

(2010). Revista Digital Lámpsakos, Número 4.



**FACULTAD DE
INGENIERÍAS**

**FUNDACIÓN
UNIVERSITARIA
LUIS AMIGÓ**

Número 4. Julio-Diciembre 2010

**MEDELLÍN - ANTIOQUIA
2010**

Director
Luis Fernando Vargas Cano

Editor
Edgar Serna Montoya

Diseño y producción
Edgar Serna Montoya

COMITÉ EDITORIAL

Ms.C. Paula Andrea Tamayo Osorio
Fundación Universitaria Luis Amigó - Colombia

Ms.C. Jonier Rendón Prado
Insti. Universitaria de Envigado - Colombia

Esp. Ramiro H. Giraldo Naranjo
Universidad de Antioquia - Colombia

Ms.C. José Eucario Parra Castrillón
Fundación Universitaria Luis Amigó - Colombia

Ms.C. Carlos Mario Durango Yepes
Univversidad Pontificia Bolivariana - Colombia

Esp. Jorge Mauricio Sepúlveda Castaño
Corporación Universitaria Remington - Colombia

Ms.C. Carlos A. Hernández Medina
Sede Univversitaria Municipal Camajuani - Cuba

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

COMITÉ CIENTÍFICO

Ph.D. Mario Tamayo y Tamayo
Universidad del Valle - Colombia

Ph.D. Susana Carreras Gómez
Sede Univ. Municipal Camajuani - Cuba

Ph.D. Fernando Arango Isaza
UNAL Facultad de Minas - Colombia

Lic. Valerio Adrián Anacleto
Epidata Consulting - Argentina

Ph.D. Gabriel Hernán Uribe
UNAL Facultad de Minas - Colombia

Ph.D. Qiao-Guo
Beijing Institute of Technology - China

Ph.D. Darío Jaén Navarro
USB Medellín - Colombia

Ph.D. Ulf Hakansson
Royal Institute of Technology - Sweden

Ph.D. Ugo Bilardo
Università di Roma, Italy

Ph.D. Rando Pikner
Tallinn University of Technology - Estonia

Ph.D. Zeljko Vukelic
University of Ljubljana - Slovenia

Ph.D. Wilhelm Hoeflinger
Vienna University of Technology - Austria

Ph.D. Jimbo Itaru
Tokai University - Japan

Ph.D. Adedayo Adeniran
University of Lagos - Niger Republic

Ph.D. Piero Marietti
University of Rome - Italy

Ph.D. Karla Kucek
University of Rio Grande - Brasil

Ph.D. Regita Bendikiene
Kaunas University Technology - Lithuania

CONTENIDO

4. EDITORIAL

5. CARTAS AL EDITOR

6. DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

7. A. Bryantsevich. Simulación Mediante Redes Neuronales del Enfriamiento del Arco Eléctrico en Disyuntores de Alta Tensión. (*Simulation by Neural Networks of Electric Arc Quenching in High Voltage Circuit Breakers*).

12. C. A. Hernández M. La Solarización del Suelo en el Marco de la Conservación del Medio Ambiente. (*The Soil Solarization in the Mark of the Environment Conservation*).

16. P. B. Aczel. Fundamentos Matemáticos y Teoría de Conjuntos. (*Mathematics Foundations and Theory of Sets*).

20. C. Cooke & G. Rothermeli. Ingeniería del Software: Ciencia o Arte. (*Software Engineering: Science or Art*).

28. A. G. Noormans. Impacto de la Nanotecnología en la Producción de Alimentos. (*Impact of Nanotechnology in Food Production*).

36. P. T. Ferreira. Requerimientos de Energía en los Procesos de Fabricación a Nanoescala. (*Energy Requirements in the Nanoscale Manufacturing Process*).

44. L. T. Hansem. Evolutionary Programming Applied to Emulate Robot. (*La Programación Evolutiva Aplicada para Emular Robots*).

49. PRODUCCIÓN INTELECTUAL

50. E. Serna M. Solución de un Problema de Control en Programación Recurrente. Trad. E. W. Dijkstra "Solution of a Problem in Concurrent Programming Control".

52. NOMBRES DE CIENCIA

53. E. Serna M. Hypatia de Alejandría. (*Hypatia of Alexandria*).

58. JÓVENES INVESTIGADORES

59. J. E. Busquelle. Análisis de Puntos de Función. (*Function Points Analysis*).

EDITORIAL

LA FUGA DE CEREBROS

El término fuga de cerebros se utiliza desde la década de 1950 y a menudo se asocia con pérdida, pero, ¿puede convertirse la fuga de cerebros en ganancia de cerebros?

No intentamos presentar aquí nada nuevo acerca de la fuga de cerebros, de hecho, el Renacimiento no podría haber ocurrido sin el movimiento hacia el oeste de los artistas e intelectuales griegos después de la caída de Bizancio. Tampoco es un fenómeno limitado a los países en desarrollo: Europa del Este experimenta actualmente la emigración de sus mejores y más brillantes mentes hacia el Reino Unido e Irlanda, un país que sufrió la fuga aguda de cerebros hasta mediados de la década de 1990.

La fuga de capital humano, como también se le llama, es un tema controversial que se debate en los cuatro puntos cardinales. La feroz competencia entre las empresas y universidades del Norte por conquistar a los mejores investigadores, ingenieros, médicos y administradores es comparable con las transferencias de jugadores de fútbol, donde el jugador estrella se va con el mejor postor. Anteriormente, cuando las personas salían en busca de mejores oportunidades, se quedaban en el extranjero; en la actual sociedad del conocimiento, aunque el tiquete de ida todavía prima —especialmente hacia los Estados Unidos—, la globalización ha hecho que el trabajo temporal sea casi una constante.

El intercambio de cerebros les permite a los países enviar y recibir por igual, y beneficiarse de la experiencia especializada de los profesionales expatriados, y no sólo de sus remesas, tan considerables como puedan ser. El papel de los técnicos hindús expatriados en la construcción, desarrollo y soporte en las industrias TIC en Bangalore es un excelente ejemplo.

A veces surgen preguntas como ¿qué pueden hacer los gobiernos para aumentar su capacidad de retención y cómo se les puede ayudar? Existen iniciativas de la UNESCO, como la de “académicos sin fronteras”, que tiene como objetivo fortalecer las universidades en los países en desarrollo mediante la creación de asociaciones mundiales. Desde 1996, un proyecto de circulación de cerebros, también soportado por la UNESCO, les ha permitido a académicos expatriados de Malí regresar a casa para enseñar cursos de corta duración; y en una línea diferente, el centro digital de la UNESCO/Hewlett Packard en el sudeste de Europa trabaja para fomentar un ambiente de excelencia académica y de espíritu empresarial.

El caso latinoamericano todavía es preocupante, nuestros países parecen no darse cuenta de las posibilidades de desarrollo que pueden lograr si establecen políticas y programas de repatriación de cerebros y de incentivos de retención. Los graduados de esta zona, y cada vez más jóvenes, se ven obligados a abandonar sus países en busca de empleo y de remuneración acordes con su conocimiento, de apoyo para hacer investigación y de facilidades para establecer procesos de innovación; aunque el hecho de que los estudiantes se interesen cada vez más por asignaturas y programas en ciencias y tecnología es alentador.

Parece que, pese a las perspectivas sombrías de hoy, nuestros jóvenes tienen fe en la idea de una economía basada en el conocimiento y no pierden la esperanza de un futuro mejor. No obstante, las estadísticas acerca del desempleo entre los egresados universitarios casi se ha triplicado en los últimos dos años, y sin ninguna duda que muchos de ellos son personas altamente calificadas que pueden labrarse sus carreras en el extranjero, que constituyen un valiosísimo recurso que pierden los países, quizás para siempre.

El economista Colm McCarthy dijo recientemente acerca de la necesidad de generar puestos de trabajo de todo tipo: “No es que todos los trabajos se deban orientar hacia las personas con Ph.D y de batas blancas, tenemos que crear también empleos de cuello azul”. Por supuesto que tiene razón. Los Estados y las universidades deben de alguna manera incentivar a las personas para que se preparen para trabajar en dichos puestos, como la manufactura, el turismo, el campo, sectores que poco a poco se beneficiarán, ya que el país se vuelve más competitivo. Pero tampoco abandonar el concepto de una economía inteligente.

