basic Books.
2. Bell, D. (1979). *The Social Framework of the Information Society*. M. L. Dertozos and J. Moses (Eds.), *The Computer Age: A 20 Year View*. Cambridge: MIT Press, pp. 500-549.
3. Bell, D. (1994). *El advenimiento de la sociedad post-industrial*. Mexico: Ed. Alianza.
4. Cairncross, F. (1997). *The Death of Distance: How the Communications Revolution Will Change Our Lives*. Boston: Harvard Business School Press.

5. Carnoy, M. (1998). The globalization of innovation, nationalist competition, and the internationalization of scientific training. *Competition and Change*, Vol. 3, No. 2, pp. 237-262.
6. Carnoy, M. (2000). *Sustaining the new economy: work, family, and community in the Information Age*. Cambridge: Harvard University Press
7. Castells, M. (1998). *End of millennium*. Oxford: Blackwell.
8. Cowan, R., David P. A. and Foray, D. (2000). The Explicit Economics of Knowledge Codification and Tacitness. *Industrial and Corporate Change*, Vol. 9, No. 2, pp. 211-253.
9. Crovi, D. (2004). *Sociedad de la Información y el Conocimiento: Entre lo falaz y lo posible*. Buenos Aires: Mc Graw Hill.
10. David, P. A. (1990). The Dynamo and the Computer: An Historical Perspective on the Modern Productivity Paradox. *American Economic Review*, Vol. 80, No. 2, pp. 355-361.
11. David, P. A. (1998). Common Agency Contracting and the Emergence of “Open Science” Institutions. *American Economic Review*, Vol. 88, No. 2, pp. 15-21.
12. David, P. A., (2000). Understanding Digital Technology’s Evolution and the Path of Measured Productivity Growth: Present and Future in the Mirror of the Past. E. Brynolfsson and B. Kahin (Eds.), *Understanding the Digital Economy*. Cambridge: MIT Press, pp. 49-95.
13. Drucker, P. F. (1994). *Post-Capitalist Society*. New York: Harper Paperbacks.
14. Gibbons, M., Limoges C., Nowotny H., Schwartzman S., Scott P. and Trow M. (1994). *The New Production of Knowledge: The Dynamics of Science and Research in Contemporary Societies*. London: Sage Publications.
15. Held, D., McGrew A., Goldblatt, D. and Perraton, J. (1999). *Global transformations*. Stanford: Stanford University Press.
16. Hoogvelt, A. (1997). *Globalization and the postcolonial state*. Basingstoke: Macmillan.
17. Lytras, M. D. and Sicilia M. A. (2005). The Knowledge Society: a manifesto for knowledge and learning. *International Journal of Knowledge and Learning*, Vol. 1, No. 1-2, pp. 1-11.
18. Martin, J. (1978). *The Wired Society: A challenge for tomorrow*. New Jersey: Prentice Hall.
19. Moore, D. T. (1981). Will Robots Save Democracy? *Journal of Epsilon Pi Tau*, Vol.7, No. 2, pp. 2-7.
20. Osborne, T (2004). On mediators: Intellectuals and the ideas trade in the knowledge society. *Economy and Society*, Vol. 33, No. 4, pp. 430-447.
21. Poulantzas, N. (2001). *State, power, socialism*. London: Verso.
22. Rogoff, B. (1990). *Apprenticeship in thinking: cognitive development in social contexts*. New York: Oxford University Press.
23. Scardamalia, M. and Bereiter, C. (1996). Engaging Students in a Knowledge Society. *Educational Leadership*, Vol. 54, No. 3, pp. 6-10.
24. Schiller, D. (1999). *Digital capitalism: Networking the Global Market System*. Cambridge: MIT Press.
25. Toffler, A. (1980). *The Third Wave*. New York: Bantam.
26. von Hippel, E. (1988). *The Sources of Innovation*. USA: Oxford University Press. 323 p.
27. Wellman, B. (1999). *Networks in the global village: Life In Contemporary Communities*. Colorado: Westview Press.



ELECTROMAGNETIC MODELING OF ELECTRIC RAILWAY SYSTEMS TO STUDY ITS COMPATIBILITY

MODELAMIENTO ELECTROMAGNÉTICO DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS FERROVIARIOS PARA ESTUDIAR SU COMPATIBILIDAD

Patrick Journey M., Jeremy Steel O., Kilena Forte B.

The Elect group, UK.
electgroup@london.com

(Artículo de INVESTIGACIÓN) (Recibido 14 de febrero de 2010. Aprobado 10 de mayo de 2010)

Abstract – *This article describes a technique for determining the longitudinal and transverse electromagnetic parameters of the rails of a railroad. The technique is based on measurements of differential mode and in the theory of transmission lines. The results have been used to validate a mathematical model for electromagnetic compatibility studies, and in particular, for the design and optimization of electromagnetic devices signaling. The model describes with sufficient precision the behavior of longitudinal parameters -inductance and resistance- to change the frequency. The cross parameters - capacity and conductance- heavily dependent on ground conditions, and can not be represented accurately by a purely electromagnetic model*

Keywords: *electromagnetic compatibility, railway tracks, transmission lines.*

Resumen – En este artículo se describe una técnica para determinar los parámetros electromagnéticos longitudinales y transversales de los rieles de una vía férrea. La técnica está basada en medidas de modo diferencial, así como en la teoría de las líneas de transmisión. Los resultados han sido utilizados para validar un modelo matemático para estudios de compatibilidad electromagnética y, en particular, para el diseño y la optimización de dispositivos electromagnéticos de señalización. El modelo describe con precisión suficiente los comportamientos de los parámetros longitudinales -resistencia e inductancia- al variar la frecuencia. Los parámetros transversales -capacidad y conductancia- dependen fuertemente de las condiciones del terreno, y no pueden ser representados con precisión por un modelo meramente electromagnético.

Palabras clave: compatibilidad electromagnética, líneas de transmisión, rieles.

INTRODUCCIÓN

Construir y montar trenes de alta velocidad es una de las áreas en las que están más interesados los países que cuentan con las características geográficas para hacerlo:

Francia con el TGV, Italia con el Pendolino, España con el AVE, son algunos ejemplos. A la vez que se ejecutan proyectos de implementación, los dispositivos eléctricos necesarios para la tracción y los sistemas para la señalización han incrementado su sofisticación.

Para suplir estos requerimientos, frecuentemente se recurre a la utilización de electrónica de potencia, lo que origina que las corrientes y tensiones incrementen su contenido armónico, lo que, a su vez, genera problemas de incompatibilidad electromagnética entre las partes constitutivas de los sistemas eléctricos ferroviarios. En relación con otros sectores de transporte, como el aeronáutico, en el ferroviario, hasta el momento, se ha hecho poca investigación acerca de esta temática, pero cada vez se nota un mayor interés de la comunidad por aportar a la solución de este problema (Kadhim et al., 1995) (CENELEC, 1996) (Yazdi et al., 1998) (Bialon and Kazimierczak, 1999). Con estos aportes es posible tener claridad acerca del ambiente electromagnético ferroviario, que es necesario para el diseño y optimización de los dispositivos eléctricos y electrónicos.

El circuito de potencia de los sistemas eléctricos ferroviarios lo constituyen las subestaciones, el motor y el funcionamiento del tren, lo mismo que las líneas de contacto y los mismos rieles; infraestructura que también comparte el sistema de señalización. Para un adecuado funcionamiento, el sistema necesita mantener interconectadas sus partes entre sí y con otros sistemas, para lo que se utilizan acoples inductivos y capacitivos, además de que el sistema genera emisiones de radiofrecuencia (Marvin et al., 2002). Son estas características las que justifican esta investigación, dada la importancia de

desarrollar un modelo de la estructura electromagnética de los sistemas eléctricos ferroviarios que permita comprender adecuadamente los fenómenos de incompatibilidad electromagnética.

Contar con un modelo preciso del subsistema de los rieles es necesario para el diseño de circuitos de señalización con audiofrecuencia (Fisher, 1987) (Bergiel and Solarek, 1999) (Rokita, 1999). Estos circuitos se utilizan para indicar la posición del tren a lo largo de la vía ferroviaria, y deben funcionar bajo cualquier condición operativa; para poder diseñarlos adecuadamente es importante conocer el grado en que los parámetros electromagnéticos de los rieles dependen de la frecuencia.

La estructura de los rieles está constituida por dos conductores ferro-magnéticos conectados a tierra, con la función de ser una línea multi-conductora pero con parámetros distribuidos; además, a diferencia de las líneas aéreas, los rieles son no lineales y tienen parámetros variables. Esta característica se debe a la presencia del hierro —saturación e histéresis—, y a su forma geométrica, que genera una distribución no uniforme de corriente. La tierra, como conductor de menor resistencia, origina incertidumbre y variabilidad de los parámetros eléctricos, por lo que se afectan los valores constantes de dieléctrica y resistividad, a la vez que los de capacitancia y conductancia transversales entre los rieles. Dichas propiedades varían en función de parámetros no eléctricos, como la humedad, pero principalmente de uno eléctrico: la frecuencia (Scott, 1967) (Solymer and Walsh, 1993).

En el presente artículo, en función de la frecuencia y de las condiciones climáticas, se analiza cómo determinar los parámetros eléctricos longitudinales y transversales por unidad de longitud de los rieles; además, los resultados se utilizan para validar un modelo matemático con parámetros distribuidos de los rieles.

TRABAJO RELACIONADO

Varias técnicas para modelar rieles ferroviarios e identificar sus parámetros electromagnéticos se han investigado en los últimos años. Tradicionalmente se modelan como un circuito equivalente de parámetros

concentrados; modelo que se ha utilizado por años para diseñar sistemas de señalización (Perticaroli, 1993), pero, dada su simpleza, no es adecuado para diseñar adecuadamente un sistema de audiofrecuencia.

Los investigadores se han interesado en el problema de identificar esos parámetros, y han usado el método que tiene a los campos electromagnéticos como base; utilizan el método de los elementos finitos para calcular la distribución de los campos eléctrico y magnético a lo largo y entre los rieles, proceso con el que obtienen los parámetros electromagnéticos (Hill et al., 1999, 1999-1, 2000). Es un método preciso que permite describir exactamente la geometría de los rieles. Pero, aunque su eficiencia está demostrada, introducir datos confiables para las propiedades eléctricas de los materiales continúa siendo un problema.

Otros investigadores utilizan los métodos basados en la teoría de las líneas para afrontar el problema, y desarrollan modelos de complejidad variable (Sollerkvist and Varjú, 1999) (Sollerkvist et al., 2000). Sin embargo, lo que realmente se requiere es el desarrollo de modelos en los que sea posible medir fácilmente los parámetros para su validación (Szelag, 1999).

METODOLOGÍA

El objetivo de la presente investigación es presentar un método semi-analítico que, con base en la teoría de las líneas de transmisión, permita determinar los parámetros de los rieles a partir del conocimiento de cantidades fácilmente medibles: impedancias en corto circuito y en circuito abierto.

Este sistema lo constituyen dos conductores normales y un conductor de regreso conectado a tierra. El modelo, estructurado a partir de la teoría de las líneas de transmisión (Yazdi et al., 1998), se describe con las siguientes fórmulas:

$$\frac{d[V]}{dx} = [Z][I]$$

$$\frac{d[I]}{dx} = -[Y][V]$$

En las que [V] e [I] son vectores que contienen respectivamente los valores de la resistencia de fase y las corrientes; y [Z] y

[Y] son las matrices de impedancias y admitancias por unidad de longitud.

El mayor problema de este método es la medición de los elementos de las matrices. Proceso que se complica debido a que no se tiene acceso al conductor de regreso, por lo que no es posible realizar las medidas de modo común. Como alternativa se realizaron las medidas de modo diferencial, particularmente una en circuito abierto y otra en cortocircuito, de tal forma que es posible medir la impedancia de línea de ambos rieles. Cuando se trata de parámetros distribuidos –Figura 1– la impedancia resultante es función de las condiciones iniciales de la línea, más sus condiciones de frontera finales:

$$Z_{loop} = \frac{V_1(0) - V_2(0)}{I(0)}$$

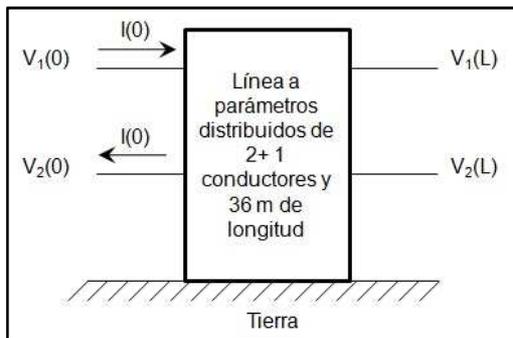


Figura 1. Circuito de parámetros distribuidos de los rieles

Para esta investigación se utilizó un enfoque experimental basado en medidas de impedancias en circuito abierto $-Z_{ca}$, y cortocircuito $-Z_{cc}$, con el consecuente cálculo de parámetros eléctricos. Los demás valores, resistencia longitudinal R , inductancia longitudinales L , capacitancia C y conductancia transversales G , se calculan desde los datos de Z_{ca} y Z_{cc} , la constante de propagación γ , y la impedancia característica de línea Z_0 .

Se definen:

$$\sqrt{ZY} = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta$$

$$Z_0 = \frac{R + j\omega L}{\alpha + j\beta} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

En la que:

$$Z = R + j\omega L$$

$$Y = G + j\omega C$$

Aplicando la teoría de las líneas:

$$Z_0 = \sqrt{Z_{ca} Z_{cc}}$$

$$\tanh(\gamma l) = \sqrt{\frac{Z_{sc}}{Z_{oc}}}$$

Con la igualdad trigonométrica:

$$\tanh(\gamma l) = \frac{\tanh(\alpha l) + j \tan(\beta l)}{1 + j \tanh(\alpha l) \tan(\beta l)} = p + jq$$

Se resuelve respecto a α y β :

$$\alpha = \frac{1}{2l} \arctan h \left(\frac{2p}{1 + p^2 + q^2} \right)$$

$$\beta = \frac{1}{2l} \left(\arctan \left(\frac{2q}{1 - p^2 - q^2} \right) + n\pi \right)$$

Ahora los parámetros eléctricos:

$$R = \text{Re}(\gamma Z_0)$$

$$L = \text{Im}((\gamma Z_0)/\omega)$$

$$C = \text{im}((\gamma/Z_0)/\omega)$$

$$G = \text{Re}(\gamma/Z_0)$$

Con estas ecuaciones es posible determinar los parámetros de los rieles luego de conocer la constante de propagación y la impedancia característica de la línea, pero este método es preciso sólo para frecuencias menores a la resonancia de la línea, ya que cuando se acercan a ella, los valores Z_{ca} y Z_{cc} son parecidos, lo que causa imprecisión en las medidas.

RESULTADOS

Las medidas necesarias para la realización de la investigación se efectuaron sobre rieles experimentales de 36 m de largo soportados sobre travesaños de madera, y bajo diversas condiciones climáticas, con el objetivo de evaluar la influencia climática en los resultados.

Las tensiones y corrientes se midieron en circuito abierto y en corto circuito, y se calcularon Z_{ca} y Z_{cc} . Los rieles se alimentaron con una tensión sinodal de entre 1 Hz y 25 kHz, y las señales se capturaron en un osciloscopio digital. Para las medidas en cortocircuito se empleó un sensor de efecto Hall y para las de circuito abierto un resistor de medida. Las señales capturadas se transfirieron a un computador para procesarlos y obtener los datos para R , L , C , y G .

Al analizar los resultados que muestra la Figura 2 se observa que R aumenta en proporción a la frecuencia, con una pendiente inicial igual a la que proporciona el modelo de conductor cilíndrico con efecto piel, es decir, proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia. Luego de 2 kHz la pendiente aumenta, y la resistencia también aumenta, de forma proporcional a la frecuencia, debido a que la forma de los rieles causa una distribución no uniforme de la corriente en su interior.

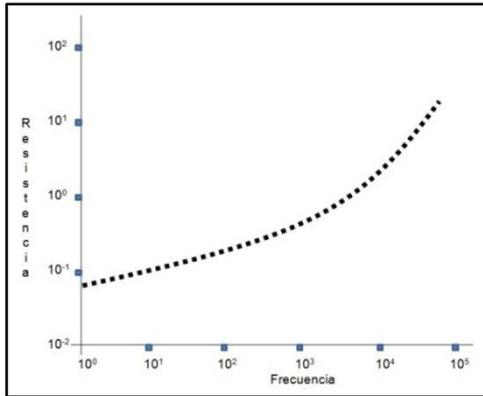


Figura 2. Frecuencia vs. Resistencia

A causa del efecto piel, la inductancia L baja con la frecuencia –Figura 3. Esto se debe a la manera cómo están distribuidos los parámetros, por lo que formalmente lo que se ha logrado medir es la parte imaginaria de una reactancia dividida por una pulsación. Otro dato colectado del experimento es que las condiciones climáticas no influyen significativamente en los parámetros R y L, como tal vez se esperaba.

Se encontró además que las condiciones del terreno tienen un efecto significativo en los parámetros capacitancia y conductancia. La capacitancia C baja con la frecuencia y al incrementar la humedad se incrementa, tal como se observa en la Figura 4.

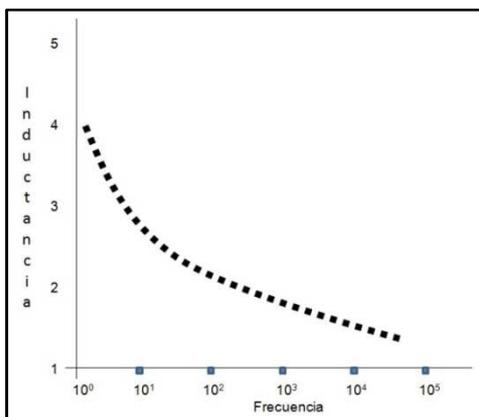


Figura 3. Frecuencia vs. Inductancia

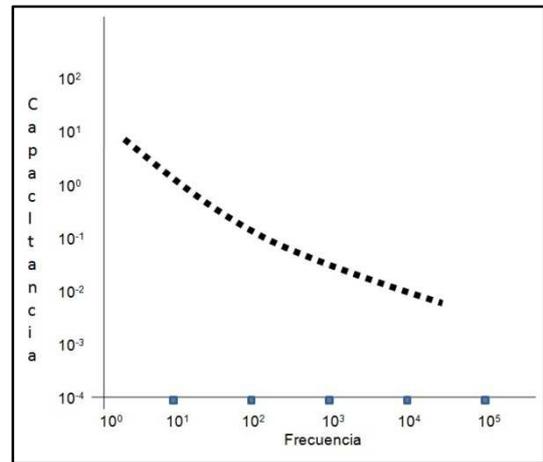


Figura 4. Frecuencia vs. Capacitancia

Al variar la frecuencia, la conductancia G no altera su comportamiento, pero su valor sube cuando el terreno es húmedo. No es posible obtener medidas repetibles para estos parámetros, ya que la constante dieléctrica y la resistividad del suelo son dependientes de la humedad, por lo que son muy variables.

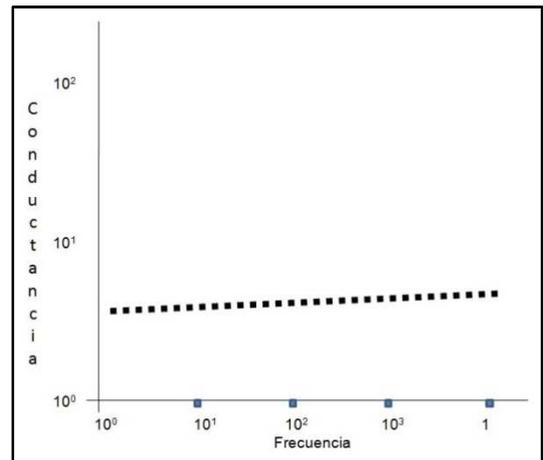


Figura 5. Frecuencia vs. Conductancia

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A las medidas de las impedancias en circuito abierto y en corto circuito obtenidas en la experimentación, con las ecuaciones $R = \text{Re}(\gamma Z_0)$ y $G = \text{Re}(\gamma / Z_0)$, se les hizo comparación en un modelo matemático de parámetros distribuidos para rieles basado en las ecuaciones de Carson (1994), que describen las líneas de transmisión en presencia de diferentes medios, en el presente caso, el hierro y la tierra. En el modelo, los rieles se reemplazaron por conductores cilíndricos de área equivalente, y los datos de entrada fueron: longitud, distancia entre rieles, distancia ideal a la tierra, entre otras, además de las propiedades eléctricas y magnéticas de los materiales utilizados.

La comparación se efectuó con R y L. Para realizar una comparación sencilla entre los parámetros transversales sería necesaria una modelación más sofisticada de la constante dieléctrica y resistividad del terreno. Además, se hizo un estudio de sensibilidad a través de la variación del valor de la permeabilidad relativa de los rieles entre 1 y 200, y de la resistividad entre $10^{-7} \Omega\text{m}$ hasta $2 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$.

Se encontró que el modelo no fue capaz de mostrar el cambio de pendiente en el comportamiento de la resistencia R, porque el efecto piel no es uniforme. Para el comportamiento a bajas frecuencias, un valor de $\mu_r=10$ se aproxima mejor, mientras que uno de $\mu_r=100$ se acerca mejor a las mayores. Con relación a L, $\mu_r=10$ se aproxima mejor al comportamiento medido. Se observa que a los resultados simulados de L convergen los medidos cuando aumenta la frecuencia. También en el modelo, el valor de la resistividad influye en la frecuencia a la que comienza el efecto piel, y describe bien el cambio de pendiente de L, porque las distribuciones de los parámetros en las frecuencias son más altas.

CONCLUSIONES

- En esta investigación se abordó el problema de determinar los parámetros electromagnéticos de los rieles de los ferrocarriles. Su objetivo fue modelar electromagnéticamente los sistemas eléctricos ferroviarios para estudiar su compatibilidad electromagnética. Los resultados son de interés para diseñar y

optimizar dispositivos electromagnéticos ferroviarios, en especial los sistemas de señalización en audiofrecuencia.

- Se describe un proceso experimental con base en la teoría de las líneas de transmisión para determinar los parámetros por unidad de longitud de los rieles, mediante medidas de impedancia en corto circuito y en circuito abierto, y su utilización para validar un modelo de rieles con parámetros distribuidos.
- En el modelo, los rieles se sustituyeron por conductores cilíndricos de área equivalente, lo que no permitió describir el efecto piel no uniforme. El modelo también describe con precisión, para el diseño, el comportamiento de los parámetros longitudinales cuando varía la frecuencia. No obstante, carece de precisión para describir los parámetros transversales, para lo que sería necesario introducir modelos de constante dieléctrica y resistividad del suelo, dependientes de la frecuencia. Además, es necesario tener en cuenta la dependencia de la humedad del terreno y de otras variables no eléctricas, en un modelo adecuado o a partir de correlaciones experimentales.
- Quedan planteadas investigaciones para analizar la validez del modelo, al trabajar con frecuencias superiores a 25 kHz, y con corrientes mayores, que lleven el hierro a la saturación.

REFERENCIAS

1. Bergiel, K. and Solarek T. (1999). Influence of Track Parameters on Operational Conditions of Separation of Coded Track Circuits. Fourth International Conference on Drives and Supply Systems for Modern Electric Traction in Integrated XXI Century Europe. Varsovia, Poland, pp. 56-63.
2. Bialon, A. and Kazimierczak A. (1999). High Power Locomotives and Disturbances in Signalling and Control Systems. Fourth International Conference on Drives and Supply Systems for Modern Electric Traction in Integrated XXI Century Europe. Varsovia, Poland, pp. 34-45.
3. Carson, P. (1994). Analysis of Multiconductor Transmission Lines. New York: Wiley & Sons.
4. CENELEC (1996). Norma ENV 5012. Railway applications: Electromagnetic compatibility. Part 4: Emission and immunity of the signalling and telecommunications apparatus.
5. Fisher, A. J. (1987). Track, Track Circuits and Traction. IEE International Conference on Electric Railway Systems for a New Century. Londres, UK, pp. 184-188.
6. Hill, R. J., Brillante S. and Leonard P. J. (1999). Electromagnetic Field Modelling for Transmission Line Distributed Parameters. IEE Proc. Electrical Power Applications, Vol. 146, No. 1, pp. 53-59.

7. Hill R. J., Brillante S. and Leonard P. J. (1999-1). Railway Track Transmission Line Parameters from Finite Element Field Modelling: Series Impedance. IEE Proc. Electrical Power Applications, Vol. 146, No. 6, pp. 647-660.
8. Hill R. J., Brillante S. and Leonard P. J. (2000). Railway Track Transmission Line Parameters from Finite Element Field Modelling: Shunt Admittance. IEE Proc. Electrical Power Applications, Vol. 147, No 3, pp. 227-238.
9. Kadhim, R., Shao Z. Y. and Allan J. (1995). System and EMC Modelling to Ensure System Compatibility. 2nd International Conference on Electric Transportation Systems Compatibility. Long Beach, USA, pp. 1-9.
10. Marvin, A., Marsham C., Pearce D., McCormack L. M. and Konefal, T. (2002). Radio Frequency Emissions from Railways and their Potential to Interfere with the Operation of Commercial Radio Services and Other Equipment. Workshop on Protection in Complex and Distributed Systems Including Railways. Budapest, Hungari, pp. 23-33.
11. Perticaroli, F. (1993). Sistemi elettrici per i trasporti. Trazione elettrica. Milán: Masson.
12. Rokita. B. (1999). Dependence of input impedance of a track circuit on the technical condition of a track. Fourth International Conference on Drives and Supply Systems for Modern Electric Traction in Integrated XXI Century Europe. Varsovia, Poland, pp. 46-52.
13. Scott, J. H., Carroll R. D. and Cunningham D. R. (1967). Dielectric Constant and Electrical Conductivity Measurements of Moist Rock: a New Laboratory Method. Journal of Geophysic Research, Vol. 72, No. 20, pp. 5101-5115.
14. Sollerkvist, F. J. and Varjú G. (1998). A Comparison of the AT and BT Railway Systems from an Induction Point of View, Using a Multiconductor Simulation. International Symposium on EMC. Rome, Italy, pp. 34-39.
15. Sollerkvist, F.J., Varjú G. and Károlyi K. (2000). Sophisticated Multiconductor Modelling in the Frequency Domain. Part 2: Case Studies. COST 261 Workshop, Cagliari, Italy.
16. Solymar, L. and Walsh D. (1993). Electrical Properties of Materials. Oxford University Press.
17. Szelag, A. (1999). Verification of models applied in simulation analysis of electrified railway lines. Fourth International Conference on Drives and Supply Systems for Modern Electric Traction in Integrated XXI Century Europe, Varsovia, Polonia.
18. Yazdi, H., Roberts C. and Fararooy S. (1998). Intelligent Condition Monitoring of Railway Signalling Equipment Using Simulation. IEE Seminar on Condition Monitoring for Railway Transport. Birmingham, UK, pp. 1-5.

Ω

THE ENGINEERING INFLUENCE IN THE COMMERCIAL DEVELOPMENT OF HUMANITY: Middle Ages

INFLUENCIA DE LA INGENIERÍA EN EL DESARROLLO COMERCIAL DE LA HUMANIDAD: Edad Media

Ana María Saravia G., Luisa Fernanda Amorim

Grupo de investigación de Sociedad del Conocimiento, SOÇA, Brasil.

gruposoca@latinmail.com

(Artículo de REVISIÓN) (Recibido el 20 de enero de 2010. Aceptado el 30 de abril de 2010)

Abstract – *This second installment of the influence of engineering in human history is an analysis of that relationship in the Middle Age, known as strip in the human history of mankind between the V and XV centuries, and framed between two events: the fall of the Roman Empire and the beginning of the Renaissance. Was used first the word “Engineer”, and the basis for development was the construction of a complex civilization that was based primarily on non-human force, rather than of slaves or pawns. From the XI century, when cities become important and become more crowded, commercial activity sleepy for long increases. The cities became centers of learning, governance and religion, but above all were key to the emergence of a new trading system based on the exchange and the search for new routes.*

Keywords: *engineering, exchange, discovery, talent, trade.*

Resumen – Esta segunda entrega de la influencia de la ingeniería en la historia humana es un análisis de dicha relación en la Edad Media, conocida como la franja en la historia de la humanidad comprendida entre los siglos V y XV, y enmarcada entre dos acontecimientos: la caída del Imperio Romano y el inicio del Renacimiento. Se utilizó por primera vez la palabra “*Ingeniero*”, y la base de desarrollo fue la construcción de una civilización compleja que se basó primordialmente en la fuerza no humana, en lugar de la de esclavos o peones. A partir del siglo XI, cuando las ciudades cobraban importancia y se hacían más populosas, se incrementó la actividad comercial adormilada por mucho tiempo. Las ciudades se convirtieron en centros de enseñanza, gobierno y religión, pero sobre todo fueron clave para el surgimiento de un nuevo sistema comercial basado en el intercambio y la búsqueda de nuevas rutas.

Palabras clave: comercio, descubrimientos, Ingeniería, intercambio, talento.

INTRODUCCIÓN

El 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 y que no requiera del concurso y el apoyo de otros países; inclusive las naciones más poderosas necesitan recursos de los que carecen y que, por medio de negociaciones y acuerdos, obtienen para satisfacer necesidades y carencias. En la presente entrega se analiza la relación e influencia de la Ingeniería y la ciencia en el desarrollo comercial en la Edad Media –ver primera entrega (Saravia y Amorim, 2009)

Los aportes de la ingeniería al desarrollo del comercio son notables. Esta disciplina brindó el soporte para que las naciones, desde los orígenes mismos de las actividades de intercambio, llevaran a cabo las negociaciones que le permitieron a las sociedades primitivas mejorar sus niveles de vida, y propició el desarrollo de tales naciones. A medida que la ingeniería progresó, sus aportes se hicieron a mayor escala y el comercio llegó a convertirse en motor esencial de progreso, al punto que se restringieron otras áreas de desarrollo debido a que perdieron vigencia ante tal desarrollo comercial.

El presente trabajo es fruto del desarrollo de una investigación bibliográfica, y su objetivo es realizar un análisis de la influencia que la ingeniería tuvo en el desarrollo del comercio desde la Antigüedad hasta comienzos del siglo XX. 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.

LOS ÁRABES

La causa de las invasiones bárbaras fue principalmente económica, es decir, la desproporción creciente entre el número de habitantes y los medios de subsistencia. De

esta época la historia registra enormes y persistentes carestías, producidas por las guerras devastadoras; en tales condiciones el comercio, la ciencia, la ingeniería y la industria no podían florecer (Johnson, 1983).

Mientras en el norte europeo unos pueblos invadían a otros, para ser a su vez desposeídos por una nueva invasión, a las puertas de Europa se alzaba una raza que se había abstraído a la civilización romana, y acababa de abrazar una religión que la impelía a la conquista del mundo, los árabes. Guiados por sus califas, en el siglo VII los mahometanos arrebatan al imperio romano de occidente todas sus provincias africanas, asaltan Bizancio, ocupan España, amenazan la Galia, e invaden las mayores islas mediterráneas.

Este extraordinario movimiento suscitó en el mundo mahometano una gran multiplicidad de energías: los árabes cultivaron todas las ramas del saber humano, y Bagdad, Córdoba, El Cairo, Morón e Ispahán llegaron a ser grandes centros de cultura y ciencia (Glanville, 2009). Se preocuparon por cultivar las ciencias básicas, especialmente las matemáticas, el cálculo en ingeniería civil y militar, y se acercaron a los principios médicos que las guerras exigían en sus ejércitos, al igual que a las bases de la alquimia (Kennedy, 1983).

Antes de iniciar sus guerras de conquista, muchas de sus tribus fronterizas servían a Roma y a Grecia, por lo que asumieron para el Islam sus conocimientos en ciencia. Los omeyas, que se contaban entre tales tribus, ocuparon Siria y en el año 700 crearon en Damasco un observatorio astronómico. Hacia el 800 d.C., los árabes, antes poco cultivados intelectualmente, comenzaron a equiparar las culturas conquistadas, lo que culminó con la conversión de Bagdad en una sucesora de Alejandría; además, tradujeron las mejores obras en ciencia de Grecia y fundaron "*La casa de la sabiduría*", una copia del museo de Alejandría. Estos hechos dieron comienzo oficialmente a su ingreso al mundo científico de entonces (Bernis, 1956).

Gracias a los árabes, la agricultura volvió a florecer en las regiones europeas y africanas, y se introdujeron nuevos cultivos como el azúcar, el algodón, el azafrán, la mora, el naranjo, el limonero, la palma. Mientras que

Damasco era acaso el mayor centro industrial de la época (Rosenthal, 1991). Bagdad se distinguía por sus joyas artísticas y por sus tejidos de seda. El Yemen poseía manufacturas de lana y enviaba uvas a Corinto, donde las convertían en pasas; Ispahán producía telas finísimas y arneses de gran valor. En los puertos de Asterabad, Amol y Abisgum se construían numerosas naves con aplicaciones ingenieriles bastante adelantadas.

Egipto, tanto por su prosperidad interior como por su tráfico con el extranjero, vuelve a ser lo que fue en tiempos de los faraones, con su centro comercial en Asuán. África producía ganados, azúcar, algodón y dátils; Fez tuvo una época de esplendor. De España eran célebres los cueros de Córdoba, los paños de Murcia y las sedas de Sevilla. Las grandes peregrinaciones a las ciudades santas de Arabia: La Meca, Medina y Kairuán, contribuían a esa prosperidad mercantil y de conocimiento en ciencia e ingeniería (Nasr, 2003).

En Asia, los árabes se relacionaban con la China, la India y las regiones del Caspio, con cuyos países traficaban por tierra. El campo principal de su comercio marítimo era el Océano Índico; en las costas del África fundaron varias colonias, llegando hasta Madagascar. En el Mediterráneo comerciaban con los puertos del imperio griego e intercambiaban cultura y conocimiento, e inclusive llegaron a hacer experimentación mediante la aplicación del antiguo método griego para investigaciones, y sostenían relaciones constantes con las ciudades ibéricas bajo dominio musulmán (Bernis, 1956).

BIZANCIO

Al trasladar en 324 d.C. la sede del imperio a Bizancio, Constantino provocó una verdadera emigración de Italia al Bósforo. Hasta el 395 d.C., Constantinopla sólo era la capital del Imperio de Oriente, pero ante la barbarie universal se convirtió en el único refugio del comercio antiguo. Justiniano, célebre no sólo como codificador del derecho romano, sino por las leyes que dictó favorables a la industria, la ingeniería y el comercio (Dutour, 2003), se propuso abrir un camino directo para el tráfico de la seda. Pero sus propósitos murieron con él; las provincias conquistadas en Asia se perdieron y no se pudo establecer

el comercio directo con China, cosa que ya no urgía desde el momento en que el gusano de seda se introdujo en Europa en el 552. A partir de entonces, Chipre, Sicilia y el Peloponeso produjeron grandes cantidades de seda, desarrollaron procesos científicos para mejorar su calidad, y aplicaron ingeniería en la construcción de plantas para su procesamiento (Beakley and Leach, 1987).

La opulencia de Constantinopla hacía afluir a ella las riquezas del mundo entero, como antes lo hizo Roma; y a medida que el occidente europeo se fue cerrando por causa del predominio de los pueblos germánicos, su comercio se dirigía con preferencia a Asia. Al principio este comercio se conducía por la vía marítima de Alejandría, pero el creciente poder del Islam obligó a los bizantinos a sustituirlo por caravanas. Después de la toma de Alejandría por los musulmanes, dicho comercio siguió principalmente dos caminos: el de Siria, por Antioquía y Damasco, y el del Mar Negro y la Tartaria.

Los bizantinos comerciaban asimismo con los pueblos eslavos que se civilizaban. Una ruta comercial que pasaba por Riev y Novgorod, subiendo el Dnieper y bajando el Oder, unía el Bósforo con el Báltico. En Riev el comercio ruso enlazaba con el de las cuencas del Rhin y del Danubio. Con su mercado de Lorch, los ávaros enlazaban el comercio de Alemania y Escandinavia con el del Imperio bizantino. Hasta el siglo XI, los búlgaros centralizaron los productos eslavos y árabes en las ferias de Riev y Astraján. Los húngaros, por su parte, atraían las caravanas del Danubio a Ratisbona, y en la misma Constantinopla se establecían factorías extranjeras que se apoderaban de su comercio. Y finalmente, las cruzadas acrecentaron las relaciones mercantiles de Bizancio con los pueblos occidentales.

Esta actividad mercantil del pueblo bizantino estaba soportada por el desarrollo de la ingeniería de construcción naval, pero otras áreas ingenieriles también se desarrollaron en paralelo, como la Ingeniería civil, a partir de la construcción de majestuosas catedrales. Estas construcciones eran fruto del intercambio en ciencia y arquitectura que los mercaderes establecían en cada ciudad y pueblo que visitaban (Schung-Wille, 1978).

EL IMPERIO DE CARLO MAGNO

Carlomagno, rey de los francos, terminó siempre sus numerosas conquistas con tratados favorables al comercio. Aplicando Ingeniería civil, abrió caminos y puertos, levantó faros, ideó y empezó un canal entre el Rhin y el Danubio, que no pudo terminar por falta de experiencia de los ingenieros (Castro, 1975), y estrechó las relaciones político-económicas con los califas. Durante su reinado, Basilea, Estrasburgo, Worms, Maguncia y Colonia fueron importantes centros comerciales.

El periodo cercano al año 800 se suele conocer como Renacimiento Carolingio, dada su comparación con el periodo anterior. Carlomagno no sabía leer, escribir, o siquiera aritmética, pero en su reinado procuró elevar el nivel de la cultura, la ciencia y la ingeniería en el Imperio. Creó la Escuela Palatina de Aquisgrán, en la que se formó junto a sus hijos y demás funcionarios de la corte. Esta escuela fue posteriormente el modelo que siguieron otros monarcas para fundar las suyas en toda Europa. En su política de gobierno procuró divulgar las artes, las ciencias, las letras y todo el conocimiento que constituía la herencia de la Antigüedad (Shelton, 1990).

EL FEUDALISMO

El fraccionamiento político y el espíritu aventurero que predominó en la Edad Media fueron obstáculos considerables para el desarrollo del comercio y el asentamiento del conocimiento en ciencia e ingeniería, dificultado ya por el sinnúmero de gabelas e impuestos, en forma de: cánones, peajes y tributos. Los reyes y señores feudales exigían pagos que muchas veces ni siquiera garantizaban a los comerciantes su seguridad personal, ya que algunos magnates se convertían en verdaderos salteadores que despojaban a los mercaderes cuando pasaban junto a sus fortalezas.

Sin embargo, con sus inexpugnables castillos, verdaderas muestras de ingenio civil y militar (Beaujouan, 1963), el feudalismo hizo muy difícil nuevas invasiones extranjeras. Dadas sus reglas y condiciones, el contrato feudal preparó la llegada de un principio de legalidad: la tumultuaria opresión del periodo bárbaro, y aun con los mismos feudos y sub-feudos, extendió a muchos el

uso y la utilidad de las tierras, preparando la división de la propiedad (Kriedte, 1998).

Entre las varias costumbres económicas que existían en la época feudal, merecen recordarse el derecho de naufragio, el de sucesión de los extranjeros y las leyes de víveres; éstas últimas, por la falta de medios de comunicación y de transporte, tenían un carácter coercitivo, fijando el sitio y hora de venta de los víveres y sus precios, y prohibiendo, algunas veces bajo severísimas penas, su exportación.

Tales prohibiciones eran, empero, inútiles ante las grandes carestías que a menudo se observaban y que continuamente eran seguidas de epidemias y pestes (Kriedte, 1998). El miedo a la pérdida de la tierra generó un estilo de vida estacionario, por lo que el desarrollo de la ciencia y la ingeniería, especialmente la naval y la civil en la construcción de caminos, tuvieron una época de estancamiento. También ayudó a esto, el hecho de que los hombres de ciencia casi que estaban prisioneros en las fortalezas, por lo que no se les permitía compartir sus conocimientos al acompañar las pocas caravanas mercantiles que se atrevían a recorrer los caminos feudales (Pomerans, 1967).

LAS REPÚBLICAS ITALIANAS

En las ciudades medievales volvió a florecer el comercio, siendo las de la península itálica las que más influyeron en su desarrollo; disputaron a Bizancio el monopolio comercial y adquirieron, con las cruzadas, la supremacía del Mediterráneo. La más antigua fue Amalfi, en el golfo de Salerno, que estableció bancos en Sicilia, Grecia, Siria y Egipto, con cuyos países ejerció un comercio activo. Pisa alcanzó importancia después de la ruina de Amalfi; se alió con los genoveses para conquistar la isla de Cerdeña y luchar contra los islamitas de Túnez. Rival de su antigua aliada, Pisa fue vencida en 1284 por los genoveses (Drahos and Braithwaite, 2002).

Florenia heredó el comercio de Pisa. Los banqueros florentinos rivalizaron con los genoveses y venecianos, y casi todos los príncipes de la Cristiandad llegaron a ser sus deudores. Entre las ciudades italianas, famosas por sus ferias fueron Benevento, Salerno, Bérgamo, Padua, Savona y Sinigallia;

y por sus industrias y desarrollo en ciencia, Faenza, Urbino, Bolonia y muchas otras (Heckscher, 1993). Por su importante comercio, Génova y Venecia merecen especial mención. Los servicios navales que Génova prestó a los cruzados le valieron grandes concesiones mercantiles en Antioquía, Cesárea y Trípoli. Después de apoderarse de Cesárea, los genoveses fundaron numerosas fábricas en Oriente, pero pronto vieron surgir ante su poder un temible rival, Venecia, que se aprovechó de las cruzadas para disputar a Génova la supremacía del mar y arrebatárselo, después de cuatro guerras, su emporio comercial (Chafuen, 1991).

Mientras los genoveses aún dominaban la vía comercial del Mar Negro, que enlazaba por Trebisonda con el golfo Pérsico, los venecianos, que querían contrarrestar el poder de Génova, celebraron varios tratados de comercio con los mahometanos de Túnez, Trípoli y Egipto, con lo que Alejandría volvió a ser el centro del comercio de India. El poderío genovés en Oriente recibió un rudo golpe al ocupar los turcos las costas del mar Negro. A raíz de estos actos bárbaros, el desarrollo de la ciencia y la ingeniería se orientó casi exclusivamente al servicio de la guerra. La construcción de armas de asalto y edificaciones resistentes a las invasiones, ocupaba el quehacer de los hombres que antes fueron excelentes ingenieros civiles (Ifrah, 2000).