Aumentando la competitividad e incrementado la confianza, con el tiempo será posible hacer que estos puestos de trabajo sean atractivos; pero el éxodo de los Ph.D de bata blanca tiene que parar por el bien de los jóvenes que invierten en su futuro, en países que serán capaces de competir con las economías más inteligentes del mundo, si se lo proponen como política de Estado.

Edgar Serna M.

CARTAS AL EDITOR

It is an honor to belong to the committee of this journal. Congratulations on this great work of spreading science and make our work known.

Qiao-Guo

Beijing Institute of Technology

Hace poco conocí de esta publicación en un evento Microsoft en Londres, y me llamó la atención el formato tan internacional de su trabajo. Felicidades y esperen próximamente mi colaboración.

Cortis Cooke

Oregon State University

In the Republic of Niger are few who are committed to the work of editing and publishing a magazine, either by time or ignorance of many international standards and regulations. According to the conversation we had in Argentina, I'm interested in knowing a little more about how to do this. Very good your magazine. Congratulations.

Adedayo Adeniran

University of Lagos - Niger Republic

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.

Simulation by Neural Networks of Electric Arc Quenching in High Voltage Circuit Breakers

Simulación Mediante Redes Neuronales del Enfriamiento del Arco Eléctrico en Disyuntores de Alta Tensión

Alexandro Bryantsevich
Moscow Power Engineering Institute
uvs@mpei.ru

(Artículo de INVESTIGACIÓN. Recibido el 14-07-2010. Aprobado el 25-10-2010)

Abstract – *The formulation of analytical models of cooling of electric arcs in high voltage circuit breakers still presents many difficulties, and requires new hypotheses that simplify substantially in relation to reality. From a technical standpoint, the application of neural networks could be an objective source for simulating the cooling of the electric arc, and to obtain results closer to the actual properties of the switch. This paper describes the problems of development of analytical models linked to the cooling of the arc of high voltage circuit breakers using neural networks.*

Keywords: *Circuit breaker, neural networks, arc electric, high voltage.*

Resumen – La formulación de los modelos analíticos de enfriamiento de los arcos eléctricos en disyuntores de alta tensión todavía presenta muchas dificultades, y requiere nuevas hipótesis que los simplifique sustancialmente en relación con la realidad. Desde un punto de vista técnico, la aplicación de las redes neuronales podría ser una fuente objetiva para la simulación del enfriamiento del arco eléctrico, y para obtener resultados más cercanos a las propiedades reales del interruptor. En este trabajo se describe la problemática del desarrollo de modelos analíticos vinculados al enfriamiento del arco eléctrico de disyuntores de alta tensión mediante redes neuronales.

Palabras clave: Disyuntor, redes neuronales, arco eléctrico, alta tensión.

1. Introducción

La evolución del arco eléctrico en un medio ionizado, a menudo a temperaturas de 14.726,85°C (Vacquié, 1995) (Hadedank, 1993), hace que las mediciones físicas precisas sean muy delicadas, o por lo menos imposibles de lograr, especialmente si tenemos en cuenta el hecho de que el fenómeno se desarrolla a una velocidad impresionante (Theoleyre, 1998). Por otra parte, a pesar de la importante labor científica acumulada en el enfriamiento de arcos eléctricos, así como en los dominios teórico y experimental, este fenómeno físico se escapa al modelamiento matemático que permita predecir su comportamiento, con un margen de incertidumbre débil (Vacquié, 1995) (Gleizes *et al.* 2005).

De la misma forma, la elaboración del modelo analítico todavía se basa en suposiciones que son,

en la mayoría de los casos, físicamente menos justificables. Por lo tanto, las redes neuronales parecen ser capaces de responder a la necesidad de la simulación, porque pueden proporcionar una representación matemática de los fenómenos físicos no lineales, aunque basadas en la regeneración de una relación de entrada-salida desde un conjunto de funciones ordinarias y pesos asociados. Por otra parte, una red neuronal no necesita ningún modelo teórico de la relación a identificar; le es suficiente con tener algunos ejemplos que se puedan generar experimentalmente. Ben Hamed *et al.* (2008) demuestran que las redes neuronales se pueden utilizar con éxito en fenómenos de los que se desconocen las leyes que los gobiernan, para las que se puede lograr un gran número de mediciones.

El objetivo de este artículo es introducir, en un primer momento, las redes neuronales en el modelado matemático del enfriamiento del arco en los interruptores de alta tensión, y luego presentar un estudio comparativo entre los diferentes algoritmos de entrenamiento con el fin de habilitarlos para seleccionar la red neuronal de propagación y el algoritmo de propagación inversa lo más adaptados posible a la simulación. Este estudio se aplicó para un interruptor de línea de 245kV/50kA/50Hz, y se utilizó una corriente por defecto del 90% de la capacidad del interruptor.

El desarrollo de un modelo analítico y los resultados experimentales permiten una validación de la simulación, especialmente mediante comparación con las obras de Schavemaker *et al.* (2000) y Guardado & Maximov (2005) quienes estudiaron experimentalmente el mismo interruptor entre 0 y 90µs.

2. Principio de corte

En condiciones básicas por defecto de un circuito, la corriente a reducir puede alcanzar varias decenas o algunos cientos de kilo Amperios (Theoleyre, 1998) (Guardado & Maximov, 2005) (Gleizes *et al.*, 2005). Y, gracias a las notables propiedades del arco eléctrico, la energía electromagnética almacenada en los circuitos inductivos se puede disipar. El arco que aparece

se forma a partir de una columna de plasma compuesto por iones y electrones procedentes del inter contacto con el medio, o por vapores metálicos emitidos desde los polos del interruptor.

Las zonas de anclaje del puente entre los contactos están a temperaturas cercanas a la de fusión del metal, por lo que es posible la emisión termo-iónica. El ambiente en los puentes fundidos es entonces una mezcla de gas ionizado y vapores metálicos.

Cuando los dos polos están suficientemente separados, los puentes fundidos se rompen como consecuencia de su exposición a la alta inestabilidad térmica, y las roturas evolucionan como explosiones. Las micro-partículas de metal fundido son expulsadas con una velocidad de entre 100 y 300 m/s, permitiendo así la ionización del medio luego de la aparición del arco eléctrico (Vacquié, 1995). El arco creado se mantendrá por la energía térmica que se libera por el efecto Joule, y será muy alta su temperatura.

Se sabe que el arco se inicializa muy rápidamente en el interruptor, pero su comportamiento durante los primeros milisegundos luego del corte es mucho menos conocido a pesar de los numerosos trabajos acumulados (Vacquié, 1995) (Theoleyre, 1998) (Gleizes *et al.*, 2005) (González *et al.*, 2005).

3. Modelo analítico del arco eléctrico

Con el propósito de modelar el fenómeno involucrado al momento de la apertura del interruptor y, particularmente, para estudiar la evolución de la tensión del arco u , se desarrolló un nuevo modelo OD de enfriamiento del arco (Ziani & Moulai, 2009), que se inspiró en el modelo térmico de Cassie (1939) e implica la radiación térmica emitida por el arco eléctrico durante su enfriamiento. Este modelo ofrece buenos resultados especialmente al principio de la ruptura.

Se supone entonces que la conductancia del arco se expresa únicamente en función de la energía Q utilizada para su formación (Theoleyre, 1998). Por lo tanto, la energía eléctrica total prevista para el arco por una corriente $i = 50.000\sqrt{2} \text{ sen}(314t)$ se puede escribir:

$$P = ui = P_P \frac{dQ}{dt} + P_R \quad (1)$$

P es la energía total prevista para el arco, P_P es la energía perdida por conducción eléctrica, P_R representa la energía perdida por la radiación térmica y dQ/dt es la energía necesaria para crear el arco. Se obtiene una ecuación para los modelos de extinción del arco en la apertura de los polos de un interruptor de alta tensión:

$$\frac{dg}{dt \cdot g} = \frac{1}{\tau} = \left[\frac{u^2}{u_a^2} - 1 - \frac{P_R}{P_P} \right]$$

En este estudio, se propuso el conjunto $f = P_R/P_P$ para evaluar la contribución de la energía térmica intercambiada por radiación con respecto a la energía perdida por conducción eléctrica. La ecuación que se obtuvo se puede finalmente escribir como:

$$\frac{d \ln g}{dt} = \frac{1}{\tau} = \left[\frac{u^2}{u_a^2} - 1 - f \right] \quad (2)$$

Para la solución numérica de la ecuación (1), se utilizó el método de Runge Kutta en un entorno MATLAB. La conductancia inicial se fijó a $10^4 S$ (Schavemaker & van der Sluis, 2000). Las constantes τ y u_a se deducen a partir de (Schavemaker & van der Sluis, 2000) y (Guardado & Maximov, 2005).