A la decadencia de Génova contribuyeron las numerosas luchas intestinas y la sinuosa política mercantil de la República; sin embargo, fue y continuó siendo una ciudad industrial, aun después de su ruina exterior. Famosos eran sus tejidos de lana, algodón y seda, sus pergaminos, brocados y recamados, entre otros (Pomerans, 1967). Todo lo que se refería al comercio y a la industria dependía del gobierno, que regulaba los cargamentos y fletes, y suministraba maderas y otros insumos a los armadores. Las importaciones eran libres, aunque las materias destinadas a la industria estaban sometidas a severos exámenes. Se prohibía el ejercicio de varios oficios a la vez para que la división del trabajo asegurara su perfeccionamiento. Después de la conquista de la Morea los venecianos vencieron a griegos y sicilianos en la industria de la seda (Drahos, 2002).

A partir del 1400 Venecia aumentó su tráfico terrestre, pero las guerras de la Península Itálica impidieron su completo desarrollo. Entre tanto, los turcos se adueñaban por completo del Oriente y se establecían amenazadores en Constantinopla, mientras los portugueses buscaban ya un nuevo camino para llegar a la India. Al finalizar el feudalismo y luego de que las repúblicas italianas se devastaran en guerras continuas, la ciencia y la ingeniería resurgieron como campos de interés para monarcas y gobernantes.

Se prestó atención a las posibilidades económicas de contar con mercados más amplios y de mayor variedad de productos, por lo que la Ingeniería naval y la ciencia de la navegación tuvieron más adeptos y estudiantes; el objetivo era lograr encontrar primero una ruta hacia las codiciadas especias de India y China por un camino diferente al de África. El astrolabio, barcos más rápidos y mejores instrumentos de cálculo para determinar la posición en los océanos, fueron las áreas del conocimiento más cultivadas al finalizar esta época de la historia (Williams, 1979).

LA CONFEDERACIÓN CATALANA-ARAGONESA

Rival de las ciudades italianas fue Barcelona, cuyo comercio y desarrollo en ciencia e Ingeniería, desde comienzos del siglo XIII, se extendió a las llamadas escalas de Levante o puertos del Asia menor y norte de África, de donde recibía productos y mercancías de Oriente e intercambiaba conocimiento con comerciantes y por medio de las caravanas (Hayek, 1981). Al puerto de la capital catalana, que ya tenía faro en el siglo X, concurrían mercaderes griegos, sirios y francos, los cuales, junto con sus mercancías, traían a Cataluña el influjo de sus respectivas civilizaciones. Refundidos entre ellos, también llegaban hombres de ciencia e ingenieros interesados por intercambiar ideas, proyectos y experiencias (Carreras, 2005).

En todo el reino de Aragón existía un cuerpo de *troters*, o correos privados, que facilitaba el intercambio interior. Desde 1249 el Consejo de los Ciento, de Barcelona, tenía jurisdicción mercantil, que ejercía por dos cónsules de mar delegados, hasta que en 1347 se separó esta jurisdicción y se creó el Consulado de Mar independiente. *El Libro del*

Consulado de Mar –siglo XIII– es uno de los más antiguos códigos marítimos que existen. De la misma época datan las *Costumbres de Tortosa*, que contiene una colección de leyes mercantiles; igualmente se publicaron textos alusivos a las ciencias y los desarrollos ingenieriles de todo tipo (Grant, 1974).

Según se lee en las ordenanzas del comercio de Brujas, el reino de Aragón exportaba arroz y azafrán; también salían del puerto de Barcelona grandes cantidades de sal y pescado. Valencia exportaba productos agrícolas y paños; Mallorca, arrancada a los musulmanes por la espada de Jaime I, fue muy pronto un magnífico puerto de refugio y de escala, lo que facilitaba la salida de sus productos naturales.

Las lonjas de Valencia y Mallorca atestiguan la importancia que el comercio adquirió en esas dos ciudades. En el siglo XIV, la marina mercante mallorquina llegó a componerse de trescientos sesenta naves mayores, que comerciaban con Italia, Rodas, Berbería, Egipto y Constantinopla (Gual, 1976). Estas naves reflejaban los más sofisticados adelantos de ingeniería y ciencia naval aplicada que, con el comercio, florecían en todos los estados aragoneses (Glick et al., 2005). Tarazona, Jaca, Huesca y Lérida tenían industrias de cueros y paños; en Rosas y Castellón se comerciaba el coral, y en Cataluña, la industria de los tejidos llegó a tener hasta trescientos fabricantes y doce cónsules del gremio.

Las naves catalanas competían con las italianas en la conducción de mercancías a los puertos mediterráneos. Dado que los conocimientos navales se “filtraban” de una región a otra, la diferencia entre ellas se medía por la capacidad de diseño de sus ingenieros (Pomerans, 1967). En Cerdeña, después de la ayuda militar prestada a los pisanos, los catalanes obtuvieron exención de aduanas, establecieron cónsules en la isla, en Génova y en Pisa. Jaime I dictó en 1258 unas ordenanzas de policía marítima y mercantil que favorecieron el tráfico con el mediterráneo oriental, en varias de cuyas ciudades estableció cónsules para la protección de los mercaderes de sus estados.

La expedición militar de catalanes y aragoneses a Oriente, señala el apogeo de la expansión política de la confederación, que

abrió nuevos e importantes mercados a su comercio. Rodeando la Península Ibérica, los catalanes penetraron en Flandes antes que los italianos, y llegaron hasta las orillas del Báltico. En 1389 tenían ya bolsa de comercio en Brujas, mientras que los venecianos sólo la tuvieron hasta 1415. Los navegantes catalanes alcanzaron grandes adelantos en la cartografía, la ingeniería naval, civil y militar (Claire, 1985). A ellos se debe el primer bosquejo de la Península de Jutlandia y la corrección del diseño de las costas bálticas.

Al reunirse en una sola dinastía las Coronas de Aragón y Castilla, comienza la decadencia política y mercantil de la confederación. El puerto de Barcelona se paraliza por completo y aun las mismas industrias locales mueren por falta de dinero y de estímulo. Los adelantos en ciencia, Ingeniería y demás áreas del conocimiento de los catalanes fueron “*contrabandeados*” al nuevo reino, y su impacto fue tal que ambas coronas rigieron los posteriores adelantos y descubrimientos en el mundo (Shelton, 1990).

CASTILLA Y PORTUGAL

Durante su ocupación, los árabes dieron a la Península Ibérica una prosperidad económica como ninguna región había tenido. Sin embargo, a medida que las ciudades cristianas consolidaban su poderío, surgían importantes centros industriales y de desarrollo en todas las ramas de la ciencia y la ingeniería, debido especialmente al desarrollo matemático que los árabes traían consigo (Saliba, 1994). El país vasco explotaba sus minerales de hierro, Segovia y Zamora fueron famosas por sus paños, Toledo por sus armas, y Córdoba por sus cueros. La ganadería alcanzó un desarrollo notable.

Por medio de privilegios, se procuró formar centros de contratación. Alfonso X estableció dos ferias anuales en Sevilla y una en Murcia, siendo dignas de mención, entre otras, las de Medina del Campo. En estas ferias, además del intercambio comercial, los hombres de ciencia también tenían su lugar, ya que podían intercambiar libremente sus ideas y conocimientos con personas de otras regiones (Claire, 1985). Los judíos, que más tarde fueron expulsados de la Península, representaban un gran papel en el comercio castellano, sirviendo de intermediarios y de banqueros.

Hasta principios del siglo XV, Portugal, al igual que Castilla, se limitó a reorganizar la industria y el comercio interiores, quebrantados por las guerras de la reconquista y por los excesos del feudalismo. Pero, súbitamente, el espíritu de aventura inflamó a la nación entera y los portugueses llegaron a ser, en la época mencionada, los primeros navegantes de su tiempo, abriendo nuevos rumbos al comercio y aumentando considerablemente los conocimientos geográficos y científicos (Lucas, 2005). A este desarrollo repentino le aportaron grandemente la ciencia y la ingeniería, ya que en las ferias, como se mencionó antes, se creó una red de intercambio de conocimiento que desbordaba cualquier control de los estados.

LAS CIUDADES HANSEÁTICAS

Hubo también en la Edad Media, en el norte europeo, ciudades libres, como en Italia, que llegaron a ser poderosas y tuvieron un comercio activo (Braudel, 1984). Con el fin de defender su seguridad contra los piratas y los señores feudales convertidos en salteadores, que hacían inseguros los caminos, se formaron varias ligas o alianzas de ciudades. La Renana, o Liga de las Ciudades del Rin, se formó en 1247 por iniciativa de Maguncia; siete años después de su fundación contaba con noventa ciudades y sostenía en el Rin una flota de 600 buques.

A principios del siglo XIV se fundó la Liga Suabia, cuyas ciudades más importantes fueron Nuremberga, Ratisbona y Constanza, las cuales comerciaban mucho con Venecia. Los adelantos más sobresalientes de la ingeniería en estas ligas se centraron en lo civil y lo militar, ya que la construcción de las fortificaciones y el armamento para defenderse eran objetivos primarios de sus habitantes. También la química se aplicaba como soporte de la Ingeniería militar, ya que mucho de su armamento lo constituían pequeños artefactos manuales que explotaban en medio de gases, fuego y olores fuertes que afectaban a las tropas de asalto (Claire, 1985).

La liga más importante fue la Hanseática, que comenzó en el siglo XII con la alianza de Lübeck y Brema, y llegó a comprender todas las ciudades comerciales del Báltico y del norte de Alemania, distribuidas en cuatro distritos y cuarenta ciudades aisladas, entre

ellas Estocolmo y Amsterdam. Lübeck llegó a ser la capital de la confederación, cuyo fin era exclusivamente comercial.

Su acción, empero, surtió efectos políticos de importancia, entre ellos la inexorable guerra que sostuvo contra los piratas, y los esfuerzos que llevó a cabo para la adopción de un derecho marítimo internacional, siendo la primera que sentó el principio de la libertad de los mares. El Hansa fundó factorías en Novgorod, Brujas, Bergen y Londres, y extendió su comercio a Rusia, Flandes, Escandinavia e Inglaterra. Los hanseáticos no traficaban para su consumo, la agricultura languidecía en sus países y la única industria importante a la que se dedicaban era la de la cerveza, en la que aplicaban conocimientos en química heredados o usurpados a sus vecinos del norte (Hough, 1990). En general, las ciudades alemanas comerciaban en gran escala con productos extranjeros.

La Liga Hanseática se relacionó constantemente con los neerlandeses, con Brujas, que fue un emporio mercante abierto a todos los productos extranjeros, y con Amberes, las cuales exportaban hacia el Báltico y hacia el Mediterráneo las industrias en que se especializaban las ciudades flamencas: Lila, Arrás, Gante, Valenciennes, Rotterdam y Leyden, entre otras. Con estos intercambios comerciales, Alemania y las Ligas difundieron los conocimientos químicos para fabricar cerveza, constituyendo este uno de los aportes más importantes del periodo al intercambio del conocimiento y de la ciencia (Hough, 1990).

LAS CRUZADAS

Desde el punto de vista económico y de las ciencias, las cruzadas iniciaron una nueva Era. Aunque no lograran el fin religioso y político que perseguían, retrasaron la irrupción de los turcos en Europa, favorecieron la decadencia del feudalismo y el desenvolvimiento de las ciudades libres, y dieron gran impulso al comercio, a la industria, a la navegación y al intercambio de conocimientos en ciencia e ingeniería al trazar caminos que interconectaron a Europa con el Medio Oriente, donde confluían caravanas de China e India. Uno de sus efectos inmediatos fue el poner de nuevo en contacto al mundo latino-germánico con el griego.

Gracias a las cruzadas, el comercio del Occidente europeo halló nuevos mercados en Levante, se generalizó el uso de los instrumentos de crédito y se favoreció el resurgimiento de la navegación, ya que se perfeccionaron las técnicas de construcción de ubicación en el mar para emprender viajes cada vez más largos (Michaud, 1858).

Aunque durante las cruzadas no se dio un intercambio real de ciencia entre Occidente y Oriente, su influencia indirecta en cada rama del conocimiento se hizo notar en ambos bandos. Tal es el caso de la ingeniería civil, cuya influencia se refleja en las construcciones inglesas de la época, al lograr comprender desde la matemática árabe cómo construir rectángulos que se mantuvieran en el tiempo. El desarrollo del estilo Gótico fue posible gracias a la influencia musulmana, por lo que muchos la conocen también como *sarraceno*. El uso de mampostería de piedra fina, arcos ojivales, elaboración de dovelas y concepciones defensivas, que se implementaron en la arquitectura románica y gótica una generación más tarde, también ejemplarizan la influencia de Oriente (Chenault, 2004).

El desarrollo comercial, tal como se ha mencionado, tuvo en esta época poca relevancia, ya que la idea de unos era tomar Jerusalén y de otros era defenderla, por lo que las demás actividades pasaban a segundo plano. Pero, en lo que tiene que ver con el sistema de enseñanza europeo, las cruzadas sirvieron para hacerlo conocer y, de alguna manera, implementarlo entre los musulmanes. Del oriente se *“importaron”* las bases de una ciencia básica aplicada y organizada para estructurar en los modelos europeos de educación. Las cruzadas permitieron además *“intercambiar”* conocimientos acerca de la práctica del baño, del azúcar y de la producción de vidrio, muchas ramas de la industria textil, el arte de la fortificación de castillos, el espíritu de la caballería, y muchos otros conceptos (Tyerman, 2005).

GRANDES VIAJES HASTA EL SIGLO XV

Las cruzadas, al igual que las invasiones tártaras en el nordeste europeo durante el siglo XIII y las misiones religiosas enviadas al Gran Kan, despertaron el deseo por los viajes, el desarrollo de la ciencia y el descubrimiento de nuevas artes, ingenierías y

técnicas (Mollat, 1990). En 1271, los hermanos Nicolás y Mateo Polo, y el hijo del primero, Marco, se encaminaron a China. Pasando por Armenia llegaron a Basora y Ormuz, y al no hallar navegación directa a China, se dirigieron hacia Shangtu, residencia veraniega del Kan, y luego a Pekín. En 1292 emprendieron el regreso a Europa, y después de veinticuatro años de ausencia llegaron a Venecia. Hecho prisionero por los genoveses en la batalla de Curzola, Marco Polo hizo la narración de sus viajes, que sirvieron de guía para navegar a China hasta el siglo XVI.

Otros viajeros famosos fueron Oderico de Pordedone, que llegó a China y visitó Cantón y Pekín, y Juan Merignolli, cuyos descubrimientos en el Extremo Oriente ejercieron decisiva influencia en la cartografía y prepararon el descubrimiento del Nuevo Mundo. Estos pioneros que se atrevieron a ir más allá de lo conocido, sirvieron como difusores de historias, muchas de ellas fantásticas, acerca de lo que habían observado. Describían construcciones, caminos, puentes y algunos procesos científicos que llamaban su atención en cada ciudad que visitaban, por lo que los hombres de ciencia se pusieron también a la tarea de llegar a esas tierras para comprender lo que les estaban contando. Se dio entonces un fenómeno que hasta hoy sigue vigente: la internacionalización del conocimiento mediante visitas de “*expertos*” en las diferentes áreas, y el perfeccionamiento de los procesos por medio de la experimentación de intercambio (Pardo, 1991).

LOS GRANDES DESCUBRIMIENTOS

Tras la toma de Constantinopla por los otomanos en 1453, surgió la necesidad de hallar un nuevo camino para la India, a fin de obtener azúcar, aromas y especias, que habían llegado a ser de consumo general. Esta necesidad determinó los grandes descubrimientos geográficos del siglo XV, debiéndose éstos a portugueses y españoles principalmente. Los portugueses llegaron en 1445 a cabo Verde, y en 1462 a Sierra Leona. En 1484 descubrieron la desembocadura del Congo; en 1486, Bartolomé Díaz cruzó el Cabo de las Tormentas; y en 1497 Vasco de Gama, siguiendo el mismo camino, descubrió el Natal y llegaba a Calicut, residencia del rajá. La ruta marítima de la India había sido hallada.

A su vez, Cristóbal Colón buscó por Occidente el camino marítimo a la India, hallando inesperadamente un continente nuevo interpuesto entre los dos océanos. Efectuó, en doce años, cuatro viajes al Nuevo Mundo, donde descubrió las Grandes y Pequeñas Antillas y tocó tierra continental en Venezuela, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Veragua y el Darién, buscando el estrecho que condujera a Asia. El mismo fin persiguió Vasco Núñez de Balboa pocos años después, pero al cruzar el istmo de Panamá se convenció de que el Nuevo Continente quedaba aislado por dos océanos. Fueron notables también los descubrimientos que, por cuenta de Inglaterra, hicieron los venecianos Juan y Sebastián Caboto, en la región septentrional, y el primer viaje de circunnavegación de la Tierra. Este viaje, iniciado por el portugués Magallanes, al servicio de España, fue culminado por el español Juan Sebastián de El Cano entre 1520 y 1522.

De estos hechos nacieron un sistema colonial a base del monopolio, una revolución monetaria, producida por la gran cantidad de metales preciosos extraídos del continente americano, y una revolución en el conocimiento que desembocaría en lo que luego se conocería como Renacimiento (Le Goff, 1986). Pero tales descubrimientos no hubieran podido realizarse si antes no se hubiesen inventado instrumentos que, como la brújula y el astrolabio, fueron preciosos para la navegación, por lo que los aportes de la Ingeniería y las ciencias en general fueron de gran valía para acometer tales campañas de búsqueda (Universidad de Salamanca, 2006).

Aunque el desarrollo del comercio fue lo que instigó a la circunnavegación del planeta, los grandes logros fueron para la ciencia y la ingeniería. Por ese entonces, estas ramas del saber se encontraban concentradas en algunos personajes que estaban convencidos de que su conocimiento era el todo del saber, por lo que se convirtieron en recelosos y desconfiados en cuanto a compartirlo y difundirlo.

Los conocimientos científicos que sobrevivieron hasta el siglo XIII, se convirtieron en patrimonio personal de unos pocos y, por ello, muchos desaparecieron sin tener una influencia posterior en las culturas.

Las bases científicas muchas veces eran relatos dudosos o fantásticos, y no un conocimiento directo e inequívoco de los hechos. En un momento de la historia, este monopolio cesó súbitamente, debido a la ocurrencia de una serie de hechos, especialmente por los aportes de la invención de la imprenta, que permitió la difusión rápida de información, educación, cultura, y avances en geografía; y los resultados obtenidos en los audaces viajes a Oriente y Occidente (Buckhardt, 2004).

Antecedentes tecnológicos

Como se describió en este artículo, luego de que los cristianos expulsaron a los musulmanes, continuaron aplicando una política expansionista. Aragón le apostó a los viajes hacia el Mediterráneo, mientras que Castilla y Portugal se enfrentaban por el control del Océano Atlántico, las costas de África y la búsqueda de un camino a la India.

Una gran conjunción de acontecimientos: el interés por los estudios humanísticos, la inquietud por observar la naturaleza, y un nuevo y totalmente diferente espíritu de investigación, sirvieron como génesis para el surgimiento de muchos personajes que rompieron la concepción aristotélica y tolemeica acerca de Universo; y al mismo tiempo en muchas partes de Europa, como consecuencia de retomar la lectura de los griegos, se llegó a la conclusión de que la Tierra era una esfera (Pastor, 1970). Además, se produjeron avances en la cartografía y se perfeccionaron la brújula y los demás instrumentos para la navegación, lo que permitió que el espíritu de aventura pasara de bordear las costas a ingresar al mar.

También se conocieron datos acerca de la circulación atmosférica y marina en los trópicos. Los reinos europeos importantes perfeccionaron sus conocimientos cosmográficos, las artes cartográficas y, gracias a los adelantos en ingeniería, la construcción de adecuadas naves para dominar la navegación en mar abierto. Todo esto contribuyó para que se iniciaran los grandes viajes que llevaron a los grandes descubrimientos y al nacimiento del Renacimiento (Martín, 2003).

DISCUSIÓN DE CIERRE

Sobre las ruinas de la sociedad esclavista emergió la sociedad feudal, caracterizada

por un lento desarrollo, y que dio origen a un período de obstrucción —o de retroceso— en cuanto al pensamiento científico-filosófico alcanzado en la sociedad predecesora. Al triunfar el cristianismo e imponerse como la fuerza dominante, la Iglesia se convirtió en el albacea del arte, la cultura y la ciencia, pero con una clara hostilidad hacia lo que consideraba filosofía pagana, lo que determinó que la herencia filosófica cambiara de perspectiva y se orientara hacia las necesidades de propagación de las doctrinas idealistas papales (Sarton, 1937). Por más de diez siglos ésta fue la ideología dominante, por lo que la lucha de clases que se presenta en la Edad Media tiene un claro matiz de lucha religiosa, en la que la filosofía se somete a la teología.

La corriente filosófica que se implanta en la sociedad feudal, la escolástica, tiene como eje central en su postulado la relación entre conocimiento y fe, relación en la que prima la última. La escolástica se convirtió rápidamente en sinónimo de ciencia muerta, alejada de la vida, de la observación y de la experimentación, y su base fue la aceptación sin más de los credos de la Iglesia (Franz, 1980); además, fue una forma filosófica propia de la vida espiritual impuesta a la sociedad feudal, en la que se subordina el pensamiento investigador a la fe religiosa.

Lo alcanzado hasta ese momento, por más de mil años de desarrollo del pensamiento filosófico, fue negando tanto para esta área del conocimiento como para la ciencia, ya que la idea central no era buscar la verdad, sino los medios que permitieran cimentar las “*verdades reveladas*” (Claret, 1984). Tal forma de ver la filosofía, erigida sobre estos cimientos, estaba destinada a debilitarse al momento que la ciencia adquiriera fortaleza y se convirtiera en un campo de investigación independiente, lo que sucedió al surgir un nuevo modo de producción: la Sociedad Capitalista.

Luego de finalizar el largo período del Imperio Romano, el quehacer científico y todo el conocimiento se concentró en el trabajo de pequeños grupos, que en general estaban supeditados a las órdenes religiosas. Los árabes despertaron su interés por la tecnología, aunque de forma desordenada y sin una clara inclinación por el trabajo científico, por lo que fue un período en el

que el trabajo lo realizaban individuos aislados que hicieron nuevos aportes y redescubrieron la ciencia conocida desde antes. En esta época se utilizó por primera vez la palabra "*Ingeniero*": alrededor del año 200 d.C. se construyó una especie de catapulta para atacar los castillos y murallas con las que se defendían las ciudades, a la que se llamó *ingenio* y al operador de la máquina *ingeniator*, del cual se derivó el título de Ingeniero (Shelton, 1990).

La principal gloria de la Edad Media no fueron sus catedrales, su épica o su escolástica: fue la construcción, por primera vez en la historia, de una civilización compleja que no se basó en las espaldas sudorosas de esclavos o peones sino primordialmente en fuerza no humana (Harvey, 1970).

Esto se debe a que la fuerza y la potencia fueron las áreas de mayor interés y desarrollo, estimuladas por la decadencia de la esclavitud y la expansión del cristianismo. Las fuentes de potencia más utilizadas, y de alguna manera más investigadas, fueron la hidráulica, el viento y los caballos, que dieron origen a las ruedas para carretas y carruajes, las turbinas hidráulicas, los molinos de viento y las velas para la navegación. Además, se lograron avances técnicos en el uso del carbón de leña y la fuerza del aire para mejorar los procesos de fundición del hierro; desde China se introdujo el papel, y desde Arabia la pólvora, las ciencias químicas y la óptica. Todos estos aportes: el uso del papel, la imprenta, la brújula, y la ciencia aplicada a la navegación, facilitaron la dispersión del conocimiento y de nuevas esferas del comercio (Marmura, 1965).

Grandes adelantos en vías, túneles, puentes, diques, canales, puertos, muelles y máquinas, se dieron en la Edad Media, en cuyas construcciones se empleó un conocimiento que todavía desborda la imaginación moderna. Ejemplo de la capacidad de los "*ingenieros*" de la época es el cuaderno de viajes del francés Villard de Honnecourt (Patetta, 1997), en el que plasmó las experiencias de sus viajes mediante dibujos en los que revela un amplio conocimiento en matemáticas, geometría, ciencias naturales y artesanías. También data de entonces el reloj mecánico en Europa, y en Asia el surgimiento de complejas técnicas

ingenieriles de construcción, en hidráulica y en metalurgia, con las que el Imperio Mongol creó la civilización que tanto impresionó a Marco Polo (Beakley and Leach, 1987).

También se elevó la productividad en la agricultura mediante la tala de bosques y la introducción del sistema de tres campos; la introducción del arnés de pecho chino condujo a mejoras en el sector del transporte, donde los bueyes se sustituyeron por caballos; la tecnología del molino de viento fue introducida desde Persia en el siglo X; los molinos de agua llegaron a Europa en la misma época y se hicieron más eficientes; se desarrollaron nuevos oficios en las ciudades y se organizaron los gremios. Éstas y otras innovaciones tecnológicas fueron actividades de las clases trabajadoras, ya que la ciencia requería patrocinio de las clases dominantes (Furnas and McCarthy, 1966).

A principios de la Edad Media, el Imperio de Occidente se estaba desmoronando y la clase gobernante se mostraba desordenada, por lo que la única institución para mantener la tradición científica estaba en el Este. El Imperio Romano de Oriente, con su capital Constantinopla, conocido como el Imperio Bizantino, trajo un buen número de estudiosos desde el Oeste, y el emperador Constantino había creado una universidad en el año 330. El plan de lectura de entonces estaba integrado por la retórica, las cuatro ciencias exactas: aritmética, geometría, teoría musical y astronomía, que componían el *quadrivium*, y la "*física*", que incluía la química, la biología y la medicina. Pero el cierre de la Academia de Atenas por Justiniano significó la pérdida de personal docente calificado, que trató de conseguir empleo en la corte persa; como resultado, la ciencia perdió mucha de su calidad, incluso en el entorno relativamente estable de Bizancio (Pardo, 1991).

Durante la "*Era de la Ciencia Escolástica*", la cercanía del Imperio Bizantino a los imperios islámicos produjo muchas obras enciclopédicas sobre la base de las traducciones de textos árabes —que a su vez eran traducciones del griego. En el contexto de la historia de la ciencia, Theodorides dice: Nadie puede asegurar que los textos científicos bizantinos fueron de un valor científico excepcional, ya que la mayoría de ellos no

eran más que pobres compilaciones de los primeros trabajos griegos o helenísticos (Pekonen, 2000).

Tanto que uno de los mejores científicos del siglo X, Gerbert de Aurillac, no sabía qué hacer con los números de la India cuando los vio en los textos árabes.

Para finales de la Edad Media, la ciencia en Europa se había sobrepuesto a todos estos acontecimientos negativos, y había sobrepasado el nivel alcanzado en la Antigüedad. Se despertó el interés por una tecnología práctica, y se abandonó la teórica; se buscaba una forma distinta de poder hacer las cosas, de tal manera que facilitara la vida y el desarrollo del comercio; se despertó el interés por el mundo natural al que intentaban entender mediante la observación, aprovechando el tiempo libre que les quedaba al no mantener las continuas guerras (Grant, 1974).

Luego de que los cristianos recuperaran de los musulmanes la Península Ibérica y Sicilia, también adquirieron el conocimiento de las bases de las matemáticas y las ciencias, que éstos habían estudiado y perfeccionado desde las ideas antiguas y las nuevas que llegaban de Asia: heredaron el sistema numérico arábigo, y el concepto del cero, traído de la India.

Los procesos de investigación práctica retaron a la lógica en la comprensión de las leyes naturales; la observación se reconoció como principio de alto valor, y la experimentación y la evidencia empírica, como métodos para probar las teorías. Estos acontecimientos darían después lugar al método científico, una de las más sobresalientes características del Renacimiento, que da origen a la investigación científica moderna (Acaso, 1969).

REFERENCIAS

1. Acaso, F. (1969). Arte y ciencia en la encrucijada de nuestro tiempo. Cuadernos del Idioma, Vol. 3, No. 11, pp. 25-34.
2. Beakley, G. C. and Leach H. W. (1987). Engineering. An introduction to a creative profession. New York: The Macmillan Company.
3. Beakley, G. C. and Leach H. W. (1987). Engineering. An introduction to a creative profession. New York: The Macmillan Company.
4. Beaujouan, G. (1963). Medieval Science in the Christian West. In Ancient and Medieval Science, Thames and Hudson (Eds.). London: McEvoy.
5. Bernis, M. (1956). La ciencia hispano-árabe. Madrid: Publicaciones Españolas.
6. Braudel, F. (1984). The Perspective of the World. Civilisation and Capitalism 15Th-18th Century. California: University of California Press.
7. Buckhardt, J. (2004). La cultura del Renacimiento. Madrid: Editorial Akal.
8. Carreras, V. R. (2005). Los catalanes Juan Cabot y Cristobal Colom: la verdad sobre el descubrimiento de América. Barcelona: Editorial MAXTOR.
9. Castro, A. J. (1975). La ingeniería y el arte de los ingenieros. Revista de Obras Públicas, Vol. 122, No. 3126, pp. 735-744.
10. Chafuen, A. A. (1991). Economía y ética, raíces cristianas de la economía de libre mercado. Madrid: Ediciones RIALP S.A.
11. Chenault, D. (2004). Castles And Crusades Players Handbook. Berlín: Chenault and Gray.
12. Claire, P. (1985). Breakthroughs: A chronology of great achievements in science and mathematics. Londres: G. K. Hall & Company.
13. Claret, Z. A. (1984). Una apreciación evaluativa de la Edad Media desde el punto de vista de las ciencias. Seminario Historia de las Ciencias, Facultad de Educación, Universidad del Valle.
14. Drahos, P. and Braithwaite J. (2002). Information Feudalism: Who Owns the Knowledge Economy? London: Earthscan Ltd.
15. Dutour, T. (2003). La ciudad medieval. Orígenes y triunfo de la Europa urbana. Buenos Aires: Paidós.
16. Franz, G. (1980). Las transformaciones en el mundo mediterráneo. México: Siglo XXI.
17. Furnas, C. C. and McCarthy J. (1966). The engineer. New York: Time.

18. Glanville, A. R. (2009). Científica: La guía completa del mundo de la ciencia: matemáticas, física, astronomía, biología, química, geología, medicina. Berlín: Köln.
19. Glick, T. F., Livesey S. J. and Wallis, F. (2005). Medieval Science, Technology, and Medicine: An Encyclopedia. London: Routledge.
20. Grant, E. (1974). A source book in medieval science. Massachusetts: Harvard University Press.
21. Gual, C. M. (1976) Vocabulario del comercio medieval: Colección de aranceles, aduaneros de la corona de Aragón (siglos XIII y XIV). Barcelona: El Albir.
22. Harvey, J. (1970.) The Gothic World. 1100-1600: a survey of architecture and art. London: Batsford.
23. Hayek, F. A. (1981). Nuevos estudios en filosofía, política, economía e historia de las ideas. Buenos Aires: Editorial Universitaria de Buenos Aires.
24. Heckscher, E. (1993). La época mercantilista. Historia de la organización y las ideas económicas desde el final de la Edad Media hasta la sociedad liberal. México: Fondo de Cultura Económica.
25. Hough, J. (1990). Biotecnología de la cerveza y de la malta. Zaragoza: Acribia.
26. Ifrah, G. (2000). The universal history of numbers: From Prehistory to the Invention of the Computer. New York: John Wiley & Sons.
27. Johnson, S. (1983). Late Roman Fortifications. Londres: Barnes & Noble Imports.
28. Kennedy, E. S. (1983). Studies in the Islamic Exact Sciences. Archaeoastronomy, Vol. 8, pp. 168-190.
29. Kriedte, P. (1998). Feudalismo Tardío y Capital Mercantil. Buenos Aires: Crítica.
30. Le Goff, J. (1986). Lo maravilloso y cotidiano en el Occidente medieval. Barcelona: Gedisa.
31. Lucas, A. R. (2005). Industrial Milling in the Ancient and Medieval Worlds: A Survey of the Evidence for an Industrial Revolution in Medieval Europe. Technology and Culture, Vol. 46, No. 1, pp. 1-30.
32. Marmura, M. E. (1965). An Introduction to Islamic Cosmological Doctrines. Conceptions of Nature and Methods Used for Its Study by the Ikhwan Al-Safa'an, Al-Biruni, and Ibn Sina by Seyyed Hossein Nasr. Speculum, Vol. 40, No. 4, pp. 744-746.
33. Martín, C. (2003). Arte de navegar. Breve compendio de la Sphera. Sevilla: Maxtor editorial.
34. Michaud, M. (1858). Historia de las Cruzadas. México: Editorial Uteha.
35. Mollat, M. (1990). Los exploradores del siglo XIII al XVI. Primeras miradas sobre nuevos mundos. México: FCE.
36. Nasr, S. H. (2003). Science and Civilization in Islam. London: Islamic Texts Society.
37. Pardo, T. J. (1991). Ciencia y censura. La Inquisición española y los libros científicos en los siglos XVI y XVII. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
38. Pastor, R. (1970). La Ciencia en el descubrimiento de América. Barcelona: Espasa-Calpe.
39. Patetta, L. (1997). Historia de la Arquitectura: Antología Crítica. Madrid: Celeste Ediciones.
40. Pekonen, O. (2000). Gerbert of Aurillac: Mathematician and Pope. Mathematical intelligencer, Vol. 22, No. 4, pp. 67-70.
41. Pomerans, A. J. (1967). Ancient and Medieval Science. Thames and Hudson (Eds.). Volume 1 of A General History of the Sciences. London: McEvoy.
42. Rosenthal, F. (1991). Science and medicine in Islam: A collection of essays. Londres: Variorum Reprint.
43. Saliba, G. (1994). A History of Arabic Astronomy: Planetary Theories During the Golden Age of Islam. New York: NYU Press.
44. Saravia, G. A. M. y Amorim L. F. (2009). Influencia de la Ingeniería en el desarrollo comercial de la humanidad: Edad Antigua. Revista Digital Lampsakos, No. 2. pp. 79-89.
45. Sarton, G. (1937). The history of science and new humanism. Cambridge: Harvard University Press.
46. Schung-Wille, C. (1978). Bizancio y su mundo. Enciclopedia Universal del Arte, Tomo IV: Bizancio y el Islam. Barcelona: Plaza & Janés S. A.
47. Shelton, K. R. (1990). Engineering in history. New York: Dover.
48. Smith, A. (1998). Investigación sobre la naturaleza y causa de la riqueza de las naciones. Barcelona: Oikos-Tau S.A.
49. Tyerman, C. (2005). Fighting for Christendom: Holy War and the Crusades. USA: Oxford University Press.

50. Universidad de Salamanca. (2001). Pórtico a la ciencia y a la técnica del Renacimiento. Castilla y León: Consejería de Educación y Cultura.
51. Williams, T. I. (1979). Engineering in the ancient world. Endeavour, Vol. 3, No. 2, pp. 89.

Ω

ENGINEERING IN THE TECHNOLOGY ERA: A political profession

LA INGENIERÍA EN LA ERA DE LA TECNOLOGÍA: Una profesión política

María Alejandra Buendía A., Antonio Bejarano P.

Sociedad del conocimiento, UE, España.

maleja@elitists.com

(Artículo de REFLEXIÓN) (Recibido el 3 de Febrero de 2010. Aceptado el 28 de abril de 2010)

Abstract – *Modern historians characterize the world of the early twenty-first century as entry into a new era, defined primarily by a constantly advancing technology. However, the engineer's place in this new technological society does not seem remarkable for this historical vision. In this paper argues that the pace of industrialization in the production for consumption is a decrease in the prestige and importance of the engineers, because deciding what to do to sell is not engineering. Engineering is captive in a management agenda that drives the market, engineers must exercise their profession within that agenda. Here propose that if the profession hopes to change that and play an influential role in the development of this particular era, must first recognize that technological action is a social construction; then must commit to rebuilding the foundations of engineering education on principles more centralized in the human, just as it always has on the physical principles. Is needed is not only a new vision of engineering for the future, a radical change in professional culture of engineering.*

Keywords: *engineering, profesional culture, social construction, technology.*

Resumen – Los historiadores modernos caracterizan al mundo de principios del siglo XXI como el ingreso a una nueva era, principalmente definida por una tecnología que avanza constantemente. El lugar del ingeniero en esta nueva sociedad tecnológica, sin embargo, no parece ser notable para esta visión histórica. En este artículo se sostiene que el paso de la industrialización a la producción para el consumo es el que ha disminuido el prestigio y la importancia de los ingenieros, porque decidir qué hacer para vender no es ingeniería. La ingeniería está cautiva en una agenda de gestión que impulsa el mercado, y los ingenieros deben ejercer su profesión dentro de esa agenda. Aquí se plantea entonces, que si la profesión aspira a cambiar esto y desempeñar un papel influyente en el desarrollo de esta singular Era, en primer lugar debe reconocer que la acción tecnológica es una construcción social; luego, debe comprometerse a reconstruir los cimientos de la educación en ingeniería sobre principios más centralizados en lo humano, de igual manera que siempre lo ha hecho en los principios físicos. Lo

que se necesita es una nueva visión de la Ingeniería para el futuro, un cambio radical en la cultura profesional de la Ingeniería.

Palabras clave: construcción social, cultura profesional, Ingeniería, tecnología.

INTRODUCCIÓN

“No existe duda de que a finales de 1980 y principios de 1990 terminó una Era en la historia del mundo y comenzó una nueva” (Hobsbawm, 1995). Para Hobsbawm, el tercer cuarto de este siglo marcó el final de siete u ocho milenios de la historia humana, que comenzaron con la invención de la agricultura en la Edad de Piedra. La llamada “Edad de Oro”, cubre de 1947 a 1973 d.C.; en ella hubo, por primera vez en la historia, una sola economía mundial integrada y universal, y se puso fin a la larga era en que la inmensa mayoría de la raza humana vivió del cultivo de alimentos y de la crianza de animales de pastoreo.

A finales de las décadas que le siguieron, entre 1973 y 1990 –“Décadas de Crisis”–, el mundo era incomparablemente más rico, su población considerablemente mayor que antes, y sus transacciones mucho más complejas. En estos años, al final de uno de los siglos más nefastos que jamás ha conocido la raza humana, se observa una “*extraordinaria e impactante escala de transformaciones en lo económico, lo social y lo cultural, considerada la más grande, más rápida y más fundamental de la historia*” (Hobsbawm, 1995). Los cambios que el mundo ha experimentado son tan profundos como irreversibles y, al parecer, inexorables.

Johnson (1996), otro historiador que escribe acerca de este tumultuoso período, argumenta también que el mundo alcanzó un hito al final del siglo. Para él, este siglo probó, a una escala colosal, las ideas de Rousseau acerca de que los seres humanos pueden ser transformados para mejorar mediante un proceso político. El resultado

fue una terrible destrucción de vidas y bienes, un completo fracaso de “*la ingeniería social con fines nobles*”. Johnson cita la experiencia de China de la década de 1940, cuando Mao Tse-tung pidió reformar el pensamiento como una condición previa y fundamental para la profunda transformación democrática y la progresiva industrialización del país, prometiendo una solución directa, inmediata y esencialmente política a su difícil situación.

Pero la experiencia expuesta demostró que esta creencia era una falacia (Johnson, 1996). De hecho, continúa Johnson, existen razones de peso para concluir que las políticas ideológicas fueron el principal contribuyente a la miseria humana en todo el siglo XX. Ahora, Mao Tse-tung, así como otros “*ingenieros sociales*” como Lenin, Hitler, Pol Pot, Honecker, Ceaucescu, por nombrar sólo algunos, son en gran medida desacreditados en la historia y condenados en sus propios países. Sus horrendos fracasos pusieron fin a la llamada Era Política, y ahora se ha regresado, al igual que mucho antes, a la Edad de la Religión. Así, Johnson ve también el surgimiento de una nueva era.

Ambos historiadores, Hobsbawm y Johnson, son claros al expresar las características principales de esta nueva era. El nuevo mundo de Hobsbawm está lleno de tecnología revolucionaria y en constante progreso, que impulsa hacia una economía global transnacional, traspasando las fronteras de la ideología del Estado. El mundo de Johnson se caracteriza por una pérdida de fe en el Estado como una agencia de generosidad, y por la desilusión de las ideas del socialismo y del colectivismo. Sin embargo, relacionados con el rechazo de la planificación social, también existen otros desarrollos:

[...] no sólo han ampliado las fronteras de la alta tecnología, y hecho posible el logros como recorrer largas distancias con las sondas espaciales, tan comunes en los años 1980 y 1990, la cirugía láser y la potente tecnología militar empleada en la guerra del Golfo, sino que introdujeron también la fabricación en serie y a bajo costo de productos que afectan la vida y el trabajo de cientos de millones de personas corrientes... máquinas, a menudo de asombrosa complejidad, han entrado y dominan la vida de las masas (Johnson, 1996).

En resumen, esta nueva era es la “Era de la Tecnología”. La tecnología, no la religión o la

ideología, es la que tiene hoy un lugar central en los asuntos de la humanidad.

Es preocupante para la ingeniería que ninguno de estos eminentes historiadores hiciera observaciones sobre el papel del ingeniero en este nuevo mundo, y mucho menos lo explicara. De hecho, Hobsbawm parece confundir la ingeniería, la ciencia y la tecnología en general, y se contenta con reconocer el papel de la “*tecnología*” en el logro de los grandes triunfos del progreso material. Johnson, por su parte, utiliza la ingeniería, en gran medida, como un término peyorativo en el sentido de ingeniería social, aunque hace mención del papel desempeñado por los ingenieros de San Francisco: Henry Kaiser, Henry Morrison y John McCone, en el aumento de la producción de armamentos en América durante la Segunda Guerra Mundial, pues ellos se convirtieron en héroes populares y figuraron en la propaganda de guerra, porque la tremenda capacidad productiva de la economía estadounidense, fue sin duda el verdadero motor de la victoria aliada.

Pero, en general, ni ingenieros ni ingeniería aparecen en estas historias como influencias formativas para un mundo en el que hubo un incremento de la producción industrial de 1.730 veces entre 1705 y 1971 (Johnson, 1996). Así, mientras que entre los ingenieros persiste formalmente la definición de ingeniería de Tredgold de 1928, como el arte de dirigir las fuentes de poder en la naturaleza para el uso y conveniencia del hombre, y mientras existe abundante evidencia de que esas fuentes han sido y continúan siendo “*dirigidas*” a gran escala, por fuera de la profesión no parece existir la necesidad de incluir a la ingeniería en estos grandes procesos de cambios sociales fundamentales.