4. Concepción del modelo neural

4.1 Presentación de los datos

El parámetro que mejor describe la extinción de enfriamiento de los arcos eléctricos es su tensión (Theoleyre, 1998) (Gleizes *et al.*, 2005). Varios autores han realizado mediciones de la tensión del arco en la apertura de los interruptores de alta tensión (Habedank, 1993) (Theoleyre, 1998) (Guardado & Maximov, 2005) (Gleizes *et al.*, 2005) (González, *et al.*, 2005). Estos autores observaron primero un fuerte aumento de la tensión de arco en la apertura de los contactos, que corresponde a la iniciación del arco, después de eso, midieron tensiones de arco relativamente débiles con respecto a la tensión de la red. Schavemaker & van der Sluis (2000) midieron esta tensión de arco entre 0 y $90 \mu s$ en la apertura de un interruptor 245kV/50kA/50Hz, para una corriente por defecto del 90% de la capacidad de corte. Su evolución se presenta en la Fig. 1. Las entradas y salidas del modelo neuronal son respectivamente los valores de tiempo y la tensión del arco, cuyos valores se toman de la Fig. 1.

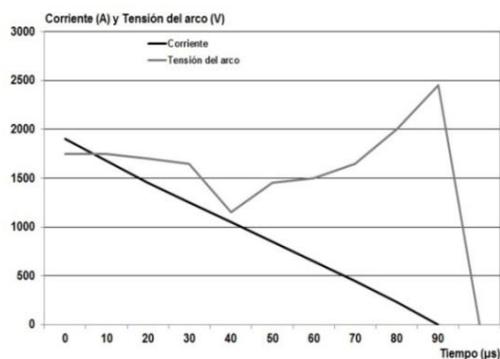


Fig. 1. Corriente y Tensión del arco como una función del tiempo (Schavemaker & van der Sluis, 2000)

El tamaño de la base de datos se obtiene mediante una evaluación de la convergencia de la red neuronal. Las pruebas ejecutadas llevaron, en una primera instancia, a una base de datos de paso 1, y en segunda instancia, la longitud de la base de datos se redujo al tiempo que aumentó el paso a 5.

4.2 Fase de entrenamiento

El método de entrenamiento utilizado en este trabajo es de tipo re-propagación, basado en el algoritmo de gradiente decreciente. La fase de entrenamiento se ejecutó con el ajuste de los pesos por el algoritmo de re-propagación hasta obtener un error cuadrático fijo entre la salida buscada y la salida de la red neuronal (Ben Hamed *et al.*, 2008). Para las diferentes iteraciones, el algoritmo de re-propagación proporcionó la función de rendimiento *Mean Square Error* (MSE).

La inicialización de pesos se llevó a cabo en forma de incertidumbre. Los algoritmos de re-propagación que se utilizaron actualizaron los pesos y el sesgo con el objetivo de minimizar más rápidamente el MSE. El entrenamiento se consideró completo después de 1.000 épocas —número óptimo obtenido por simulación— o cuando el error máximo en todas las neuronas de salida, entre el valor buscado y el valor real, es inferior a 10^{-5} , para una entrada determinada de la base de datos de entrenamiento.

4.3 Fase de pruebas

Para la fase de prueba, se compararon los valores simulados por la red neuronal con los valores experimentales obtenidos por Schavemaker *et al.* (2000) para un período de extinción entre 0 y $90\mu s$. Para este propósito, se utilizaron otros datos, diferentes de los utilizados durante la fase de entrenamiento.

4.4 Arquitectura de la red neuronal

Las diferentes pruebas realizadas durante la fase de formación favorecieron la red de propagación —bajo esta configuración, todas las neuronas de una capa dada generalmente se unen a todas las neuronas de la siguiente capa, Fig. 2. Se habilitó el comando *newff*, en un entorno MATLAB, para crear este modelo neuronal.

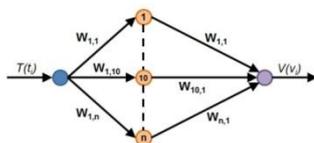


Fig. 2. Arquitectura de la red neuronal

4.5 Estructura de la red

La red está constituida por tres capas:

1. Una entrada compuesta por una sola neurona.

2. Una capa oculta con un número variable de neuronas que tiene una función de activación del tipo *sigmoid*. El comando “*logsig*” permite crear esta función.
3. Una capa de salida con una neurona en la que la función de activación es positiva lineal y el comando *under* de Matlab es “*poslin*”.

5. Elección de la re-propagación

Durante la fase de entrenamiento, los pesos de las conexiones se fijaron inicialmente en modo incertidumbre. A continuación, mediante el algoritmo de re-propagación, se corrigieron estos pesos, y ya que son conocidas las salidas buscadas en las redes neuronales, se ejecutó un entrenamiento supervisado (Davaló & Naim, 1993) (Krose & Van der Smagt, 1996).

Por razones de superabundancia de algoritmos y de la pobreza de los métodos que permiten comparar y aplicar bien estos algoritmos, sólo se estudiaron tres algoritmos de error de re-propagación:

1. La re-propagación resistente “*trainrp*”
2. La re-propagación con impulso —RPM— “*traingdm*”
3. El método Levenberg-Marquardt —LM— “*trainlm*”.

El uso de una función de activación de tipo *sigmoide* permite un modelado no lineal de la rotura del arco.

Para cada algoritmo se elaboró un programa en MATLAB, para favorecer la propagación de las entradas hasta obtener una salida calculada por la red; y luego para comparar la salida calculada con la salida real, modificando los pesos de tal forma que en la siguiente iteración se minimice el error cometido entre esas dos salidas. El entrenamiento se considera terminado después de un número de 1.000 épocas.

6. Resultados de la simulación

Se estableció, para cada tipo de algoritmo, la evolución del rendimiento de la red neuronal y la tensión simulada como una función del tiempo. Se fijó el mismo número de iteraciones —1.000— para cada simulación. Esto se refiere a las dos fases de la red neuronal: la de entrenamiento y la de prueba.

El rendimiento del entrenamiento de la red neuronal con el algoritmo *lm* —Fig. 3— alcanza un valor de $1.15302 \cdot 10^{-8}$ al final de 27 épocas. También se puede notar que el error llega a un rendimiento de $1.10503 \cdot 10^{-9}$ para el algoritmo de re-propagación *gdm* con impulso, después de 131 épocas —Fig. 4.



Fig. 3. Rendimiento de la red con el algoritmo *lm* (*trainlm*) después de 27 épocas

El modelo neuronal con estos dos algoritmos proporciona una simulación correcta. Las Fig. 5 y 6 muestran una pequeña diferencia entre los resultados de las simulaciones y las medidas experimentales.

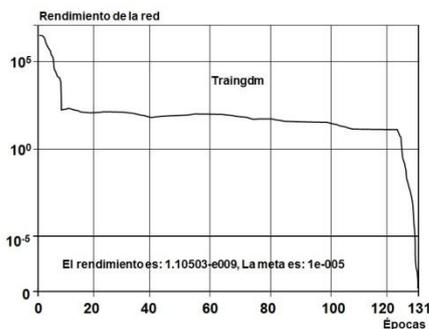


Fig. 4. Rendimiento de la red con el algoritmo *gdm* (*traingdm*)

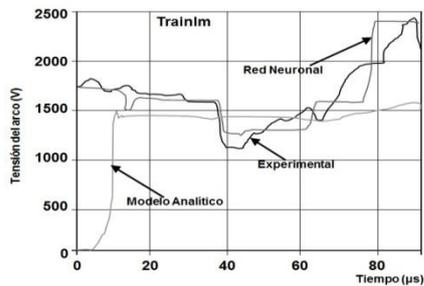


Fig. 5. Variación de la tensión del arco obtenida con el algoritmo *lm* (*trainlm*)

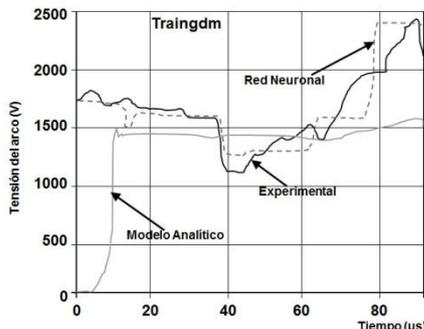


Fig. 6. Variaciones de la tensión del arco obtenida con el algoritmo *gdm* (*traingdm*)

Referencias

- Ben Hamed, M., Sbita, L. and Abboud, W. (2008). Neural Networks for controlled Speed Sensorless Direct Field Oriented Induction Motor Drives. International Journal of Electrical Engineering, Vol. 8, No. 11, pp. 88-99.
- Cassie, A. M. (1939). Arc rupture and circuit severity, a new theory. International Conference on Large Electric High Tension Systems. Paris, France, Octubre 30-1, pp. 1-14.