¿Qué ha sucedido desde la Edad de Oro de la Ingeniería de Florman (1976) de fines del siglo XIX y principios del siglo XX, cuando a través de una práctica transparente floreció una comunidad de ingenieros industriales que creció en prestigio, poder, realización y satisfacción? ¿Cuál es la naturaleza de este nuevo mundo de la Era Tecnológica en la que los ingenieros no tienen un lugar en su historia?

LA MODERNIDAD INDUSTRIAL

Veliz (1994), en una fascinante comparación de cultura y economía en la América anglo-española, sostiene que es la vitalidad creativa del curso de la Revolución Industrial nacida en Inglaterra la que continúa dando forma a nuestro mundo moderno. Afirma que describir las últimas décadas del siglo XX como post-industriales es incorrecto y engañoso, así como “¡poco elegante!”. Por el contrario, “*la condición sine qua non característico del ámbito industrial moderno sigue siendo un vigoroso e implacable cambio*”. Veliz también ve la Era Moderna como algo totalmente nuevo en la historia humana, al proponer que:

[...] en algún momento de este siglo, el mundo atravesó un umbral casi imperceptible, pero real, a un período durante el cual los rasgos culturales y los artefactos generados por las personas, especialmente durante la Revolución Industrial, se han consolidado como los hilos principales en el tejido de los conocimientos, afectaciones, creencias y hábitos del corazón, en los que descansa la calidad de nuestra civilización (Veliz, 1994).

Esta modernidad industrial, por otra parte, no está simplemente impulsada por una capacidad para producir grandes cantidades de mercancías a precios más bajos, para su distribución a través de un mercado cada vez más creciente y global. Aunque Marx estaba convencido de que el modo de producción determina el carácter general de los procesos sociales, políticos y espirituales de la vida, Veliz sostiene que el problema crucial de la actual industrialización no es cómo producir cosas, sino qué producir. Este hecho es el que distingue al mundo moderno, y se caracteriza por un inmenso flujo de innovaciones, que añaden sin cesar complejidad y diversidad, desde los países líderes de un mundo “*que ciertamente no tambaleaba al borde de la disolución*” (Veliz, 1994).

Ampliando este tema, Veliz sitúa esta continua, creativa y vital Revolución Industrial en los EE.UU. Este centro primario de la modernidad industrial invierte y produce, copiosa y continuamente, nuevos rasgos culturales, artefactos y significados útiles, aceptables o atractivos, para las grandes multitudes del mundo moderno. Esta inmensa variedad de bienes y servicios y su llamada a las masas de consumidores en todo

el mundo, es lo que marca nuestra sociedad, de modo que en lugar del pensamiento de Marx de que “*por encima de todo... predomina la producción*”, ahora tenemos que “*el perro de la producción se mueve vigorosamente por la cola del consumo*” (Veliz, 1994).

Por muchas razones este es un cambio fundamental en la naturaleza de la industrialización, que se encuentra detrás de la desaparición de la imagen del ingeniero como promotor y agitador en la sociedad contemporánea. Esto no es a causa de que el mundo ingenieril esté diseñado de forma vacilante, en un crepúsculo post-industrial en el que las tecnologías del pasado se limitan a proporcionar una infraestructura básica sobre la que otras visiones, más actualizadas, están creciendo. De hecho sucede lo contrario, el mundo moderno está cada vez más y más poderosamente influenciado por una tecnología revolucionaria, en la que el hecho singular de que lo que se hace para vender no es una decisión ingenieril.

Hubo una época, donde cómo hacer algo era primordial tanto para la ideología como para los principios industriales, en la que el ingeniero era rey; hoy en día, las decisiones para producir buenos productos “*que satisfacen los deseos de alguien, real o imaginario, legítimo o artificial, elegante o de mal gusto*” (Veliz, 1994), están en su mayoría más allá del poder de influencia de los ingenieros. Como consecuencia, la ingeniería, que alienta e impregna muchos aspectos de la sociedad moderna, se vuelve casi invisible, y los mismos ingenieros laboran fuera del escenario, fuera de los reflectores.

LA PROFESIÓN ESTÁ CAUTIVA

Una vida en las sombras, moldeada por las luces brillantes del mundo de los consumidores en esta Era de la Tecnología no es, sin embargo, realmente incongruente con lo que parece ser una característica absolutamente intrínseca a la práctica de la ingeniería. La ingeniería, como partícipe de la acción tecnológica, tiene siempre una forma para mercadear sus capacidades. Mientras sus contribuciones fueron más explícitamente reconocidas en tiempos pasados, siempre ha operado bajo lo que Ferguson (1992) llama la “*condición ineludible de la ingeniería en todas las épocas*”, es decir, el clientelismo. Dada la

naturaleza de los trabajos de ingeniería, —aprovechamiento significativo de recursos humanos y materiales para lograr una tecnología con resultados comercialmente viables, que cambien deliberadamente el mundo físico—, el patrocinio se da en dos aspectos fundamentales: en primer lugar, el patrocinador o cliente establece la intención, decidiendo por razones específicas lo que se hará; en segundo lugar, el patrocinador proporciona los medios para lograr ese propósito.

La acción tecnológica depende de ambos. A diferencia del arte o la ciencia no hay un propósito para la ingeniería sin ellos. Las decisiones acerca del mercadeo para productos de ingeniería, una vez que la obligación se declara y justifica, se suprimen del trabajo de la ingeniería. Es el patrocinador quien potencializa el trabajo profesional hacia un objetivo específico, no al que el ingeniero puede saber o hacer.

Además, en la actualidad, es más probable que el patrocinador sea una gran corporación. Según Winner (1986), la historia social de la tecnología moderna muestra una tendencia —o quizá sería mejor decir una estrategia—, hacia la reducción del número de centros en los que la acción se inicia y se controla. Así, mientras la sociedad de consumo se caracteriza por un consumo individual en masa, también se caracteriza por grandes y complejos negocios, y organizaciones públicas que desempeñan un papel dominante en la determinación de lo que se va a consumir. Las corporaciones modernas florecen, de hecho, sobre la base de la legitimidad de sus ganancias, así como sobre su capacidad para proporcionar un flujo continuo de bienes y servicios atractivos para una masa de consumidores.

Estas empresas son las principales empleadoras de ingenieros y, si a esa mayoría se añaden los que laboran para consultoras afines o proveedores, es evidente que la mayoría de los ingenieros trabajan en una estructura de gestión dominada por la obligación de proporcionar un funcionamiento rentable de la cultura de consumo. Lo que hace la ingeniería en el mundo corporativo está determinado por los deseos de los patrocinadores, expresados a través de un programa de gestión.

Para Goldman (1984), es esta realidad, el estado generalizado y dependiente de la práctica profesional de la ingeniería, la que socava la caracterización de la ingeniería como el principal agente de cambio tecnológico. De la creencia de que la tecnología es una unidad de la ingeniería, una creencia omnipresente en la profesión, sostiene que se disfraza la actual subordinación de la ingeniería a las dinámicas institucionales de la acción tecnológica. Para él, la acción tecnológica es un proceso social en el que participan ingenieros, en lugar de algo que hacen los ingenieros.

Por otra parte, la acción tecnológica en sí misma es una decisión dirigida, no única —y sin embargo selectiva— y funciona con juicios de valor empresarial. Agrega que los problemas a los que responden los ingenieros, y la determinación de las que serán soluciones aceptables a estos problemas, no provienen de la ingeniería ni de la ciencia, pero sí de la dimensión de la gestión tecnológica.

Para internalizar los intereses del patrocinador o cliente, los ingenieros deben convertirse en “cautivos” del proceso social de la acción tecnológica. Su trabajo y sus efectos son absorbidos por el imperativo comercial de consumo que impulsa esa acción. Si el poder se entiende como la capacidad de las personas o grupos sociales para lograr sus objetivos (Winner, 1986), parecería entonces que los ingenieros, definidos como un grupo que posee un conocimiento especial y con capacidades básicas, poseen poco poder como para influenciar la forma en que la experiencia se transforma, en últimas, en un objeto de uso.

EL PODER DE LA PRÁCTICA

Por supuesto que muchos de los ingenieros, sino la mayoría, aspiran a ganar posiciones dentro de la estructura de gestión de su empresa patrocinadora. La transición de un enfoque técnico a un papel claramente de gestión, y un subsecuente progreso en el *ranking* administrativo de creciente responsabilidad, se observa como un desarrollo normal de carrera deseable, acompañado de mayor reconocimiento y remuneración. Se podría afirmar, por tanto, que los ingenieros se encuentran en posiciones de autoridad, desde las que se pueden imponer su ingeniería. Sin embargo,

como señala Goldman (1984), la subordinación de los conocimientos técnicos a la estructura de valor de la toma de decisiones administrativas no cambia, incluso si los gerentes son ingenieros.

Como gerentes, tienen la necesidad de representar la interpretación de los juicios de valor con relación a los intereses de aquellos en cuyo nombre dirigen. Inclusive, si el propietario de una empresa es un ingeniero, el juicio de lo que podría ser rentable siempre tendrá prioridad sobre lo que podría considerarse como intrínseca y técnicamente desafiante e interesante, pero sin un mercado. Por tanto, continúa siendo la concepción parroquial del patrocinador del valor de la acción tecnológica, en lugar de las posibilidades técnicas, como el ingeniero gerente responde. El poder posicional se lleva a cabo y se ejerce sólo en su mandato.

También podría argumentarse que, dentro de una empresa de base tecnológica, el funcionamiento del propio programa de gestión estará condicionado y limitado, aunque sea indirectamente, por la base de conocimientos y las conexiones técnicas particulares con las que participan los ingenieros en su programa tecnológico. En este argumento, las decisiones del patrocinador podrán en efecto circunscribirse para conformar una cultura técnica particular con los elementos ingenieriles de la empresa, por lo tanto estos últimos ejercen una forma de poder influyente.

No hay duda de que esto sucede, como lo evidencian las características persistentes de ciertos productos de marca. Sin embargo, como observa Goldman (1984) una vez más, la determinación de hacia cuál dirección de desarrollo de cierta base de conocimiento se llegará, o cuál gama de productos se producirá, se hace con base en los valores de juicio económicos, institucionales, políticos, sociales y personales. Frente a éstos, las modas técnicas pueden quedar rápidamente sumergidas.

Existe, sin embargo, un rasgo de la acción tecnológica que, con frecuencia se alega, debe ser conducido por la ingeniería. Goldman reconoce "*el ingenio sin límites de los ingenieros*", señalando que no parece haber ningún punto en el que se detendrán para ofrecer mejores soluciones a los

problemas que han asumido. Este atributo distintivo de los ingenieros crea otra forma de poder influyente, basado tanto en su personalidad como en su conocimiento y experiencia. La industria de la microelectrónica proporciona muchos ejemplos de esto, pero incluso en este caso, como dice Goldman, las estrategias de comercialización adoptadas por las empresas patrocinadoras son la expresión de una deliberada y cuidadosamente calculada restricción gerencial de la inteligencia latente de sus ingenieros.

El así llamado "*imperativo tecnológico*", —que, no cabe duda, se deriva de ideas inteligentes—, en realidad siempre se asocia con un compromiso, esencialmente no técnico, de emplear el capital para explotar el conocimiento de forma particular. Los ingenieros, en efecto, ejercen un poder posicional e influyente, pero no como miembros de un grupo que posee determinadas competencias ingenieriles, si no más bien como participantes en decisiones manifiestamente políticas. La práctica ingenieril está profundamente arraigada en procesos de toma de decisiones, y no sólo sociales, lo que es fundamentalmente político.

POLÍTICA DEL INGENIERO

Es claro entonces que en la Era de la Tecnología, la facultad para dirigir la acción tecnológica no se deriva de las bases del conocimiento localizado en un ámbito puramente técnico, ni siquiera en la capacidad para administrar ese contenido eficientemente; es dominada por la estructura de valor de su nivel de decisión, que a su vez es una respuesta selectiva a los valores presentes en la vida y conformación de una comunidad. La "*comunidad*" de finales del siglo pasado fue cada vez más global en su perspectiva y alcance y, también cada vez más, ha demostrado estar muy unida a los "*hábitos del corazón*" engendrados por una revolución industrial en curso.

Esta es la naturaleza del mundo del ingeniero. La modernidad prospera en un perpetuo cambio tecnológico impulsado por una manera de concebir el mundo a la que, indiscutiblemente, los ingenieros en el pasado han hecho enormes contribuciones, pero en la que la práctica de la ingeniería

está condicionada por la integración de los conocimientos técnicos, que prevalecen en los valores personales y sociales y en sus encarnaciones institucionales (Goldman, 1984). Pero los ingenieros mismos no parecen situar su trabajo en este contexto básicamente político.

Fuera de la profesión, la contribución que la ingeniería hace a la sociedad contemporánea parece ser aún menos evidente. De acuerdo con Goldman (1990, 1991), la ingeniería ha sido tratada con condescendencia en la cultura occidental, y lo continúa siendo incluso entre los intelectuales que han descubierto el significado cultural de ciencia y, más recientemente, de tecnología. Tal vez sea esta negligencia lo que ha llevado a dos caracterizaciones populares de la ingeniería moderna, como ciencia aplicada y como el principal agente de cambio tecnológico, que tergiversan su teoría y su práctica.

Tampoco reconocen la naturaleza esencialmente política de la práctica de la ingeniería. Tal vez no sea muy sorprendente después de todo, ya que de las interpretaciones académicas en la historia no se podría extraer un marco intelectual para distinguir entre ingeniería, ciencia y tecnología. En lugar de ocupar un lugar de honor en la historia más notable de este siglo, ¿será que esa especie especial, el ingeniero como ingeniero, está en peligro de extinción, tanto en la mente de los ingenieros como de los observadores por fuera de la profesión? La ingeniería misma parece estar en una encrucijada.

Si nos contentamos con definir nuestro papel como instrumento solucionador de problemas, y con configurar nuestra experiencia en una técnica derivada y en un ámbito de gestión, no podremos reforzar nuestras relaciones existentes con la sociedad. En un mundo cuya base de tejido social está cada vez más intrincada de hilos tecnológicos, nos convertiremos en fabricantes especializados y fijadores de ese tejido. Como profesión, nuestra formación y ética ya encajan bien en ese papel. El futuro depara cambios enormes y excitantes posibilidades técnicas, como la continua, creativa y vital Revolución Industrial que transformó nuestras comunidades globales. Sin duda tendremos un lugar en este mundo, pero quizá no en su historia. El destino de los

ingenieros en la sociedad contemporánea muestra que el conocimiento no es poder. No vamos a estar en condiciones de determinar para qué se puede utilizar nuestro fino tejido.

Por otra parte, si la profesión aspira a un papel formativo en esta sociedad, para tener una poderosa influencia en la forma en que nuestra experiencia particular podría transformar el futuro, puede que se tengan que redefinir sus relaciones con esta sociedad. Si optamos por este segundo camino, aceptando que es nuestra responsabilidad participar plenamente en las decisiones acerca de lo que pasará con el tejido tecnológico, entonces hay dos cosas claras. En primer lugar, las iniciativas necesarias para el cambio vendrán solamente de la misma ingeniería; en segundo lugar, el resultado del proceso de cambio podría ser una profesión transformada sustancialmente. De hecho, gran parte de nuestra herencia puede tener que ser respetuosamente retirada, al crear una nueva visión de la ingeniería en esta Era de la Tecnología. ¿Pero dónde comienza este camino y a dónde podría llevarnos en un futuro si lo elegimos?

LA TRANSFORMACIÓN DE LA PROFESIÓN

En la modernidad industrial de Veliz (1994) está la corporación moderna, en la que la acción tecnológica impulsa el logro de objetivos específicos y, es la fuerza principal que promueve la creación de materiales, formas culturales y los accesorios que caracterizan nuestra época. Además, es esa corporación la que ofrece la mayoría de los medios para trabajar en ingeniería, así que si se busca un lugar para la transformación política de la profesión, de su lugar y futuro, es dentro de las estructuras corporativas donde se debe buscar.

Schein (1999), en la búsqueda de explicaciones el error que cometen algunas organizaciones, o la mayoría, de aprender cómo aprender, considera que en toda organización conviven tres culturas particulares: el operador, el ingeniero y el ejecutivo. Define la cultura en esta circunstancia como

[...] un conjunto de supuestos tácitos básicos acerca de cómo es el mundo, y que es compartida por un conjunto de personas en las que determina sus percepciones,

pensamientos, sentimientos y, hasta cierto punto, su conducta manifiesta (Schein, 1999).

Una cultura se manifiesta en tres niveles: en supuestos tácitos intensos, en valores que adopta y en el comportamiento del día a día. Schein ve dos elementos en la formación y estilo de las tres culturas en cualquier organización: el primero, derivado de las experiencias únicas de sus miembros, y el segundo, la consecuencia de lo que llama “*comunidades de trabajo*” que atraviesan las organizaciones. Además, cree que la cultura de la ingeniería, en la mayoría de las empresas, está fuertemente influenciada por el segundo factor, y que gran parte de los fracasos de algunas empresas para prosperar pueden deberse a la interacción disfuncional de las tres culturas. Éstas realmente no se comprenden muy bien entre sí, y con frecuencia trabajan con propósitos cruzados.

Quizás aquí también se encuentra la razón específica de la dismución del poder y la influencia de la profesión del ingeniero en la sociedad industrial contemporánea. La acción de compartir con el exterior se centra en un conjunto de supuestos, valores y comportamientos, lo que es básicamente disfuncional en la empresa moderna. Como consecuencia, su política es ineficaz y cada vez se margina más de la determinación de líneas para la acción tecnológica. El carácter esencial de esta disfunción cultural fue capturado brevemente por Schein (1999), cuando describió un signo en el estacionamiento de una empresa que tenía una cultura de ingeniería dominante: “*límite máximo de velocidad 5,8 millas por hora*”; además, describe la cultura ingenieril como:

Los ingenieros y los tecnócratas de todas las tendencias son atraídos a la ingeniería, en primer lugar, por ser abstracta e impersonal. Su educación refuerza la idea de que los problemas tienen soluciones abstractas, y las soluciones pueden, en principio, ser implementadas en el mundo real con productos y sistemas que están libres de debilidades y errores humanos. Los Ingenieros, y estoy usando este término en su sentido más amplio, son los diseñadores de productos y sistemas que tienen utilidad, elegancia, permanencia, eficiencia, seguridad y, tal vez, como en el caso de la arquitectura, incluso estética, pero están diseñados básicamente para exigir respuestas a estándares de sus operadores humanos, o, idealmente, no tener

operadores humanos en absoluto (Schein, 1999).

En el lado opuesto está la realidad expresada por O'Brien (2003) en una serie de ensayos acerca del carácter y la corporación, que, en materia de gobierno corporativo e institucional expresa:

Puesto que son las personas quienes toman las decisiones y realizan las acciones que determinan los resultados de una organización, los seres humanos son la influencia más importante en el desempeño de la misma en el mercado competitivo y, en consecuencia, en sus logros financieros a largo plazo. Por lo tanto, deberían comprender los principios de su gobierno y desarrollo, para decidir acerca de los asuntos físicos y financieros (O'Brien, 2003).

He aquí, pues, la esencia de la transformación. La profesión tiene que atraer a un número de personas cuyas principales preocupaciones sean “*los principios centrales de los asuntos humanos para que podamos elegir vivir nuestras vidas y guiar nuestras organizaciones*” (O'Brien, 2003). El contorno de la brecha en la cuenca en la que se encuentra la profesión está claramente definido. En un lado se encuentra el territorio familiar, en el que las características dominantes se componen de una base de ciencias físicas, interpretadas a través de la abstracción matemática, con *know-how* tecnológicos superpuestos y cubiertos con habilidades de gestión operacional.

La topografía de la ladera opuesta, en cambio, es mucho más variada. Su base rocosa es un conglomerado de ciencias físicas y sociales, cementados por los determinantes sociales de la acción tecnológica. Lleva una cubierta gruesa de buenas prácticas profesionales derivadas de capacidades técnicas, responsablemente colocadas en el contexto social imperante. La capa superior aquí es el compromiso de buen gobierno y de desarrollo humano, un compromiso para hacer lo correcto, así como para pensar lo correcto. Para transformar la profesión es necesario darle también una voz influyente en la modernidad industrial, que es lo que la educación en ingeniería necesita hoy para cambiar y reconstruir su lugar para el futuro. La educación en ingeniería debe prometer crear un nuevo tipo de profesionales, desde una apertura con profundo apego a “*los*

principios centrales de los asuntos humanos", así como al progreso potencial de las posibilidades materiales humanas.

CONCLUSIONES

Si optamos por seguir el segundo camino, que para muchos sigue siendo un territorio poco familiar, inevitablemente ingresaríamos en la generación de una nueva cultura para la ingeniería. Hasta ahora, a lo largo de las generaciones que han llegado a esta nueva era, nos hemos definido a nosotros mismos principalmente en términos de nuestros logros materiales. En cierto sentido, los ingenieros hemos sido absolutamente apolíticos, inclinados a buscar legitimidad en lo que podemos diseñar y producir.

Nuestra lealtad, como miembros de una de las comunidades ocupacionales de Schein (1999), ha sido por los ideales de excelencia

técnica que tienen un atractivo universal y, pensamos, una relevancia universal como particular.