La simulación de enfriamiento del modelo analítico para un factor $f = 0,25$ presenta tensiones de arco relativamente más cercanas a las experimentales, pero sólo al principio de la rotura –Fig. 4, 6 y 8.

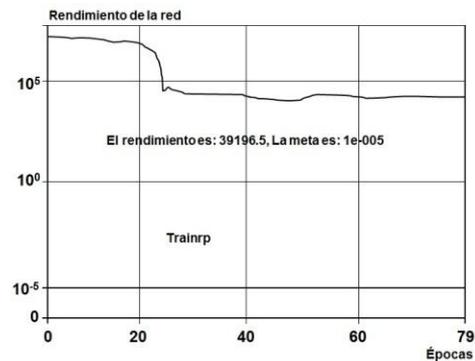


Fig. 7. Rendimiento de la red con el algoritmo *rp* (*trainrp*)

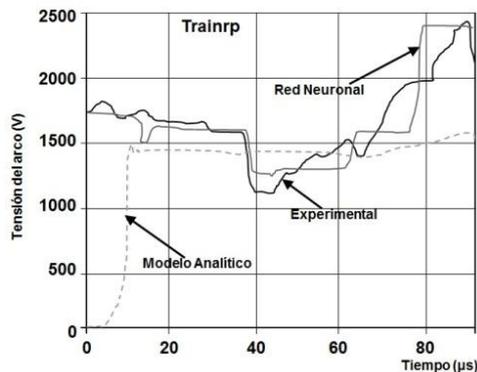


Fig. 8. Variaciones de la tensión del arco obtenida con el algoritmo *rp* (*trainrp*)

7. Conclusiones

En este trabajo se presentó un estudio comparativo de tres algoritmos de entrenamiento. Con los algoritmos de repropagación “*lm*” y con impulso “*gdm*”, se obtiene el mejor rendimiento para la predicción del enfriamiento del arco con interruptores de circuito de alta tensión.

El rendimiento de simulación ofreció resultados cercanos a los experimentales. Sin embargo, este enfoque neuronal todavía es como una caja negra que no permite una interpretación fina de los fenómenos físicos responsables del enfriamiento del arco eléctrico.

Sería interesante, para darle continuidad a este trabajo, investigar otros parámetros vinculados a la ruptura como la temperatura del plasma y su presión.

- Davalo, E. and Naim, P. (1993). Des Réseaux de Neurones. Paris: Ed. Eyrolles, 232 p.
- Gleizes, A., Gonzalez, J. J. and Freton, P. (2005). Thermal plasma modelling. Journal of Physics D: Applied Physics, Vol.38, No. 9, May, pp. 153-184.
- González, J. J., Lago, F., Freton, P., Masquère, M. and Franceries, X. (2005). Numerical modelling of an electric arc and its interaction with the anode: Part II. Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 38, No. 2, January, pp. 306-318.
- Guardado, J. L. and Maximov, S. G. (2005). An Improved Arc Model Before Current Zero Based on the Combined Mayr and Cassie Arc Models. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 1, January, pp. 138–142.
- Habedank, U. (1993). Application of a New Arc Model for the Evaluation of Short-circuit Breaking Tests. IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, No. 4, October, pp. 1921-1925.
- Krose, B. and Van der Smagt, P. (1996). An introduction to neural network. Netherlands: The University of Amsterdam, November.
- Schavemaker, P. H. and van der Sluis, L. (2000). An Improved Mayr-Type Arc Model Based on Current-Zero Measurements. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 15, No. 2, April, pp. 580-584.
- Theoleyre, S. (1998). Les techniques de coupure en MT. Collection Technique: Cahier Technique No. 193. Paris: Groupe Schneider, 36 p.
- Vacquié, S. (1995). Arc électrique. En Collection Sciences et techniques de l'ingénieur, Traité de Génie Electrique. Paris: Éditions Eyrolles, 28 p.
- Ziani, A. and Moulai, H. (2009). Extinction properties of electric arcs in high voltage circuit breakers. Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 42, No. 10, April, pp. 105-117. [Ω](#)

The Soil Solarization in the Mark of the Environment Conservation

La Solarización del Suelo en el Marco de la Conservación del Medio Ambiente

Carlos A. Hernández M.

CUM Camajuani, CUBA
cahm862@uclv.edu.cu

(Artículo de INVESTIGACIÓN. Recibido 24-05-2010. Aceptado 30-08-2010)

Abstract – *It is conceptualized in the soil solarization like a method of Integrated Management of Pests and Diseases that affect to the cultivated plants. Are defined the factors that influence about the effectiveness of the solarization in the soil disinfection. The processes by which the pathogens are inactivated when we solarize the soil are explained. The employment of the solarization facilitates the combined use of technical of control that use biological and cultural methods with a minimum work of chemical control. Their combination allows us to avoid the fumigants use like the Methyl Bromide and Vapam of well-known toxicity and sterilizing effect on the agroecosystem.*

Keywords: *Solarization, Integrated management, soil disinfection, Methyl Bromide, environment.*

Resumen – Se conceptualiza en la solarización del suelo como método de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades que afectan a las plantas cultivadas. Se definen los factores que influyen sobre la efectividad de la solarización en la desinfección del suelo. Se explican los procesos por los cuales los patógenos son inactivados al solarizar el suelo. El empleo de la solarización posibilita el uso combinado de técnicas de control que utilicen métodos biológicos y culturales con un mínimo trabajo de control químico. Su combinación nos permite evitar el uso de fumigantes como el Bromuro de Metilo y Vapam de conocida toxicidad y efecto esterilizante sobre el agroecosistema.

Palabras clave: Solarización, manejo integrado, desinfección del suelo, Bromuro de Metilo, medio ambiente.

1. Introducción

El término Solarización del suelo se refiere a una "técnica de tratamiento que se aplica a un suelo, humedecido previamente, cubriéndolo con una capa de plástico transparente y exponiéndolo a la luz solar durante los meses de más altas radiaciones" (Katan y de Vay, 1991). Durante este proceso la temperatura del suelo alcanza niveles que son letales a muchos hongos, bacterias, nemátodos y semillas de malezas; además de provocar complejas alteraciones en las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo.

Adams (1971) reportó por primera vez el control de un fitopatógeno del suelo (*Thielaviopsis basicola*) con empleo de la solarización. Empleando nylon transparente encontró mejor control que con polietileno negro, aunque ambos

fueron más efectivos que el testigo. A partir de estos primeros trabajos cientos de investigadores de muchos países experimentaron con esta técnica para el control de organismos fitopatógenos con resultados variables.

2. Factores que influyen en la efectividad del tratamiento

Según Mahrer & Katán (1981) la efectividad de la solarización en la desinfección del suelo depende de los siguientes factores:

- **Temperatura:** La temperatura del suelo es la principal variable que garantiza una efectiva desinfección. Se ha demostrado la característica *mesofílica* de muchos patógenos del suelo (Bollen, 1985). Esto hace posible que sean controlados efectivamente por las temperaturas alcanzadas en el proceso de solarización, aun cuando estas no se puedan considerar muy altas.
- **Humedad:** Es un factor importante pues la incidencia del calor sobre los microorganismos se aumenta de acuerdo con el incremento en el contenido de humedad del suelo. También el crecimiento de los mismos es favorecido por la humedad, con lo que se tornan más vulnerables a los efectos letales del incremento en las temperaturas ocasionado por la solarización.
- **Intensidad solar y duración del día:** La efectividad de la solarización depende directamente de la intensidad de los rayos solares y de la duración diaria de la incidencia del sol sobre el suelo. Por ello, las épocas más propicias para solarizar el suelo son los meses de verano, sobre todo si la nubosidad es baja. En Cuba la época óptima para la solarización debe enmarcarse entre los meses de Abril y Agosto, con alta radiación solar y días largos. Sin embargo, nuestras características climáticas permiten el uso de esta técnica durante todo el año.
- **Características de la cubierta plástica:** Desde los primeros intentos de solarización se pudo comprobar que el polietileno transparente es más efectivo que el de color negro en el control de organismos fitopatógenos. Éste

transmite mayor cantidad de radiación de todas las longitudes de onda que es absorbida por el suelo (Lefevre & de Sousa, 1993), por lo que es más eficaz en el control de los organismos fitopatógenos. Se han usado plásticos transparentes de espesor entre 0,025 y 0,40 mm. con buenos resultados en el control de patógenos del suelo que dañan a diferentes cultivos (Katán, 1981). Ramírez *et al.* (1987) lograron resultados concluyentes al usar una doble capa de nylon transparente para el control de *Fusarium oxysporum f.sp. vasinfectum*, hasta profundidades de 30 cm. Según Stapleton (1990) el uso de un polímero o látex aplicado en forma de espray es una alternativa prometedora con respecto al uso de cubiertas plásticas para la solarización. Tiene la desventaja de ser de uso único y queda por ver su reciclaje en el suelo.