Esta nueva y emergente identidad cultural debe tener su origen en la realización que los desarrollos tecnológicos tienen en la nueva era, y proceder en el contexto político, que no se define en el sentido estricto de la política partidaria o la acción del gobierno, sino de un modo mucho más profundo, en el sentido de conexión con la vida misma de una comunidad ordenada. Seguramente debemos conservar nuestra lealtad a la excelencia técnica, pero nuestros supuestos, valores y comportamientos también deben ser "*congruente con los fundamentales y más profundos atributos de la naturaleza humana*" (O'Brien, 2003). Tenemos que involucrarnos con este increíble nuevo mundo de una manera fundamentalmente política.

REFERENCIAS

1. Ferguson, E. S. (1994). *Engineering and the Mind's Eye*. Cambridge: The MIT Press.
2. Florman, S. C. (1976). *The Existential Pleasures of Engineering*. New York: St Martin's Press.
3. Goldman, S. L. (1984). The techne of philosophy and the philosophy of technology. *Research in Philosophy and Technology*, Vol. 7, pp. 115-144.
4. Goldman, S. L. (1990). Philosophy, engineering and western culture. In Durbin Paul T. (Ed.), *Broad and Narrow Interpretations of Philosophy of Technology*. Dordrecht: Kluwer.
5. Goldman, S. L. (1991). The social captivity of engineering. *Critical Perspectives on Nonacademic Science and Engineering*, Vol 4, pp. 121-143.
6. Hobsbawm, E. (1995). *Age of Extremes: The Short Twentieth Century 1914-1991*. London: Michael Joseph.
7. Johnson, P. (1996). *Modern Times: A History of the World from the 1920s to the 1990s*. London: Phoenix Giant.
8. O'Brien, J. W. (2003). Character and the corporation. In Adam Kahane (Ed.) *GBN Book Club Review*, Vol. 16, No. 5.
9. Schein, E. H. (1999). *Three cultures of management: The key to organizational learning in the 21st century*. MIT Sloan School of Management, Working Papers.
10. Veliz, C. (1994). *The New World of the Gothic Fox*. Berkeley: University of California Press.
11. Winner, L. (1986). *The Whale and the Reactor*. Chicago: University of Chicago Press.



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.

WHY JOHNNY CAN'T UNDERSTAND EWD991-0

Edsger Wybe Dijkstra

POR QUÉ JOHNNY NO PUEDE COMPRENDER

Traducción

Edgar Serna Montoya

Grupo de investigación SISCO, Medellín Colombia.

edgar.sernamo@amigo.edu.co

Hace unos años escuché una conferencia acerca de la estructura de las pruebas. Sin vacilar, el orador recurrió a los gráficos y las pruebas se convirtieron en grafos dirigidos, con flechas que recorrían desde los antecedentes hasta los consecuentes —por aquellos días Mathematics Inc. hubiera comercializado ese producto como “Entendimiento Asistido por Computador a través de Animación Argumental”. Después de quince minutos, el orador llamó nuestra atención sobre el hecho de que algunas pruebas eran planas, mientras que otras no lo eran. Luego, mostró cómo las transformaciones simples de unas pruebas en otras, lógicamente equivalentes, podrían cambiar su planaridad; pero, en vez de concluir que la planaridad de las pruebas, por consiguiente, no era probablemente un concepto relevante, se embarcó en un estudio de argumentos intrínsecamente no planos, y otras cosas.

Fue la conferencia más sinsentido que había escuchado en años —es por eso que todavía la recuerdo. El pobre individuo era una seria víctima de su educación: confundía el grafo dirigido como subconjunto de los pares ordenados, con la representación pictórica de flechas entre puntos —si esa misma mente hubiese sido educada en matrices de incidencia, podría haber hecho una conferencia acerca de los valores propios de las pruebas.

Esto es lo que nos sucede una y otra vez. Cuando un nuevo concepto se introduce, se nos dan algunos ejemplos desde un contexto prometedoramente familiar, o se nos dan uno o dos modelos en los que el nuevo formalismo, sus objetos y operaciones, pueden ser “comprendidos”. Y realmente se nos anima a hacer estas interpretaciones para convencernos a nosotros mismos de que el nuevo formalismo “tiene sentido”. Pero

fallan, sin embargo, al no advertirnos que tales interpretaciones tienden a ser engañosas, porque los modelos están sobre-especificados, que tales hábitos de comprensión son absolutamente confusos cuando las visualizaciones que los acompañan impiden la imaginación, y que la carga mental del movimiento desde y hacia la fórmula y su interpretación es mejor evitarla. De hecho, uno sólo puede esperar que, con una familiaridad creciente del formalismo, el modelo se desvanezca suavemente de nuestra conciencia.

Esto tiene su origen desde que nos enseñaron los números naturales. No aprendimos que $2 + 3 = 5$, sino que primero aprendimos —gráficamente— que dos manzanas y tres manzanas son cinco manzanas; después con peras, plumas, gatos, árboles y elefantes. El modelo manzana es lamentablemente inadecuado, ya que, para acomodarlo al producto, la manzana tiene que elevarse al cuadrado, y esto, afortunadamente, lo hace desaparecer, pero no antes de que se haya creado un obstáculo para los enteros negativos. Se puede argumentar que continuamos pagando el precio; a saber, si consideramos la invisibilidad del cero en el modelo manzana como responsable de todas las complicaciones matemáticas causadas por el hecho de considerar al 1 como el menor número natural. Aunque, en comparación con los griegos hemos sido afortunados: con sus segmentos de línea podían multiplicar muy poco; por desgracia, no lo suficiente como para expulsarlos de su modelo. Finalmente, las matemáticas griegas murieron por su pobreza conceptual y complejidad pictórica, lo que constituye una lección para todos nosotros.

Dudo seriamente que el desvío por el modelo manzana sea esencial para la enseñanza de los números enteros a niños pequeños; pero

incluso si ese fuera el caso, no veo la razón para que un proceso de aprendizaje que podría ser apropiado para niños pequeños, deba serlo también para la mente de un adulto. Y sin embargo, ésta parece ser la hipótesis con la que la mayoría de escritores, y muchos lectores adultos, funcionan. Mi “triste” conclusión es que los patrones más extendidos de comprensión no han sido seleccionados de manera reflexiva por su eficacia y, que antes que eso, han sido descritos como hábitos adictivos, muchos de los cuales merecen una “advertencia del cirujano general”.

Mi observación más común es ver a las personas sentirse más cómodas con lo específico innecesario. Cuando los enfrentamos a un conjunto parcialmente ordenado, mentalmente lo asocian “*por ejemplo, con los enteros*”. Mientras yo fui entrenado para saltar los ejemplos al leer un texto —porque pueden ser superfluos y, en todo caso, distractores—, veo personas que se sienten incómodas cuando se enfrentan a un texto sin ejemplos. Las personas tienen dificultad para entender una construcción que contiene un parámetro natural k , y me han asegurado que esa parametrización les presenta un obstáculo adicional que podrían eliminar por el principio de sustitución de k por un valor pequeño, digamos 3. No tengo ninguna razón para dudar de su palabra; el extraño fenómeno probablemente está

conectado con el hecho de que k no se produjo en un contexto muy aritmético, sino como la longitud de las cuerdas o el número de aristas reunidas en un vértice; es decir, contextos que utilizan para confrontar en términos de imágenes. A mitad del texto, una permutación “*arbitraria*” les crea problemas similares; hubieran preferido una específica, posiblemente seguida al final por un comentario que indicara que la elección de la permutación realmente no importaba. Es muy extraño, hasta desconcertante, ver personas perturbadas cuando se dejan abiertas cuestiones cuyas respuestas son irrelevantes.

Una observación final sugiere que, en efecto, nuestro sistema educativo tiene la culpa. Recuerdo muy bien la introducción de la idea de que era deber del profesor motivar a sus estudiantes —la recuerdo muy bien porque yo pensaba que la idea era muy absurda. Ahora encuentro jóvenes científicos educados bajo el régimen de la motivación, y tienen una desventaja muy notable: su habilidad para absorber información sin motivación se limita a unas diez líneas. El objeto y su propósito son cosas diferentes, pero no han aprendido a distinguirlos, y ahora son incapaces de separar las preocupaciones correspondientes. Se trata de un horrible ejemplo de cómo la educación puede infundir necesidades psicológicas que resultan ser un serio obstáculo.

Austin, 5 de noviembre de 1986
Profesor Dr. Edsger W. Dijkstra
Departamento de Ciencias de la Computación
Universidad de Texas de Austin
Austin, TX 78712-1188
Estados Unidos de América

Ω

NOMBRES DE CIENCIA

En esta sección se describirá en cada número la vida de los hombres de ciencia 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 el desarrollo científico, para hacer de este planeta un mejor lugar para vivir, con responsabilidad y respeto por los derechos de todos 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 XX 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.

GALILEO GALILEI



Edgar Serna M., José Marquiná F., Eugenio Fernández R.

Colombia, México, España

edgar.sernamo@amigo.edu.co

Vincenzo Galilei nació en Santa María del Monte, cerca de Florencia, en 1520. Famoso intérprete del laúd, además de compositor y teórico musical, contribuyó significativamente al progreso y evolución de la música en el siglo XVI. En un aparte de su obra *“Dialogo della musica antica e della moderna”*, escribió:

Me parece que quienes confían sin más en la autoridad como prueba de una cosa cualquiera y no tratan de aducir alguna razón válida, proceden de forma ridícula... Yo deseo... que se me permita plantear cuestiones libremente, así como responder sin ningún tipo de adulación, pues esto es lo que verdaderamente conviene a quienes buscan la verdad de las cosas.

Su primer hijo, nombrado Galileo, nació el 15 de febrero de 1564 en Pisa. A la edad de 17 años, Galileo ingresó a la Universidad de Pisa a estudiar medicina, la que abandonó cuatro años más tarde sin haber obtenido un título. Por cuatro años se dedicó a practicar diversas actividades, con lo que enriqueció sus conocimientos en matemáticas, filosofía y literatura. En 1589 regresó a la universidad como catedrático de matemáticas. Dos años más tarde murió su padre, por lo que Galileo tuvo que hacerse cargo de la familia e ingeniar la forma de conseguir un trabajo con mejor remuneración que el de la universidad, pero sobre todo con un futuro más prometedor; así en 1592 logró obtener la cátedra de matemáticas en Padua, en la que trabajó durante 18 años. En este tiempo

construyó su física y se casó con Marina Gamba, con quien tuvo tres hijos. Por esta misma época leyó el *“Mysterium cosmographicum”* de Kepler, con cuyas ideas estuvo de acuerdo, y gracias al cual pudo acercarse al pensamiento de Copérnico, del cual adoptó su doctrina, aunque no pudo esgrimirla públicamente

[...] temeroso de la suerte que corrió el propio Copérnico... quien, aunque adquirió fama inmortal, es para una multitud infinita de otros –que tan grande es el número de necios– objeto de burla y escarnio.

En 1609, mientras seguía sus estudios del movimiento, se enteró que en los Países Bajos se había inventado un aparato con el cual era posible ver de cerca a los objetos distantes. De este descubrimiento tomó Galileo la idea de construir el suyo; idea que presentó al Senado de Venecia con el ánimo de obtener ayuda económica, la cual consiguió en 1611, y con él apuntó al espacio para comenzar las observaciones que posteriormente plasmaría en su libro *“Sidereus nuncius”*. El contenido de este texto relaciona todo su trabajo acerca de la superficie lunar, y el descubrimiento de los satélites de Júpiter: Io, Europa, Ganimedes y Calixto, a los que llamó *“astros mediceos”* debido a que el libro lo dedicó al conde Cosme de Médicis.

Aunque al comienzo recibió duras críticas por utilizar el telescopio para observar el

espacio, Galileo y el *Sidereus* fueron el comienzo de una nueva era en la astronomía, al punto que ese mismo año fue recibido en Roma por el mayor astrónomo de la iglesia, el padre Clavius, quien reconoció y valoró las virtudes del instrumento y recalcó su utilidad en la observación astronómica; también fue recibido por Pablo V, y fue nombrado miembro de la *Accademia dei Lincei* por el príncipe Federico Cesi, gran científico romano. Además, fue nombrado “Gran Matemático y Filósofo de la Corte de los Médicis”, por lo que se trasladó a Florencia desde donde continuó observando el espacio.

Sus reportes, en forma de anagramas, incluyeron datos como que Saturno tenía dos satélites —con los que confundió sus anillos—, y que Venus tenía fases como la Luna. En 1613, con el patrocinio de la *Accademia dei Lincei*, publicó un nuevo libro, *Historia e dimostrazioni intorno alle macchie solari*, en el que apoya abiertamente “[...] *el gran sistema copernicano, a favor de cuya revelación universal soplan ahora propicias brisas que nos disipan todo temor de nubarrones o vientos cruzados*”.

Ese mismo año, en una reunión entre la duquesa Cristina de Lorena, madre de Cosme de Médicis, el padre Castelli, amigo de Galileo, y el doctor Boscaglia, profesor de filosofía, se presentó una discusión entre estos últimos acerca del problema teológico de aceptar la teoría del heliocentrismo. Castelli recurrió a Galileo para comentarle los resultados de la anécdota, por lo que inmediatamente redactó una *Lettera* a Castelli —posteriormente la convirtió en la *Lettera a Madama Cristina de Lorena, Granduchessa di Toscana*—, en la que decía: “[...] *es costumbre de las Escrituras decir muchas cosas que son diferentes de la verdad absoluta*” y que

[...] las conclusiones físicas, las cuales han demostrado ser verdaderas, no se les debe dar un lugar más bajo que a los pasajes escriturales, sino que uno debe aclarar cómo dichos pasajes no son contradictorios con tales conclusiones...

Por el contenido de estas aseveraciones pareciera que Galileo no conocía las resoluciones del Concilio de Trento —1545-1563— en las que se prohibía interpretar libremente las escrituras, aunque en el contenido de la misma argumentaba, acerca

de las resoluciones, que se referían a “*aquellas proposiciones que son artículo de fe o involucran a la moral...*” y que “*el movimiento o reposo de la Tierra o del Sol no son artículo de fe y no están en contra de la moral*”, por lo que se consideraba en libertad de ofrecer una interpretación a las escrituras y, además, explicar cómo interpretar las mismas resoluciones. Galileo también referenció en la misma carta, con una visión copernicana, el milagro de Josué en la Biblia, como ejemplo para aquellos que mantenían la idea de que el heliocentrismo contrariaba las escrituras.

El cruce de cartas que se originó desde ese momento culminó con la acusación de Galileo ante el tribunal del Santo Oficio. Fue un proceso oculto, sin la participación de Galileo, pero del que se mantenía enterado gracias a sus amigos romanos. Entre las personas más influyentes se contaba el cardenal Bellarmino, un influyente teólogo del catolicismo y consultor directo del Santo Oficio.

En su carta de 1615 al padre Foscarini, quien había escrito un texto con el objetivo de reconciliar la visión copernicana con la Biblia, Bellarmino exponía: “*me parece que vuestra reverencia y el señor Galileo obráis prudentemente cuando os contentáis con hablar de manera hipotética y no absoluta...*”, y luego señalaba

[...] de contarse con una prueba real de que el Sol está en el centro del Universo, y la Tierra en la tercera esfera... deberíamos proceder en tal caso con gran circunspección para explicar pasajes de las Escrituras que parecen enseñar lo contrario... Pero no creo que exista tal prueba, puesto que nadie me la ha mostrado.... Y, en caso de duda, no puede uno abandonar las Sagradas Escrituras tal como las expusieron los Santos Padres.

Ese mismo año Galileo acudió a Roma para entablar su defensa personalmente, pero no pudo entrevistarse con las personas influyentes, por lo que debió tratar con intermediarios. En 1616 envió al cardenal Orsini un texto explicando su teoría de las mareas, y que consideraba la prueba definitiva del movimiento terrestre. La respuesta del Santo Oficio fue un veredicto acerca del heliocentrismo que decía: “*necia y absurda... desde el punto de vista filosófico, a la vez que formalmente*

herética”, y acerca del movimiento de la Tierra “*merece idéntica censura... desde el punto de vista filosófico, mientras que desde el punto de vista teológico es cuando menos errónea por lo que respecta a la fe*”. Tras lo que el Papa solicitó a Bellarmino que le notificara a Galileo que, en adelante, le estaba prohibido sostener y defender lo que quedaba censurado, y que en caso contrario la Inquisición procedería en su contra.

Para hacer énfasis en estas resoluciones prohibitivas, la Congregación General del Index decretó que la doctrina en la que se planteaba que el Sol está inmóvil y que es la Tierra la que se mueve era falsa y que se oponía a las sagradas escrituras, por tanto [...] para que esta opinión no continúe difundándose para perjuicio de la verdad católica, la Santa Congregación ha decretado que la obra *De revolutionibus orbium coelestium*, del citado Nicolás Copérnico, y *Sobre Job*, de Diego de Zúñiga, queden suspendidas hasta que se les corrija.

Galileo se alejó de la astronomía hasta 1618, cuando fueron visibles tres cometas; hecho que fue relacionado por Oratio Grassi en su tratado sobre los cometas, un escrito muy alineado con las ideas de Tycho Brahe. Mario Guiducci, amigo de Galileo, respondió a este escrito con otro, el *Discorso delle comete*, en el que contrariaba la posición de Grassi. Como era de esperarse, los jesuitas encontraron la influencia de Galileo en esta obra, y publicaron la *Libra astronomica ac philosophica*, de Lotario Sarsi Sigensano contrario a Grassi. En tal libro, olvidándose de Guiducci, el ataque personal a Galileo fue evidente, por lo que éste se dio a la tarea de redactar su respuesta; en 1623 la publicó como *Il saggiatore*, en la que describe, mediante un extraordinario discurso, la concepción metodológica galileana.

En el período antes de la publicación se eligió un nuevo Papa en Roma. El elegido fue Maffeo Barberini —Urbano VIII—, florentino y con fama de intelectual, por lo que Galileo le dedicó su libro. Consideró que el arribo del nuevo pontífice podría cambiar un poco las doctrinas promulgadas hasta entonces, por lo que se dedicó a redactar su obra más famosa, el *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano*. Y, aunque no le fue fácil lograrlo, finalmente lo publicó en 1632, sólo para terminar confiscado por la

Inquisición casi de inmediato. En octubre de ese mismo año, Galileo fue citado a comparecer en Roma, a lo que se negó aduciendo problemas de salud; esta disculpa incrementó el enojo de las autoridades eclesiásticas, y dio origen a una misiva al inquisidor en Florencia en la que se señalaba que

[...] Congregación del Santo Oficio se ha comentado desfavorablemente que Galileo no haya obedecido prontamente al mandato de acudir a Roma... por tanto... si no obedece en seguida se enviará ahí un Comisario con medios para detenerlo y conducirlo a las cárceles de este supremo Tribunal, ligado con hierros si es preciso.

El 12 de abril de 1633 Galileo compareció ante el tribunal del Santo Oficio, y desde ese momento, mientras se desarrollaban los interrogatorios, fue mantenido en calidad de prisionero, aunque no en la cárcel sino en la casa del fiscal. En el segundo interrogatorio declaró reconocer que la idea central en su libro, “*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*”, parecía ser la defensa del copernicanismo, pero que esa no era su intención; este hecho lo liberó como prisionero, por lo que se hospedó con su amigo, el embajador Nicolini.

Para la tercera convocatoria ante el tribunal, Galileo presentó una defensa escrita en la que pedía clemencia ante el trato al que lo sometían. Luego de comparecer por cuarta vez, fue sometido a un examen riguroso, al final del cual declaró no tener ni haber tenido “*esta opinión de Copérnico desde que me fue ordenado que la abandonara; por lo demás, estoy aquí en sus manos, hagan lo que les plazca*”. Finalmente fue sentenciado: se le encontró “*vehementemente sospechoso de herejía*”, por lo que fue sentenciado a prisión formal, se prohibió su libro, y se le impusieron algunas “*saludables penitencias*”.

Luego de la sentencia, y de rodillas en la sala del convento de Santa María de Minerva, Galileo debió pronunciar una abjuración pública:

Yo Galileo Galilei, hijo del difunto Vincenzo Galilei, florentino, de setenta años de edad, constituido personalmente en juicio y arrodillado ante vosotros, eminentísimos y reverendísimos cardenales de la Iglesia Universal Cristiana, inquisidores generales contra la malicia herética, teniendo ante mis ojos los Santos y Sagrados Evangelios que toco

con mis manos, juro que he creído siempre, que creo ahora y que, Dios mediante, creeré en el futuro todo lo que sostiene, practica y enseña la santa Iglesia Católica Apostólica Romana... Yo Galileo Galilei, supraescrito, he abjurado, jurado, prometido y me he obligado como figura más arriba; y en testimonio de la verdad he escrito la presente cédula de abjuración y la he recitado palabra por palabra en Roma, en el convento de Minerva, este 22 de junio de 1633.

Confinado a su villa en Arcetri, Galileo regresó a la que había sido su pasión de juventud: la física terrestre. En 1638 publicó los *Discorsi e dimostrazione matematiche intorno a due nuove scienze, attinenti alla meccanica e i movimenti locali*, en los que se esgrimió como precursor de la física de materiales, y fundó la para entonces moderna ciencia del movimiento al detallar su cinemática.