- **Características de los suelos:** La absorción de la radiación solar varía de acuerdo con la textura, estructura y coloración de los suelos. En general estos son malos conductores del calor. Los componentes textura y estructura determinan su capacidad de absorción de agua, lo que aumenta la capacidad de conductividad térmica y retención del calor. El color determina la mayor o menor absorción de luz en cada longitud de onda. Según Stapleton & Garza-López (1988) la *Macrophomina phaseolina* fue mejor controlada en suelos arcillosos que en los arenosos, cuando estos se solarizaron en igualdad de condiciones.

3. Acción de la solarización sobre los patógenos en el suelo

Los procesos por los cuales los patógenos son inactivados al solarizar el suelo tienen que ver con los efectos directos de la radiación solar, y con efectos indirectos como el control biológico y la inducción de supresividad en el suelo (De Souza, 1994).

3.1 Efectos directos

Se caracterizan por las altas temperaturas alcanzadas, que dependen del efecto hidrotérmico, posiblemente el factor decisivo en la letalidad de las temperaturas alcanzadas para los patógenos. La dosis letal para cada patógeno depende de la temperatura alcanzada en su entorno y del tiempo de incidencia solar sobre el mismo.

Según Katán *et al.* (1983) muchos patógenos del suelo solo resisten entre una y seis horas a 47°C de temperatura, mientras que a 37°C pueden resistir entre quince y treinta días. Algunos hongos como el *Macrophomina phaseolina* y el *Sclerotinia minor* son poco sensibles a altas temperaturas, mientras otros como el *Sclerotium rolfsii* y el *Phytophthora sp.* son más sensibles.

3.2 Efectos indirectos

La solarización, además del efecto físico del calentamiento, induce alteraciones microbiológicas que contribuyen al control de los patógenos. Esos fenómenos reducen su potencial de inóculo y su capacidad competitiva *saprofítica* debido a (Katán, 1981):

- Anulación de la fungistasis
- Parasitismo de antagonistas estimulados por las altas temperaturas
- Competencia con organismos termo-tolerantes
- Predominio de antagonistas y organismos termo-resistentes que dan al suelo características de supresividad, previendo la re-infestación por patógenos.

Las poblaciones de bacterias antagonistas se recuperan muy rápidamente después de la solarización —más rápido que los patógenos. Otras bacterias formadoras de esporas como el género *Bacillus*. No se ven afectadas por las temperaturas alcanzadas en suelos solarizados. Como son productoras de antibióticos y altamente agresivas son esenciales para sustentar la supresividad en suelos solarizados. Las temperaturas sub-letales de solarización también debilitan a los patógenos, aumentando su predisposición al parasitismo por *Trichoderma sp.*, bacterias y actinomicetos antagonistas (Lifshitz *et al.*, 1983).

Según Freeman & Katán (1988), otros efectos de las temperaturas sub-letales de solarización pueden ser alteraciones fisiológicas de los patógenos, como retardo en germinación e inhibición del crecimiento del tubo germinativo. Esto reduce la capacidad del organismo para penetrar en las plantas hospederas.

4. Aplicaciones de la solarización en la agricultura orgánica para el control integrado de patógenos del suelo

El empleo de la solarización posibilita el uso combinado de técnicas de control, que utilicen métodos biológicos y culturales con un mínimo trabajo de control químico. Su combinación evita el uso de fumigantes como el Bromuro de Metilo y Vapam, de conocida toxicidad y efecto esterilizante sobre el agroecosistema.

El empleo combinado de la solarización y aplicaciones del hongo antagonista *Trichoderma harzianum* en campos afectados por *Rhizoctonia solani* propicia un control efectivo de la *rhizoctoniosis* en papa (Elad *et al.*, 1980).

Asociando la solarización con el empleo de variedades resistentes y susceptibles, Katán *et al.* (1983) cultivaron variedades de algodón susceptibles al *Fusarium oxysporum f.sp. vasinfectum*. En todos los casos se plantaron la variedad resistente después de la solarización

bajando la presión de inóculo al mínimo y luego se sembraron la variedad susceptible.

Con relación a la aplicación de residuos de cosechas y compost previo a la solarización, hay que tener en cuenta que la cobertura plástica aprisiona los gases resultantes de su descomposición. Estos vapores contribuyen al control de muchos patógenos del suelo.

4.1 Otras aplicaciones

La solarización puede emplearse dentro de una agricultura orgánica en la desinfección del suelo para usar en cultivos de invernaderos, viveros y organopónicos, sustituyendo a los esterilizantes químicos en dos formas:

1. El suelo a desinfectar se coloca en sacos de nylon transparentes que se ponen a sol durante dos semanas, volteándolos diariamente.
2. El suelo se coloca, en una capa de cinco a diez cm., dentro de cajones de zinc u hojalata cubiertos por polietileno transparente. En menos de siete días se inactivan los patógenos principales.

5. Ventajas de la solarización

- No usa sustancias químicas, es de fácil aplicación y no deja residuos tóxicos para las plantas, el medio ni el consumidor.
- Además de su efectividad contra microorganismos patógenos, controla nemátodos y ácaros en el suelo.
- Su empleo en el control de plantas dañinas es altamente positivo.
- En suelos solarizados se observa un efecto de “Crecimiento incrementado de los cultivos”,

producto de las alteraciones químicas —mayor disponibilidad de nitrógeno y potasio— y biológicas —incremento de antagonistas y control de patógenos de menor importancia— que provoca este tratamiento.

6. Limitaciones de la solarización

- Requiere que el suelo permanezca sin cultivar durante un período entre uno y dos meses —puede ser más corto en Cuba.
- Es una técnica poco efectiva contra cierto grupo de patógenos.
- Presenta dificultades de manejo y sobre todo para la obtención, retirada, almacenamiento y reciclaje de la cubierta plástica.

La solarización del suelo para recuperar terrenos infestados de plagas y patógenos es una opción viable, que debe tenerse en cuenta en los Planes de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades a emprender en nuestros agro-ecosistemas.

7. Conclusiones

Los nuevos conocimientos obtenidos a diario sobre este método desafían a establecer si, la solarización, es una nueva arma para agregarla al arsenal de técnicas para el control integrado de enfermedades. Quizás la muestren como una técnica promisoría a ser usada en pequeña escala en viveros e invernaderos.

Estas decisiones dependen totalmente del análisis efectuado por cada productor para sus condiciones, lo que le hará decidir si la solarización del suelo es una metodología viable en sus condiciones de cultivo, suelo, posibilidades de obtener insumos y necesidad de cultivar productos, sin restos tóxicos de pesticidas y otros agro-tóxicos.

Referencias

- Adams, J. (1971). Soil solarization. *Plant Dis.* No. 64, pp. 124-128.
- Bollen, G. T. (1985). Lethal temperatures of soil fungi. In: Parker, C. A. *et al.* Ecology and management of soilborne plant pathogens. A.P.S. pp. 191-193.
- De Souza, N. L. (1994). Solarização do solo. *Summa Phytopathologica*, Vol. 20, No. 1, pp. 3-15.
- Elad, Y., Katán, J. & Chet, I. (1980). Physical, biological and chemical control integrated for soilborne diseases of potatoes. *Phytopathology*, No. 70, pp. 418-422.
- Freeman, S. & Katán, J. (1988). Weakening effect on propagules of *Fusarium* by sublethal heating *Phytopathology*, No. 78, pp. 1656-1661.
- Katán, J. (1981). Solar heating of soil for control of soilborne pests. *Ann. Rev. Phytopathol.* No. 19, pp. 211-236.
- Katán, J., Fishler, G. & Grinstein, A. (1983). Short and long term effects of soil solarization and crop sequence on fusarium wilt and cotton yield in Israel. *Phytopathology*, No. 73, pp. 1215-1219.
- Katán, J. & de Vay, J. E. (1991). Soil solarization: historical perspectives, principles and uses. In: Katán, J. y J.E. de Vay. *Soil Solarization*. Boca Ratón. C.R.C. pp. 23-37.
- Lefevre, A. F. V. & de Souza, N. L. (1993). Determinação da temperatura letal para *Rhizoctonia solani* e *Sclerotium rolfsii* e efeito da solarização sobre a temperatura do solo. *Summa Phytopathol.* No. 19, pp. 107-112.
- Lifshitz, R., Tabacnik, M., Katán, J. & Chet, I. (1983). The effect of sublethal heating of sclerotia of *Sclerotium rolfsii*. *Can. J. Microbiol.* No. 29, pp. 1607-1610.

- Mahrer, Y. and Katán, J. (1981). Spatial soil temperature regime under transparent polyethylene mulch: numerical and experimental studies. *Soil Sci.* No. 131, pp. 82-87.
- Ramírez-Villapudna, J. and Munnecke, D. E. (1987). Control of cabbage yellows (*Fusarium oxysporum* f.sp. *conglutinans*) by solar heating of field soil admended with dry cabbage residues. *Plant Dis.* No. 71, pp. 217-221.
- Stapleton, J. J. (1990). Feasibility of sprayable polymer mulches for soil solarization and soil sealing applications. Abstract. *Phytopathology*, No. 80, p. 892.
- Stapleton, J. J. and Garza-López, J. G. (1988). Mulching of soil with transparent and black polyethylene films to increase yields of annual and perennial crops in Southwestern Mexico. *Trop. Agric.* Vol. 65, No. 1, pp. 29-33. [Ω](#)

Mathematics Foundations and Theory of Sets

Fundamentos Matemáticos y Teoría de Conjuntos

Peter B. Aczel

University of Manchester. Department of Computer Science and Mathematics
peterba@cs.man.ac.uk

(Artículo de REFLEXIÓN. Recibido el 15-08-2010. Aprobado el 10-11-2010)

Abstract – *In this paper we analyze the proposals of John Mayberry in his book "The Foundations of Mathematics in the Theory of Sets", especially his idea of solving a problem of more than 200 years: to explain the Foundations of Mathematics.*

Keywords: *foundations of the mathematical, set theory, axioms, axiomatic system, axiomatic method.*

Resumen – En este trabajo se hace un análisis a las propuestas de John Mayberry en su libro "The Foundations of Mathematics in the Theory of Sets", especialmente a su idea de resolver un problema de más de 200 años: explicar los fundamentos de las matemáticas.

Palabras clave: fundamentos de la matemática, teoría de conjuntos, axiomas, sistema axiomático, método axiomático.

1. Introducción

En "The Foundations of Mathematics in the Theory of Sets", John Mayberry (1990) trata de resolver un problema de más de 2000 años de antigüedad: explicar los fundamentos de las matemáticas. Estructura su relato en tres cuestiones interrelacionadas: 1) determinar exactamente lo que debería –y no debería– esperarse de un fundamento; 2) argumentar que la teoría de conjuntos, de hecho, puede proporcionar dicho fundamento; y 3) presentar una nueva versión de la teoría de conjuntos –o al menos una nueva exposición de la teoría de conjuntos tradicional–, que puede cumplir este papel fundamental.

Él se dirige a la primera de estas cuestiones –capítulos 1 y 6– argumentando que el aspecto más importante de las matemáticas es el método axiomático, y por lo tanto un fundamento para las matemáticas debe proporcionar una justificación de este método –pero que necesita proporcionar un poco más. Los Sistemas Axiomáticos, de acuerdo con Mayberry, aíslan las estructuras matemáticas particulares –o lo pretenden–, y todo lo que queda para que un fundamento supla es la garantía de que existe una estructura apropiada que satisfaga los axiomas.

Para cuando empleamos el método axiomático, sólo tenemos que reconocer que el tema especial de los conjuntos pertenece a las matemáticas [...]. Todo lo que se requería, históricamente, para reemplazar completamente a los métodos tradicionales era establecer tres teorías axiomáticas [análisis,

aritmética y geometría] [...], y luego mostrar cómo [estas teorías] podrían reconstruirse mediante simples métodos algebraicos y de teoría de conjuntos aplicados a modelos de esas teorías (p. 204).

Con toda la razón señala que la axiomatización formal de la teoría de conjuntos de Zermelo-Fraenkel es un lugar inapropiado para buscar un fundamento, ya que se trata, como el análisis, de una teoría matemática con la necesidad de un fundamento, no un candidato para proporcionar alguno. Sostiene, por tanto, que lo que se necesita es una teoría no formal consistente de verdades evidentes que pueden proporcionar el tema especial de las matemáticas axiomáticas y por lo tanto proporcionar el fundamento necesario.

Una vez que uno conoce lo que está buscando, puede proceder a las cuestiones dos y tres: proporcionar un fundamento que satisfaga a la desiderata descrita anteriormente –esta cuestión la aborda en los capítulos 2-5 y 7. Mayberry afirma que la teoría de conjuntos, adecuadamente concebida, puede proporcionar un fundamento. La teoría de conjuntos en cuestión es una colección informal de axiomas justificadas por la noción intuitiva de lo finito, comprendida: "en el sentido esencial y original de 'finito', el sentido no técnico, a saber: 'limitado' –o definido o delimitado– en el 'tamaño'" (p. 47).

Este uso no estándar –por lo menos para los oídos contemporáneos– de "finito" puede ser confuso para un lector menos cuidadoso de lo que debería, aunque Mayberry es muy consciente al recordarle al lector lo que no es "finito", ya que el término utilizado en el libro significa lo mismo que el "finito" de Dedekind (1963). Para terminar este comentario, en adelante se colocará "finito" entre comillas cuando se le use de acuerdo con el significado de Mayberry, y se entenderá como limitado o delimitado, diferenciándolo del uso más tradicional –no citado– de la palabra.

2. Rasgos históricos de la cuestión

Para los antiguos griegos, "finito" coincidía –al menos intuitivamente– con la noción moderna de Dedekind, y la revolución teórica de conjuntos que surgió, con el cambio de siglo, a partir de:

La clave de la doctrina Cantor (2006) [...], según la cual una pluralidad puede ser del mismo tamaño que algunas de sus propias sub-pluralidades y sin embargo sigue siendo finita [...]. En efecto él rechaza la noción clásica de la finitud, concepto empleado por Aristóteles y Euclides (p. 47).

Así, la historia de la teoría de conjuntos se describe como el proceso que modifica colecciones, o pluralidades, definidas como “finitas”. Esta reconstrucción racional de la historia de la teoría de conjuntos como la evolución de la noción de “finito” es una de las partes más interesantes y útiles de las primeras secciones del texto en cuestión.

Mayberry presenta analogías informales para la mayoría de los axiomas estándar —por ejemplo, conjunto potencia, unión, conjunto vacío, vinculación, sustitución, etc.— que según él son justificados por este concepto intuitivo de “finitud”. Señala que uno logra una versión informal de algo como la teoría de conjuntos estilo Cantoriana —o Zermelo—, siempre y cuando aceptemos el axioma del infinito, es decir, la afirmación de que la colección de los números naturales es “finito” en un sentido relevante.

Además, señala que los antiguos griegos concibieron a los números no como un único referente numeral, sino como pluralidades “finitas” que son instancias de una especie general; y nos invita a:

[...] considerar la idea de número que fue suplantada por la idea moderna de número “natural”, la concepción griega clásica de *arithmos*. En esa concepción, un número —*arithmos*— es una pluralidad finita —multitud, multiplicidad—, integrada por unidades, donde una unidad es lo que cuenta (!) como un objeto del número en consideración (p. 21).

Como resultado, la forma correcta de analizar y hablar de número es la que se expresa como “El número de caballos en el campo es un cinco”, y no como “El número de caballos en el campo es cinco” (pp. 24-25). Mayberry repetidamente enfatiza que, en su opinión, la gramática aparente que habla de número es engañosa para Frege y el resto de nosotros, pero no para los antiguos griegos, quienes pensaban que éste es un objeto único que es el referente de “cinco”.