A los 77 años, la noche del 8 de enero de 1642, murió en Arcetri, y su cuerpo fue enterrado en la iglesia de la *Santa Croce* en Florencia, junto a Miguel Ángel. Algunas de las palabras de su padre parecen resumir la vida de Galileo: *“Yo deseo... que se me permita plantear cuestiones libremente... pues esto es lo que verdaderamente conviene a quienes buscan la verdad de las cosas”*.

LA HERENCIA DE GALILEO

En 2009 se conmemoraron cuatrocientos años desde que Galileo utilizó por primera vez el telescopio para observación astronómica, al cual, posteriormente usó para observar los cráteres de la Luna, los satélites de Júpiter, y las fases de Venus. Además, fue una ocasión que permitió reflexionar acerca de los aspectos de su actividad astronómica, que marcaron con una profunda huella la forma como se ha hecho, en el transcurso del tiempo, la investigación científica. Las siguientes son las lecciones y las enseñanzas que nos heredó Galileo.

1. Hasta sus 45 años, Galileo se había dedicado primordialmente a estudiar la física, pero con un interés pequeño por la astronomía. En el primer campo del conocimiento había hecho aportes como que, en condiciones de vacío, los cuerpos caen, influenciados por la gravedad, con igual velocidad; o su deducción de que usando un péndulo era posible medir el tiempo. Su primera investigación en

astronomía la realizó en 1605, en torno del descubrimiento de Kepler, al discutir la distancia a la supernova 1604. Para 1609 se enteró, como se mencionó antes, que en los Países Bajos se había construido un aparato que permitía ver las cosas lejanas como si estuvieran cerca. Entonces se dedicó a la astronomía; y por varios años dedicó todo su esfuerzo a estudiar lo que él mismo llamaría *“grandes y muy admirables maravillas”*, que podían observarse en el espacio. Aprovechar las oportunidades que aparecen en un momento dado, es la primera lección que Galileo dejó a la humanidad.

2. Debido a que necesitaba ayuda económica para financiar sus observaciones, diseñó y construyó para los militares, ayudado por artesanos de la región, un compás geométrico que aquellos utilizaban para calcular las distancias de la artillería; además de comercializarlo, Galileo capacitaba en su manejo. Mantener contacto con los artesanos de su entorno le facilitó la construcción del aparato descubierto en los Países Bajos, y al que denominó *“telescopio”*. Dado que la óptica no estaba ampliamente desarrollada, tuvo que aplicar un proceso de prueba y error para mejorar el diseño original, con lo que amplió los aumentos de su aparato de 3 a 30 en sus mejores versiones. Con estos adelantos, pudo realizar muchos de sus descubrimientos en los cuerpos celestes. Aprovechar las experiencias ganadas es otra de las lecciones que dejó Galileo para la posteridad.

3. La tercera lección que Galileo nos heredó es que es necesario escribir todo lo que se encuentra en el área de interés, pero hacerlo de la mejor forma posible. Se aprovechó del hecho de que escribía muy bien para no sólo consolidar el concepto de que se deben publicar las contribuciones científicas realizadas, sino para hacerlo con maestría ejemplar. Algunas de sus publicaciones fueron escritas en italiano y otras en latín, el lenguaje científico de entonces. Gracias a sus publicaciones en italiano, esta lengua avanzó en el propósito de divulgación científica, algo parecido a lo que ya Maquiavelo había provocado con sus escritos en la filosofía política.

4. La última lección aprendida en este análisis a Galileo, es que fue el primero en lograr conjugar la investigación básica, la investigación aplicada, la tecnología, y la innovación para lograr los objetivos que se trazaba en cada proyecto iniciado. Hace cuatrocientos años, Galileo ya sabía que estos elementos tienen que estar presentes simultáneamente si la idea es buscar el desarrollo de una sociedad. Algo que hoy parece olvidarse, ya que el interés se enfoca sólo en uno de ellos, por lo que las cifras acerca de la investigación se presentan de forma dispareja en todo el mundo. En algunos países, por ejemplo, la investigación en desarrollo industrial se incrementa, lo que hace que tecnología e innovación también se incrementen; pero no se presenta de la misma forma el incremento en investigación básica y formación especializada desde las universidades, llamadas a responder por este elemento, lo que ofrece una conclusión preocupante: la concepción de que es posible sobrevivir sólo con personas que investiguen en tecnología e innovación. Esta concepción es errada, ya que no es posible progresar sólo con estos elementos: es necesario conjugar los cuatro elementos primordiales, ya mencionados, de forma amplia e incluyente, en un complejo mosaico que permita el verdadero desarrollo científico y tecnológico, antes de que la humanidad pueda decir que ha aprendido de esta lección de Galileo.

CRONOLOGÍA DE LA VIDA DE GALILEO

Hombre dedicado a la investigación y realizador de grandes descubrimientos, es

considerado el primer observador de la ciencia. En la siguiente lista se enumeran sus más sobresalientes descubrimientos:

- **Isocronía del Péndulo.** Sin importar cuál es el espacio de oscilación de un péndulo, siempre tendrá el mismo ritmo.
- **Compás Geométrico.** Con este aparato fue capaz de resolver problemas matemáticos y geométricos, como raíces cuadradas y cúbicas.
- **Perfeccionó el Telescopio.** Aunque no fue su inventor, Galileo tomó los planos originales y los perfeccionó de tal manera que alcanzó sus más grandes descubrimientos con su uso.
- **Primer Termómetro.** Era una ampolla, que contenía aire y agua, con un tubo que terminaba en un recipiente con agua.
- **Aumenta la fuerza del imán.** Principio con el que perfeccionó las agujas magnéticas para la navegación.
- **Fases Lunares en Venus.** Lo que constituyó uno de los más poderosos argumentos entre los que posteriormente acabarían con el sistema geocéntrico del universo.
- **Manchas Solares.** Sus estudios del Sol lo llevaron a concluir que es un cuerpo esférico que gira sobre sí mismo.
- **Creador de la Mecánica.** Fue el pionero del estudio del movimiento de los cuerpos, con su relación causa-efecto, que se expresa en las siguientes leyes: 1) el principio de la inercia; 2) la independencia de movimientos diferentes; y 3) la tendencia de un cuerpo a caer es igual a la menor resistencia necesaria para sostenerlo.

Tabla 1. El entorno de la época de Galileo

Momento	Política y sociedad	Ciencia y pensamiento	Artes y letras
1564 Nace en Pisa el 15 de febrero.	Juramento del Clero al Concilio de Trento. Pío IV crea el <i>Index librorum prohibitorum</i> . Maximiliano II Emperador	Muere Juan Calvino en Ginebra. Muere Andrés Vesalio, médico de Carlos V. Primera imprenta en Rusia.	Muere Miguel Ángel. Nace William Shakespeare.
1581 Observa el movimiento ondulatorio de una lámpara en la catedral de Pisa.	Manifiesto de La Haya. Primera misión jesuita en China.	Francisco Sánchez "El Brocense": <i>La Ciencia de la que nada sabe</i> . Guillermo de Orange: <i>Apología</i> . Construcción de aparatos automáticos con forma viviente.	A. Colin: <i>Sepulcro de Philippine Welser</i> . Baltasar de Beaujoyeux: <i>Ballet Cómico de la reina</i> .
1586 Inventa la balanza hidrostática.	Fábrica de tabacos en Virginia, USA. Abbas II, Sha de Persia.	Anchieta: <i>Historia brasileña de la Compañía de Jesús</i> .	El Greco: <i>El entierro del Conde Orgaz</i> . Osiander: <i>50 canciones espirituales</i> .

1588 Escribe un tratado sobre el centro de gravedad de los cuerpos sólidos.	Destrucción de la Armada Invencible. Asesinato del duque de Guisa.	Nace Thomas Hobbes. Luis de Molina: <i>Concordia liberi arbitri cum gratiae donis.</i>	Tintoretto: <i>Paraíso.</i> Marlowe: <i>El doctor Fausto.</i>
1590 Realiza un experimento inspirado en la torre de Pisa y escribe <i>Del movimiento</i> en latín.	Comienza la extracción de carbón en el Ruhr. Los turcos consiguen territorios en el Cáucaso.	Zacharias Jansen inventa el microscopio. Acosta: <i>Historia natural y moral de las Indias.</i> Theodor de Bry: <i>Grandes viajes.</i>	M. Caravaggio: <i>Baco adolescente.</i> Guarino: <i>El pastor Fido.</i>
1594 Establece la "Regla de Oro" de la mecánica con el principio de conservación de la energía.	Los franceses llegan al Canadá. La guarnición española se retira de París.	Muere Gerhard Mercator.	Jacopo Peris: <i>Dafnis</i> , primera ópera auténtica, según texto de Octavio Rinuccini.
1597 Construye el compás geométrico y militar; escribe una carta a Kepler.	Maximiliano I, duque de Baviera. Flota española lanzada contra Inglaterra es destruida por las tormentas.	Francis Bacon: <i>Ensayos.</i> F. Suarez: <i>Disputaciones metafísicas.</i>	G. Gabrieli: <i>Sinfonías sacras.</i> Muere Juan Herrera.
1602 Establece las leyes de la caída de los cuerpos.	Los holandeses fundan la colonia de El Cabo en Sudáfrica.	Santorio: <i>Método para evitar los errores que se dan en el arte de la medicina.</i>	Lope de Vega: <i>La hermosura de Angélica.</i>
1609 Construye el antejo (<i>occhiale</i>).	Expulsión de los moros de España. Tregua de los doce años entre Holanda y España.	Primer periódico regular en Europa (semanal, en Augsburgo y Estrasburgo).	Quevedo: <i>Problemática de las cotorreras.</i> Inca Garcilaso: <i>Comentarios reales.</i>

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

- Biagioli, M. (2007). *Galileo's Instruments of Credit: Telescopes, Images, Secrecy.* USA: University Of Chicago Press. 316 p.
- Blackwell, R J. (1992). *Galileo, Bellarmine, and the Bible.* USA: University of Notre Dame Press. 291 p.
- Fano, F. (1581). *Vicenzo Galilei, Dialogo della musica antica e della moderna.* Milano: Alessandro Minuziano (Ed.).
- Galilei, G. (1967). *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems, Ptolemaic & Copernican.* Los Ángeles: University of California Press. 495 p.
- Galilei, G. (1977). *Galileo on the World Systems: A New Abridged Translation and Guide.* USA: University of California Press. 387 p.
- Galilei, G. (1981). *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias.* Madrid: Editora Nacional. 450 p.
- Galilei, G. (1999). *Dialogues Concerning Two New Sciences -Great Minds Series.* London: Prometheus Books. 303 p.
- Galilei, G. (2003). *The Essential Galileo.* London: Hackett Publisher Co. 384 p.
- Newton, R. G. (2004). *Galileo's Pendulum: From the Rhythm of Time to the Making of Matter.* USA: Harvard University Press. 176 p.
- Reeves, E. (2008). *Galileo's Glassworks: The Telescope and the Mirror.* Usa: Harvard University Press. 240 p.
- Robinson, K. S. (2000). *Galileo's Dream.* London: Spectra. 544 p.
- Segre, M. (1997). *Light on the Galileo Case? ISIS, Vol. 88, No. 3, pp. 484-504.*
- Shea, W. R. and Artigas M. (2004). *Galileo in Rome: The Rise and Fall of a Troublesome Genius.* USA: Oxford University Press. 272 p.
- Sobel, D. (2000). *Galileo's Daughter: A Historical Memoir of Science, Faith, and Love.* USA: Penguin. 432 p.

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.

LÍNEA DEL TIEMPO DE LAS CIENCIAS COMPUTACIONALES

Alexei Serna Arenas

Grupo de investigación SISCO, Medellín Colombia.

alexaiserna@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

La ciencia es a menudo acumulativa, es decir, para construir los instrumentos más poderosos, efectúan medidas más exactas, precisan de mejores y más amplios conceptos de las teorías, y así sucesivamente. Si bien los paradigmas pueden cambiar, las investigaciones suelen evolucionar en función del rendimiento pasado, lo que constituye una justificación para un mayor desarrollo. El científico estará más seguro en su investigación y mejor preparado para nuevos retos si sabe cómo su tema, en particular, ha evolucionado históricamente, cuáles fueron sus principales dificultades, las soluciones encontradas y los problemas pendientes.

De las ciencias tradicionales, como Filosofía, Matemáticas, Física, Biología,..., siempre existen estudios de su historia junto con muchos otros dedicados a los pensadores y los inventores, además de numerosas monografías. En el caso de la computación, es necesario que aparezcan trabajos que sirvan de base y referencia para los estudiantes, nuevos investigadores y los interesados en los aspectos teóricos que están detrás de la tecnología que domina la cotidianidad.

La historia de computación está marcada por interrupciones repentinas, cambios inesperados e imprevistos, lo que torna difícil una visión de la evolución de los computadores mediante una mera enumeración lineal de invenciones, nombres y fechas. El deseo de conocer los vínculos que los trabajos de determinados hombres establecieron en el tiempo viene acompañado del impulso de comprender el peso de tales actos en el conjunto de la Historia de la Computación. Buscar una comprensión de los hechos a través de los acontecimientos que los precedieron, es uno de los principales objetivos que debe estar presente en el estudio de esta Historia.

La computación es un cuerpo de conocimiento formado por una infraestructura conceptual y un edificio tecnológico donde se materializan el

hardware y el software. La primera fundamenta a la segunda. La teoría de la computación tiene un desarrollo propio e independiente, en buena parte, de la tecnología. Esta teoría se basa en la definición y construcción de máquinas abstractas, y en el estudio de la potencia de estas máquinas en la solución de problemas. El énfasis de este resumen es la dimensión teórica, tratando de mostrar cómo los hombres a través de los siglos, han tratado de desarrollar métodos efectivos para solucionar diferentes problemas.

La preocupación constante es minimizar el esfuerzo repetitivo y tedioso de producir o desarrollar máquinas que pasarán a sustituir a los hombres en determinadas tareas. Entre éstas se encuentra el computador, que se expendió y llenó rápidamente los espacios modernos en los que socializan las personas. A partir de la aparición de la noción de número natural, pasando por la notación aritmética y por la notación más vinculada al cálculo algebraico, se observa como aparecieron reglas fijas que permitieron calcular con rapidez y precisión, ahorrando, como dijo Leibniz, el espíritu y la imaginación.

Descartes creía en la utilización sistemática de cálculo algebraico como un método eficaz y universal para resolver todos los problemas. Esta creencia se unió a otras y surgieron las primeras ideas sobre máquinas universales, capaces de resolver todos los problemas. Estas eran las creencias de mentes poderosas que dejaron obras respetables en matemáticas y ciencias en general.

2. LA LÍNEA DEL TIEMPO DE LAS CIENCIAS COMPUTACIONALES

Los primeros computadores de la década de 1940 tenían sólo dos niveles de lenguaje de programación: el de nivel de máquina, en el que se llevaba a cabo toda la programación, y el de nivel de lógica digital, donde los programas eran efectivamente ejecutados. En 1951 Maurice V. Wilkes en la Universidad de Cambridge, tuvo la idea de diseñar un computador de tres niveles, a fin de

simplificar el hardware. Esta máquina, conocida como EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator), tenía un programa denominado intérprete almacenado de forma permanente, cuya función era ejecutar los programas en lenguaje de máquina. De la misma forma era posible simplificar el hardware, sólo era ejecutar un pequeño conjunto de microinstrucciones

almacenadas que requieren menos circuitos electrónicos. A partir de ahí comenzaron a evolucionar los lenguajes y las arquitecturas de las máquinas.

La siguiente es la línea del tiempo de las ciencias computacionales a lo largo de toda su historia.

Fecha	Evolución conceptual	Evolución tecnológica
4000 A.C.		▪ Registros de transacciones comerciales en pequeñas tablas
3000 A.C.		▪ Probablemente la aparición del Ábaco
1800 A.C.	▪ Babilonia: métodos para resolver problemas numéricos	
1650 A.C.	▪ Rhind Papyrus: aparece la palabra algebra (<i>al-jabr</i> reunión de partes separadas)	
500 A.C.		▪ Egipto: Ábaco con cables
384 A. C.	▪ Aristóteles: se inicia la ciencia de la lógica - formal y filosófica- (Órganon)	
330 A.C.	▪ Euclides: describe el método axiomático: postulados, proposiciones y teoremas (Elementos)	
250 A. C.	▪ Eratóstenes: los números primos	
79 A. C.		▪ Grecia: dispositivo Antikythera para el cálculo del calendario lunar
830	▪ Abu Ja'far Muhammad ibn Musa al'Khwarizmi: promulga el álgebra	
1000		▪ Gelbert de Aurillac o Papa Silvestre II: perfecciona el ábaco
1300	▪ Raymundus Lullus: Ars magna, primer dispositivo de cálculo para producir sentencias de texto lógicamente correctas	
1445		▪ Al-Kashi: dispositivo para simplificar el cálculo de los tiempos importantes asociados con los eclipses lunares
1614	▪ John Napier: el punto decimal, principio que se utiliza para demostrar una división a través de sustracciones y una multiplicación por adiciones	▪ John Napier: dispositivo que utiliza huesos para demostrar el principio del punto decimal
1622		▪ William Oughtred: regla de cálculo circular basada en los logaritmos de Napier
1624		▪ Wilhelm Schickard: reloj calculador, para multiplicar grandes números
1642		▪ Blaise Pascal: la Pascalina, máquina numérica de cálculo
1666	▪ Leibniz: Del arte de la combinatoria, sus características universales	
1673		▪ Leibniz: dispositivo mecánico para las operaciones aritméticas básicas
1750		▪ Suiza: artesano crea robots con mecanismos de trabajo temporizados para golpear teclas y escribir cartas
1780		▪ Benjamín Franklin: la electricidad
1801		▪ J. H. Herman: planímetro, dispositivo analógico para medir el área cubierta por una curva en un gráfico
1822	▪ Charles Babbage: Máquina Diferencial, para calcular algoritmos	
1829		▪ USA: William Austin, la máquina de escribir
1833	▪ Charles Babbage: Máquina Analítica, Tarjetas Perforadas, primer modelo teórico de un computador	
1842	▪ Lady Ada Byron: primer programa para la máquina de Babbage	

1847	▪ George Boole: El Análisis Matemático de la Lógica, nace la Lógica Simbólica, sistema binario	
1854	▪ George Boole: "An Investigation of the Laws of Thought"	
1855		▪ James Clerk Maxwell: planímetro rotacional ▪ Estocolmo: George y Edward Scheutz: primer computador mecánico basado en los trabajos de Babbage
1858		▪ Jako Amsler: planímetro polar, pre-computador analógico
1876		▪ Alexander Graham Bell: el teléfono
1878		▪ Sir William Thompson (lord Kelvin): analizador armónico, pre-computador analógico
1879	▪ Gottlob Frege: Begriffsschrift, ideografía, rigor formal	
1874-1897	▪ Cantor: la teoría de conjuntos	
1886		▪ William Burroughs: primera máquina mecánica de cálculo
1889		▪ Herman Hollerith: patente de la máquina tabuladora
1890		▪ Herman Hollerith: máquina electromecánica, tarjetas perforadas, censo en EEUU
1893	▪ Gottlob Frege: Grundgesetze: Fundamentos de la Aritmética ideográficamente deducida, reducción de la aritmética lógica, teoría del lenguaje	
1895		▪ Guglielmo Marconi: transmite una señal de radio
1900	▪ Hilbert: problema 10, ¿existe un procedimiento de decisión para solucionar las ecuaciones diofánticas?	▪ Hollerith: Tabulating Machine Co., dispositivo clasificador
1903		▪ Nikola Tesla: patenta un circuito lógico eléctrico llamado puerto o clave
1904		▪ John A. Fleming: patenta un tubo de diodo al vacío -válvula
1908	▪ G. Peano: Formulario Matemático, simbolismo conectado con la estructura del lenguaje natural	
1911	▪ Kamerlingh Onnes: superconductividad	▪ Computer-Tabulating-Recording Company surge de la fusión de Tabulating Company, Computing Scale Company e International Time Recording Company
1913	▪ Bertrand Russell y Whitehead: Principia Mathematica, deducciones matemáticas a partir del cálculo lógico	
1915		▪ Manson Benedicks: anticipo del microchip, un cristal de germanio puede ser usado para convertir corriente alterna en directa
1919		▪ Eccles y Jordan: flip-flop
1921	▪ Karel Čapek: Rossum's Universal Robots, utiliza por primera vez la palabra robot	
1924		▪ Computing-Tabulating-Recording Company se convierte en International Business Machines
1925		▪ MIT: Vannevar Bush, dispositivo para resolver ecuaciones diferenciales
1927		▪ Londres y New York se comunican por radio-telefonía. ▪ Powers Accounting Machine Company se convierte en Tabulating Machines una division de Remington-Rand Corp.
1928		▪ Reloj de cristal de cuarzo ▪ Vladimir Zworykin: tubo de rayos catódicos
1930	▪ Gödel: Teorema de la Incompletitud	
1931		▪ Michigan: Reynold B. Johnson, proceso de marcado en una hoja de respuestas con un lápiz sensible a la conductividad. IBM más tarde compró esa tecnología. ▪ Alemania: Konrad Zuse, computador mecánico