Si los números son pluralidades, entonces la teoría de los números naturales es sólo la teoría de las pluralidades finitas —en el sentido moderno. Mayberry, sin embargo, insiste en la otra cara de esta idea explicativa: si las pluralidades “finitas” —en el sentido clásico o Cantoriano— son números, entonces esta informal teoría de conjunto es realmente una forma de la teoría de número —o cardinalidad—, lo que le permite afirmar en el prefacio que:

[...] todas las matemáticas se basan en la aritmética, debido a que el concepto central en matemáticas es el de una pluralidad limitada, o delimitada, o determinada, o definitiva —en una palabra, finita— en tamaño, el antiguo concepto de número —*arithmos*— (p. xix).

3. Cuestiones contemporáneas

La diferencia esencial en el enfoque de Mayberry, entre la teoría de conjuntos Cantoriana moderna y la llamada consideración Euclidiana de número, es que Cantor amplió la noción de “finito” para incluir las pluralidades infinitas de Dedekind, es decir, un número infinito de pluralidades “finitas”.

Para justificar los axiomas, Mayberry afirma que las pluralidades “finitas” compuestas de objetos físicos, aunque no objetos físicos en sí mismos, son, sin embargo, no más problemáticos que los objetos que los componen y, más generalmente, que la existencia de cualquier pluralidad no es más problemática que la existencia de los objetos que la componen, cuando esos componentes son objetos físicos, otras pluralidades o cualquier cosa.

Entonces un número de caballos, por decir un cinco, ¿es un objeto físico? No, es un número, un cinco, de objetos físicos. Los números son *sui generis*; pero también lo es cualquier otro tipo básico de cosas: se dice que las cosas son de muchas formas (p. 35).

Aparentemente, las pluralidades sólo nos ofrecen: existe algo que es un cinco —una pluralidad que consta de cinco objetos— por encima de los cinco objetos que de alguna manera la componen, pero nuestro conocimiento de esta pluralidad no es más misterioso que el conocimiento de los objetos. Esta insistencia en la “facticidad” de pluralidades tiene como objetivo hacer frente a muchas de las preocupaciones filosóficas tradicionales acerca de los objetos matemáticos:

Simplemente por ser objetos, y por tanto, por hipótesis, tienen, respectivamente, la pretensión de ser reales, de existencia independiente, y por ser, conjuntamente, finitos en multitud, las unidades de un *arithmos*, y colectivamente constituyen sólo una cosa bien definida, a saber, un objeto (p. 73).

Es en esta discusión de la teoría de conjuntos y la aritmética antigua que se encuentra el único defecto importante en el libro, aunque es una falta de omisión, no de comisión. Uno esperaría un libro argumentando que —al menos algunos— conjuntos —concebidos como pluralidades— se componen de objetos físicos para entablar una discusión de, por ejemplo, el realismo de Penélope Maddy (1990) en matemáticas. Del mismo modo, cabría esperar una posición que argumente que —en algún sentido— los números son conjuntos —puesto que los conjuntos son números, es decir pluralidades— para demostrar

cómo la visión en cuestión maneja los puntos planteados en el ya clásico “Qué números pueden no ser” de Paul Benacerraf (1965). Sin embargo, ni Maddy ni Benacerraf se mencionan en alguna parte del texto.

Sin embargo, estos olvidos no son tan inexcusables ya que aparecen por primera vez. Mayberry tiene la intención de proporcionarnos un fundamento para las matemáticas, en el sentido de la “fundación” que estaba de moda hace medio siglo, no para resolver las cuestiones filosóficas acerca de la epistemología y la verdad que están más de moda actualmente. De hecho, Mayberry explícitamente sostiene que, al explicar los fundamentos de las matemáticas, se deben evitar tales complicaciones filosóficas (Secciones 1.3 y 3.7).

Como resultado, el lector debe acercarse a las primeras secciones del libro no como a una filosofía bien desarrollada de la matemática, sino como a un bosquejo informal de los puntos de vista filosóficos de Mayberry, que sirven como telón de fondo a su proyecto principal: proveer fundamentos matemáticos. Con esto en mente, tal vez deberíamos juzgar el libro por su originalidad, el contenido matemático. Sin embargo, independientemente de si Mayberry está en lo correcto al evitar la epistemología y lo relacionado con las cuestiones filosóficas, es probable que algunos lectores se pregunten acerca de cómo conectar el material contenido en las primeras secciones del libro al trabajo filosófico contemporáneo acerca de la naturaleza de los conjuntos.

4. El acierto de Mayberry

Afortunadamente, Mayberry presenta en la tercera parte del libro su nueva teoría de conjuntos, que es quizás la mejor parte del libro, ya que está cómodamente descrita en un entorno puramente matemático. Como se señaló anteriormente, los axiomas de la teoría informal de conjuntos de Mayberry se basan en una noción informal de “finito” o sin límites, y el salto revolucionario a lo tras-finito ocurrido cuando Cantor reconoce las estructuras infinitas de Dedekind en el ámbito de lo “finito”. Mayberry, sin embargo, tiene dudas acerca de la legitimidad de este salto conceptual:

[...] existen evidencias de que algo puede estar mal en el paraíso de Cantor, evidencias que pueden, de hecho, albergar una falacia. Esta evidencia proviene de dos fuentes: de la matemática en sí y de la física. Esto no es decisivo, pero debe ser preocupante para un Cantoriano (p. 264).

Las preocupaciones a las que se refiere son: 1) la independencia de la hipótesis del continuo, y 2) el hecho de que la teoría de la relatividad y la teoría cuántica eliminan, respectivamente, la

necesidad de la extensión infinita y la divisibilidad infinita en la naturaleza.

Como resultado de estas preocupaciones, Mayberry concluye el texto (Capítulos 8-12) mediante la investigación de lo que sucede cuando se sustituye la concepción Cantoriana liberal de “finito” con la original restricción de la Grecia antigua. En otras palabras, él investiga lo que se desprende de los axiomas teóricos de conjuntos estándar —o sus análogos informales— cuando sustituimos el axioma de infinito con el *axioma de finitud Euclidiana*:

$(\forall f)(\forall Y)((f: Y \rightarrow Y \wedge f \text{ es 1-a-1}) \rightarrow f \text{ es sobre})$
(p. 227; reformulado ligeramente)

Este axioma intenta capturar el 5 Concepto Común de Euclides: El todo es mayor que la —propia— parte. Al investigar las consecuencias de esta teoría de conjuntos Euclidiana surge gran cantidad de resultados significativos, algunos de ellos bastante sorprendentes. Uno de los más interesantes es que:

La teoría Euclidiana de sistemas infinitos simples, a diferencia de su contraparte Cantoriana, nos obliga a reconocer la existencia de sistemas de números naturales de diferentes longitudes (p. 382; énfasis añadido).

Este resultado, y otros como él, ofrecen mucha luz acerca del papel del axioma —tradicional— de infinito en la teoría de conjuntos. Además, la nueva teoría de conjuntos promete ser de interés para los matemáticos y los filósofos de tendencia constructivista. Sin embargo, Mayberry admite que queda mucho trabajo por hacer:

[...] todavía no sabemos lo suficiente acerca de cómo se pueden desarrollar las matemáticas en la teoría de conjuntos Euclidiana como para hacer una elección fidedigna entre la teoría y la ortodoxia Cantoriana. Pero creo que las perspectivas del desarrollo matemático de esta manera —por ejemplo la Euclidiana— son prometedoras, y de hecho, excitantes (p. 387).

El libro concluye con una larga lista de problemas no resueltos y problemas abiertos en de la teoría de conjuntos Euclidiana.

5. Conclusiones

El tratamiento de Mayberry a la teoría de conjuntos puede ser de interés para alguien que trabaje en los fundamentos de las matemáticas, especialmente los interesados en las diferentes concepciones que subyacen nuestra aceptación de los axiomas teóricos de conjuntos. Las partes del texto que se refieren al método axiomático y al papel de las fundaciones son excelentes, y demuestran que Mayberry está bien informado acerca del funcionamiento de la práctica de la matemática actual. Además, las posteriores

secciones en las que describe la teoría Euclidiana de conjunto, se destacan tanto por la claridad de las matemáticas como por la novedad del punto de vista acerca de la teoría de conjuntos que presenta. Por último, aunque filosóficamente algunas cuestiones importantes se orientan en

favor de las preocupaciones matemáticas, este trabajo matemático promete ser una importante contribución a nuestra comprensión de nociones como finitud, acotaciones, definitud, y de las matemáticas como un todo.