1933		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dudley: Voder, primera máquina electrónica que se comunica, codificador de voz
1936	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konrad Zuse: programas compuestos de combinaciones de bits se pueden almacenar. ▪ Alonso Church: funciones computables, indecibilidad de la lógica de primer orden. ▪ Princeton: Alan M. Turing, máquina de Turing 	
1937	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Claude Shannon: principios para un sumador electrónico de base 2 ▪ Howard Aiken: propone a IBM construir una máquina calculadora digital: 4 operaciones fundamentales, operar mediante secuencia de instrucciones ▪ John Vincent Atanasoff: principios para un computador electrónico digital 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Laboratorios Bell: George Stibitz, circuito binarios basado en el álgebra binaria
1938	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Isaac Asimov: populariza el término robot 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konrad Zuse: Z1, computador electrónico binario ▪ Se funda Hewlett-Packard Co.
1939		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vincent Atanasoff y Clifford E. Berry: prototipo del computador electrónico digital que utiliza la aritmética binaria
1940		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Laboratorios Bell: George Stibitz, calculadora de números complejos, computador digital. ▪ Televisión a color. ▪ Laboratorios Bell: primera terminal. ▪ Konrad Zuse: Z2
1941	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manchester: Alan M. Turing, M. H. A. Neuman y Tommy Flowers: Colossus, primer dispositivo de calculo electrónico 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konrad Zuse: Z3, primera máquina de cálculo con control automático de sus operaciones
1943	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Post: primer sistema operativo para computación simbólica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Filadelfia: comienza la construcción de ENIAC. ▪ Colossus es operacional
1944	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grace Murray: primer programador de Mark I 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Harvard: Howard H. Aiken e IBM construyen Mark I
1945	<ul style="list-style-type: none"> ▪ J. Presper Eckert y John Mauchly: empiezan la construcción del EDVAC. ▪ John von Neumann: programa almacenado para el proyecto EDVAC 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konrad Zuse: Z4. ▪ Se pone en funcionamiento el ENIAC. ▪ Grace Murray Hopper: primero error -bug-
1946	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wiener: cibernética ▪ Arthur Burks, Herman Goldstine y John von Neumann: "Preliminary Discussion of the Logical Design of an Electronic Computing Instrument", Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey, June 1946. ▪ John Tukey: concepto de Bit 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ENIAC: 18.000 válvulas, 5.000 sumas y 360 multiplicaciones por segundo. ▪ Eckert-Mauchly Computer Corporation se convierte en Electronic Control Co., Universal Automatic Computer -Univac
1947	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alan M. Turing: escribe sobre Máquinas Inteligentes, inicios de IA. ▪ Se constituye ACM -Association for Computing Machinery 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Harvard: se termina el Mark II
1948	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Claude E. Shannon: "A Mathematical Theory of Communication", las bases para la moderna comprensión de los procesos de transmisión de la información. ▪ Richard Hamming: corrección de errores en los bloques de datos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cambridge: Maurice V. Wilkes, EDSAC ▪ IBM: computador electrónico 604 ▪ IBM: SSEC, 12.000 válvulas ▪ William Bradford Shockley, John Bardeen y Walter H. Brattain: el transistor ▪ Manchester: MARK I, computador digital operacional, con programas almacenados
1949	<ul style="list-style-type: none"> ▪ John Mauchly: Short Order Code, primer lenguaje de programación de alto nivel. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ EDVAC: primeros discos magnéticos. ▪ Maurice Wilkes: EDSAC, computador con programa almacenado. ▪ Claude Shannon: primera máquina para jugar ajedrez. ▪ Jay Forrester: memoria de núcleos magnéticos
1950		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Oficina Nacional de Normas: Standards Eastern Automatic Computer -SEAC
1951	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Primera conferencia internacional sobre computadores ▪ Maurice V. Wilkes: concepto de microprogramación ▪ IEEE Computer Society se constituye 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ William Shockley: transistor de unión ▪ UNIVAC I: realización del censo en EEUU, utilizando ferrita magnética como buffer de memoria
1952	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fred Gruenberger: Primer manual de computador 	

1952	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kleene: teorema de la forma normal, funciones recursivas ▪ Nixdorf Computer: se funda en Alemania 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IBM 701 ▪ Bizmac RCA: con memoria de núcleos magnéticos y un tambor magnético -primer banco de datos
1953	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Burroughs Corp.: instala el Universal Digital Electronic Computer -UDEC- en la Universidad de Wayne State 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Primer computador de IBM para grandes volúmenes de datos utilizando tambores magnéticos ▪ Remington-Rand: Univac, primera impresora de alta velocidad ▪ IBM 726: Primer dispositivo de fibra magnética
1954	<ul style="list-style-type: none"> ▪ John Backus de IBM: FORTRAN ▪ Harlan Herrick: primer programa en FORTRAN 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Earl Masterson's: Uniprinter, impresora de tinta, 600 líneas por minuto ▪ Gene Amdahl: IBM 704, primer sistema operativo ▪ Univac 1103A: primera máquina comercial con memoria de núcleos de ferrita
1956	<ul style="list-style-type: none"> ▪ D. T. Ross: Automatic Programmed Tool -APT ▪ Edsger Dijkstra: algoritmo eficiente para caminos cortos en grafos y minimizar expansión de árboles ▪ Newell, D. Shaw y F. Simon: Information Processing Language - IPL ▪ Dartmouth College: Logic Theorist, dispositivo basado en AI capaz de probar proposiciones lógicas ▪ John McCarthy y Marvin Minsky: Dartmouth College congreso de Inteligencia Artificial. Se acepta el término AI usado por John McCarthy. 	
1957	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ford e Fulkerson: avances en combinatoria y algoritmos eficientes para cálculo de flujo máximo en redes ▪ John Backus: en IBM: primer compilador FORTRAN para Westinghouse 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ William C. Norris: funda Control Data Corporation ▪ Ken Olsen: funda Digital Equipment Co.
1958	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zurich: se presenta ALGOL como IAL International Algebraic Language ▪ LISP, IBM 704, MIT, John McCarthy: procesamiento de listas, recursividad 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Universidad de Manchester: R. M. Kilburn presenta Atlas, la primera máquina de memoria virtual ▪ NEC-1101 y 1102: Primeros computadores electrónicos en Japón ▪ Frank Rosenblatt: construyó el Perceptron Mark I, CRT como dispositivo de salida ▪ Seymour Cray: construyó el primer supercomputador totalmente transistorizado CDC 1604 ▪ General Motors: F. Engleberger y George C. Devol presentan Ultimate, el primer robot para controlar máquinas térmicas ▪ Texas Instruments: Jack Kilby elabora el primer circuito integrado
1959	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conference on Data System Languages - Codasyl-: se define COBOL ▪ Texas Instruments: Jack S. Kilby patenta el primer circuito integrado ▪ Fairchild Semiconductor: Robert Noyce muestra la idea de desarrollar bloques de circuitos integrados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IBM: 1620 y 1790, primeros computadores transistorizados
1960	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Karp e Kernigan: métodos heurísticos para problemas intratables ▪ Institute Stanfrpd & University Edimburg: equipo de IA para proyectar un robot con visión ▪ Algol 60: desarrollado por científicos computacionales americanos y europeos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Digital Equipment Corporation: Benjamin Curley, primer minicomputador PDP-1 ▪ Control Data Corporation: CDC 1604, primer computador científico ▪ DEC: ensambla el primer PDP-1 ▪ Discos removibles
1961	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IBM 7030: concepto de multiprogramación ▪ MIT: F. Corbato implementa Time-sharing en IBM 709 y 7090 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IBM: IBM 7030 transistorizado, de 64 bits, uso de Bytes (8 bits)
1962	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Harvard University e IBM: Ken Iverson presenta APL -A Programming Language ▪ Lenguajes de simulación de uso general: SIMSCRIPT, por Rand Corporation, y GPSS por IBM 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IBM 1311 discos removibles ▪ H. Ross Perot: funda EDS -Electronic Data Systems

1963	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Código ASCII: intercambio estándar de información entre computadores 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ General Motors y MIT: Consolas gráficas, DAC-1 ▪ Se presenta <i>computer-aided design</i> CAD ▪ Ivan Sutherland: primer lápiz de luz ▪ DEC: minicomputador PDP-5
1964	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tom Kurtz e John Kemeny: BASIC, Beginners All-purpose Symbolic Instruction Language 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IBM: System 360, primera familia de computadores compatibles ▪ Seymour Cray: Control Data Corporation, CDC 6000, palabra de 60 bits en procesamiento paralelo. CDC 6600, el más poderoso computador por muchos años
1965	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Universidad de Belgrado: Rajko Tomovic primera tentativa de crear un mecanismo artificial sensible al toque ▪ Robin M., Yamada, Edmond, Hartman and Stearns: Teoría da Complejidad Computacional 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IBM 360: basado en circuitos integrados
1966		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Texas Instruments: primera calculadora de mano basada en estado sólido
1967	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ole-Johan Dahl y Kristen Nygaard: Simula, primer lenguaje orientado a objetos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bell Laboratories: A. H. Bobeck, primera memoria de bulbo magnético
1968	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Edsger W. Dijkstra: programación estructurada ▪ Joshua Lederberg: Dendral, primer programa de diagnóstico médico 	
1969	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Primera Conferencia Internacional sobre Inteligencia Artificial ▪ Nicklaus Wirth: Complilador PASCAL 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Edson de Castro: Data General Corp., Nova, primer minicomputador de 16 bits ▪ IBM: Sistema/3
1970	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ACM: Primer torneo de ajedrez 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Shakey: Primer robot que usa inteligencia artificial ▪ DEC: PDP-11/20, primer minicomputador de 16 bits ▪ IBM: Sistema 370, primer computador de 4a generación
1971	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Levin Cook: problemas NP-completos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IBM 370: Floppy disks ▪ Intel 4004: primer microprocesador ▪ John Blankenbaker: Kenbak I primer computador personal
1972	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gary Kildall: PL/1, primer lenguaje de programación para el microprocesador Intel 4004 ▪ Universidade de Nottingham: SIRCH, dispositivo capaz de reconocimiento y orientación ▪ Bell Labs: Dennis Ritchie, lenguaje C 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jack Kilby, Jerry Merryman y Jim VanTassel: Primera calculadora electrónica ▪ Intel 8008: microprocesador de 8 bits
1973	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alain Comerauer: Lenguaje PROLOG 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ R2E: MICRAL, primer microcomputador de Francia ▪ IBM: Winchester disk drives Modelo 3340
1974		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Intel 8080: se usa en microcomputadores ▪ Zilog es creada
1975		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cray-1: supercomputador ▪ IBM: Impresora laser ▪ Ed Roberts y Bill Yates: MITS, computador personal Altair ▪ Cincinnati Milacron T3: primer robot de la industria aeroespacial ▪ Bill Gates y Paul Allen: crean Microsoft
1976	<ul style="list-style-type: none"> ▪ E. Shortliffe: MYCIN, sistema experto ▪ Kernigan: algoritmos aproximativos ▪ Solovai y Strassen: algoritmos randomizados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IBM: Impresoras de tinta ▪ NEC System: Sistemas 800 y 900 mainframes ▪ Seymour Cray: Cray 1 100 millones de operaciones de ponto flotante por segundo ▪ Zilog: chip Z-80
1977		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apple Computer: se crea y presenta el Apple II ▪ DEC: supermini VAX-11/780, 32 bits ▪ Datapoint: ARC system, primera red de area local
1978	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tom de Marco: Análisis estructurado ▪ Texas Instruments: Speak-and-Spell, sintetizador de voz 	

1979	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CII-Honeywell Bull y Jean Ichbiah: Lenguaje Ada ▪ Benoit Mandelbrot: fractales 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VisiCalc: planilla electrónica ▪ Micropro: Wordstar, procesador de texto
1980	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis probabilístico de algoritmos ▪ Microsoft: sistema operativo UNIX, con una adaptación a XENIX 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Control Data Corporation: Cyber 205 supercomputador
1981	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lenguajes para robótica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Commodore: computador VIC-20 ▪ IBM: entra al mercado de los computadores personales ▪ Osborne Computer: Osborne 1, primer laptop
1982	<ul style="list-style-type: none"> ▪ John Warnock y Charles Geschke: PostScript, lenguaje para definición de páginas, fundan Adobe Systems ▪ Se funda Sun Microsystems ▪ Microsoft: MS-DOS 	
1983	<ul style="list-style-type: none"> ▪ AT&T Bell Labs: Bjarne Stroustrup, C++ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cray 2: 1 billón de FLOPs -floating point operations per second-
1984	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programación Lineal: algoritmo de Karmakar ▪ Lenguaje funcional estándar ML 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apple: computador Macintosh ▪ IBM: PC AT ▪ Sony y Philips: CD-Rom
1985 1985	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aldus: PageMaker para Macintosh, inicia la era de edition desktop 	
1986	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Popularización de la palabra y el concepto Case 	
1986	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eiffel: lenguaje orientado a objetos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Compaq: Fortune 500, primer PC basado en el Intel 80386 ▪ HP: Spectrum, tecnología RISC -Reduced Instruction Set Computers)
1987	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Watts Humphrey y William Sweet: publican una "estructura de procesos" que se torna en un modelo para ayudar al desarrollo de software confiable 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IBM: PS/2 ▪ Cray Research: Cray 2S, más rápido que Cray 2 ▪ ETA Systems: ETA-10, supercomputadores ▪ Sun Microsystems, primera workstation basada en microprocesador RISC ▪ Aldus: PageMaker para IBM PC y compatibles ▪ Texas Instruments: Primer microprocesador basado en IA
1988	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IBM: sistema operativo MVS/ESA ▪ AT&T: adquiere el 20% de Sun Microsystems y desarrolla la nueva versión de UNIX ▪ Internet network ▪ Barry Boehm: modelo en espiral para el desarrollo de software 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cray Research: Cray Y-MP, supercomputador de 20 millones de dólares ▪ Motorola: 88000, microprocesador RISC, primer supercomputador para aplicaciones gráficas ▪ Sun Microsystems: 80386-based workstations ▪ Next workstation computer: primer computador que utiliza discos ópticos borrables
1989		<ul style="list-style-type: none"> ▪ DEC workstation: computadores tecnología RISC ▪ Intel: 80486 MPU e i860 RISC/coprocesador, Chips con más de un millón de transistores. ▪ Sun Microsystems: SPARCstation ▪ Cray: se reestructura en dos compañías: Cray Research y Cray Computer Corp., que desarrollaran un supercomputador basado en galio-arsenio ▪ Más de 100 millones de computadores en el mundo ▪ Poqet: primer computador pequeño con MS-DOS ▪ Grid: laptop sensible al tacto ▪ Compaq: LTE y LTE/286, Notebook con batería ▪ DEC: mainframe VAX 9000 ▪ Primer PC con tecnología EISA ▪ Primer computador basado en el chip 80486
1990	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Berners-Lee: Prototipo para una World Wide Web, que usa: URLs, HTML y HTTP ▪ Haskell: última evolución de los lenguajes funcionales de uso general ▪ Microsoft: Windows 3.0 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Motorola: microprocesador 68040 ▪ IBM: RISC Station 6000 ▪ DEC: VAX tolerable a defectos ▪ Cray Research: Y-MP2E supercomputador ▪ IBM: System 390 mainframe ▪ Apple: Classic, LC e IISI ▪ Intel: i486 e iPSC/860 ▪ IBM: PS/1 ▪ Sun Microsystems: SPARCstation 2, primera estación SPARC compatible

1991	<ul style="list-style-type: none"> ▪ SunSoft: de Sun Microsystems, anuncia Solaris, sistema operativo UNIX para SPARC workstations y PC 386/486 ▪ NCR es absorbida por AT&T ▪ Sistema operativo Apple 7.0 ▪ Microsoft: DOS 5.0 ▪ Borland: compra Ashton-Tate 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Advanced Micro Devices AMD: AMD 386 como competencia a Intel 386 ▪ Notebook PCs ▪ HP: serie 700 RISC-based 9000 ▪ Intel: 486SX ▪ Wavetracer: Zephyr, computador paralelo con 8192 procesadores
1992	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IBM: OS/2 2.0 ▪ Microsoft: Windows 3.1 ▪ Microsoft: Windows for Workgroup ▪ Novell: adquiere UNIX Systems Laboratory 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sun Microsystems: familia SPARCstation ▪ Digital Equipment: anuncia su próxima ceración de computadores con arquitectura basada en tecnología RISC o Alpha ▪ Intel: Pentium ▪ Hewlett-Packard: LaserJet 4 resolución 600 x 600
1993	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sun Microsystems: licencia NextStep ▪ Novell: NetWare 4.0 ▪ Microsoft: Windows NT ▪ Microsoft: Plug and Play y Microsoft at Work MAW ▪ IBM: OS/2 para Windows 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Universidad de Illinois: estudiantes crean una interface gráfica de usuario para navegar en Internet llamada NCSA Mosaic ▪ Universidad de Michigan: CARMEL, robótica auxiliada por computador ▪ Motorola: microprocesador PowerPC ▪ IBM: workstation basada en PowerPC
1994	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Universidad Southern California: Leonard Adleman demuestra que el ADN puede utilizarse en computadores ▪ Jim Clark y Marc Andreessen: fundan Mosaic Communications -Netscape ▪ Netscape: primer browser para la WEB 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Intel: 486DX4
1995	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Java: lenguaje de programación para desarrollo con independencia de plataforma ▪ Microsoft: Windows 95 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Universidad de Tokyo: superan la barrera de un 1 teraflop con el procesador 1.692-GRAPE-4, un computador para aplicaciones en simulaciones astrofísicas, problemas gravitacionales
1996		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Intel: Pentium Pro ▪ CRAYT3E-900: computador general con 1.8 teraflop
1997	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Motorola: Sistema StarMax 6000 	
1998	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Microsoft: Windows 98 ▪ Microsoft: Windows NT 5.0 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seagate Technology: drive rígido para disco de 3,5" de 2,5 Gigabytes ▪ Intel II: procesador de 333 Mhz, más rápido y genera menos calor
1999	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kernel de Linux 2.2.0 ▪ Número de personas que utilizan Linux en el mundo calculado en más de 10 millones 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ AMD: AMD Athlon, 750 Mhz
2000	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Microsoft: Windows 2000 ▪ Apple: Mac OS X, basado en Unix ▪ Y2K Bug 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ AMD: nuevas versiones de Athlon ▪ Intel Pentium III: 1 GHz ▪ Compaq: iPAQ para la plataforma DEC Itsy
2001	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lanzamiento del Kernel de Linux 2.4 ▪ Microsoft: Windows XP 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apple: primer iPod
2002	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Windows ▪ Lanzamiento del Kernel de Linux 2.6 	
2003	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Microsoft: Office 2003 ▪ Virus Worm Blaster ▪ Multithreading 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Intel: Motherboard Canterwood ▪ Intel: Prescott ▪ Comunicaciones WiFi
2004	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mozilla Firefox 1.0 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ nVidia: GeForce 6800
2005	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Microsoft: Windows Vista 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Macintosh: migración a la plataforma Intel
2006	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Web 2.0 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apple: iPod Nano, con LCD y iPod Video, con capacidad de almacenamiento de 80GB
2007		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cray: sistema Cray XT4 para previsión del tiempo, instalado en un CSCS-Swiss National ▪ Supercomputing Centre: 2.6 GHz, 4.5 Tflops

La anterior tabla es una separación de la autoría individual y de la evolución conceptual y tecnológica, teniendo en cuenta que hay casos en los que es difícil establecer una rígida distinción entre mente y máquina.

Cabe señalar también que algunas de las fechas son conjeturas y a menudo polémicas, ya que dada la multiplicidad de eventos dentro de estas áreas muy posiblemente el panorama es incompleto.

BIBLIOGRAFÍA

1. Anawati, M-M and Gardet L. (1981). Introduction a la Théologie Musumane. Paris: Vrin.
2. Arbib, M. A. (1987). Brain, Machines and Mathematics. New York: Spring-Verlag.
3. Aspray, W. (1990). John von Neumann and the origins of modern computing. New Baskerville: Massachusetts Institute of Technology.
4. Barendregt, H. P. (1984). The lambda calculus, its syntax and semantics. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
5. Bell, E. T. (1937). Men of Mathematics. New York: Simon & Schuster Inc.
6. Bolter, J. D. (1984). Turing's man, western culture in the computer age. North Carolina: North Carolina University.
7. Bowen, J. P. (1994). A brief history of algebra and computing: an eclectic oxonian view. Oxford: Librarian, Oxford University Computing Laboratory.
8. Brained, W. L. (1974). Theory of computation. New York: Wiley-Interscience Publication.
9. Burks, A. W. (1980). From de ENIAC to the stored-program computer. London: Academic Press.
10. Cohen, D. E. (1987). Computability and logic. England: Ellis Horwood Series in Mathematics and Its Applications.
11. Dantzig, T. (1954). Number, the language of science. New York: Doubleday Anchor Books.
12. Goldstine, H. H. (1972). The computer from Pascal to von Neumann. New Jersey: Princeton University Press.
13. Knuth, D. E. (1972). Ancient Babylonian algorithms. Communications of ACM, Vol. 15, pp. 671-677.
14. Lee, J. A. N. (1996). Annals of the History of Computing. IEEE, Vol. 18, No. 2.
15. Ryder, J. D. (1967). Engineering Electronics with Industrial Applications and Control. Tokio: McGraw-Hill Kogakuska Ltd.
16. Stibitz, G. R. (1980). A history of computing in the twentieth century (a collection of essays). London: Academic Press, 1980.
17. Willians, M. R. (1997). History of computing technology. California: IEEE Computer Societ Press.