Referencias

- Benacerraf, P. (1965). What Numbers Could Not Be. *Philosophical Review*, No. 74, pp. 47–73.
- Cantor, G. (2006). *Fundamentos para una teoría general de conjuntos: Escritos y correspondencia selecta*. Madrid: Crítica. 320 p.
- Dedekind, R. (1963). *Essays on the Theory of Numbers*. USA: Dover Publications.
- Maddy, P. (1990). *Realism in Mathematics*. Oxford: Oxford University Press.
- Mayberry, J. P. (2000). *The Foundations of Mathematics in the Theory of Sets*. Cambridge: Cambridge University Press. [Ω](#)

Software Engineering: Science or Art

Ingeniería del Software: Ciencia o Arte

Cortis Cooke

Oregon State University
cooke@eecs.orst.edu

Greggie Rothermeli

Oregon State University
grotheri@eecs.orst.edu

(Artículo de REFLEXIÓN. Recibido el 12-07-2010. Aprobado el 20-10-2010)

Abstract – *If we could count the times we've done, or we have made, the question of whether Software Engineering is science or art, it would take several sheets of paper to take notes and answer. The answer always varies depending on the person and the environment in which to develop the repeated scenes. In this study we conclude that, no matter who asks or who respond or where this discussion, in reality the answer is "both".*

Keywords: *software engineering, evidence, evidential force.*

Resumen – Si pudiéramos contabilizar las veces que nos hemos hecho, o nos han hecho, la pregunta de si la Ingeniería del Software es ciencia o es arte, serían necesarias muchas hojas de papel para anotarlas y responderlas. La respuesta siempre varía dependiendo de la persona y el entorno en el cual se desarrollan las repetidas escenas. En este trabajo llegamos a la conclusión de que, sin importar quien pregunte o quien responda o dónde se presente la discusión, en realidad la respuesta es: "ambas".

Palabras clave: Ingeniería del Software, evidencia, fuerza evidencial.

1. Introducción

Lo que distingue a la ciencia del arte es la forma en que nosotros, como gerentes y profesionales, tomamos decisiones: mediante la formulación de argumentos racionales a partir de las evidencias que tenemos –evidencias que provienen tanto de nuestra experiencia como de la investigación relacionada. Es decir, pasamos de una parte a un todo examinando el cuerpo de la evidencia, para determinar lo que sabemos acerca de la mejor forma de desarrollar un buen producto software. Este punto de vista no es particular de la ingeniería del software e incluso de las ciencias matemáticas, es lo que caracteriza en general a la buena ciencia (Wagner, 19912).

En este artículo se examinan las formas en las que la comprensión cuidadosa de la argumentación y de las evidencias puede conducir a una ingeniería del software más efectiva –y en última instancia a una mejor toma de decisiones, y a procesos y productos de software de mayor calidad.

2. El arte de la ciencia

Como profesionales, muchos tratamos de ampliar nuestros horizontes y experiencias con base en la lectura de revistas y artículos científicos acerca

de las tecnologías del software: paradigmas, procesos, técnicas y herramientas, que utilizamos para especificar, diseñar, construir, probar, usar y evaluar nuestros productos software. Los estudios presentados y reportados en revistas y actas de congresos representan un rico y creciente cuerpo de evidencias sobre muchos aspectos del desarrollo y evolución del software; pero estas evidencias no son suficientes; hay que utilizarlas más eficientemente para construir argumentos y preparar casos acerca del qué hacer y qué evitar.

Por lo general, una acción de este tipo consta de tres partes:

1. Una o más solicitudes que un conjunto de propiedades debe cumplir
2. Un cuerpo de evidencias –de fuentes diversas– que soportan las solicitudes
3. Un conjunto de argumentos que vinculan las solicitudes con las evidencias.

Los investigadores de la ingeniería del software a menudo se centran demasiado en la producción de evidencias y muy poco en la construcción de los argumentos asociados. Así como a los profesionales, nos es difícil saber qué leer, qué creer y cómo unir las piezas. Además, a veces suponemos que una pieza de evidencia es muy similar a otra. De hecho, como veremos, hay formas de evaluar cada pieza de la evidencia y de usar características evidenciales para construir argumentos más sólidos y convincentes.

Para ello, debemos reconocer que podemos utilizar las evidencias de dos maneras distintas: para generar hipótesis y para probarlas. La necesidad de establecer y probar hipótesis plantea cuestiones clave que debemos responder para poder comprender el papel de las evidencias:

- ¿Qué queremos decir cuando hablamos de una tecnología "funcional"? Antes de utilizar los resultados de un estudio para evaluar si una tecnología es efectiva, debemos conocer cuál es la efectividad de tales medios. En particular, debe haber alguna manera medible o demostrable para probar que se utilizó apropiadamente la tecnología.

- ¿Qué tipos de evidencias –y cuántas– tenemos que demostrar que funcionan? Algunas tecnologías muestran sus efectos incluso antes de que el software se entregue, pero algunas –como las que afectan la fiabilidad– pueden ser evaluadas sólo después de que el sistema está en uso. Tenemos que reunir evidencias para demostrar los efectos, tanto antes como después. Estas evidencias también deben permitir la comparación entre el uso y no uso de la tecnología (Pfleeger & Kitchenham, 1994-1995)
- ¿Quién proporciona y quién revisa la evidencia? Muchos proveedores aportan evidencias de la efectividad de sus productos, y muchos investigadores están ansiosos por demostrar que sus nuevas ideas o herramientas pueden marcar una diferencia positiva para los desarrolladores o los usuarios. Pero este afán pueden sesgar los resultados, aun cuando los vendedores y los investigadores hacen grandes esfuerzos por evitarlo. Casi siempre es preferible una evaluación independiente.
- Si una tecnología funciona en un dominio, ¿para qué nos hablan de otros dominios? Las evidencias recogidas en un contexto o entorno puede que no se apliquen en otros.
- ¿Cómo puede informarnos una evidencia acerca de las ventajas y desventajas de utilizar una tecnología imperfecta en lo social, lo económico o lo político? Ninguna tecnología es perfecta, y tenemos que ser capaces de utilizar evidencias para tomar decisiones acerca de los riesgos involucrados en la adopción de imperfecciones. En particular, la evidencia debe ser compatible con las decisiones políticas y las estrategias de mitigación de riesgos.

3. El papel del riesgo y la incertidumbre

Nos gusta pensar de la ciencia con certidumbre, donde los resultados son claros cuando se entienden y aceptan las reglas. Pero la ciencia está llena de incertidumbres, y debemos reconocer su papel y los riesgos derivados que tomamos, tanto al generar evidencias como cuando la usamos para construir argumentos. Los abogados reconocen la incertidumbre asociada con diversos tipos de evidencias, por lo que buscan las piezas de las evidencias que en conjunto tienen más “valor probatorio” que cuando se usan por separado. Por ejemplo, David Schum (1994) identifica cuatro categorías distintas de evidencias, algunas con más incertidumbre que otras:

1. *Evidencia tangible*, que puede ser examinada directamente para ver qué revela. Algunos ejemplos incluyen objetos –como el código–, documentos –como las especificación de

requisitos–, imágenes –como el registro de sensores–, medidas –como las líneas de código–, y tablas –como histogramas o pulsaciones por período de tiempo.

2. *Evidencia testimonial*, que es entregada por una persona que reporta acerca de lo ocurrido. Existen dos tipos de evidencias testimoniales:

- *Evidencia testimonial inequívoca*, que consiste en la observación directa o en un rumor: “Vi que el usuario introdujo esta secuencia de pulsaciones de teclas, con lo cual el sistema falló”; o “Ana me dijo que los informes se imprimieron incorrectamente cuando se utilizaron los datos de la semana pasada”.
- *Evidencia testimonial dudosa*, que es probabilística. “Juan cree que el fallo del sistema puede estar relacionado con la inusual carga que ha tenido esta semana”; o “Gabriel no está seguro de si elimina los archivos antiguos antes de crear los nuevos”.

3. *Evidencias ausentes*, pueden ser tangibles o testimoniales, y pueden ser útiles para soportar un argumento. Por ejemplo, el no descubrir registro de defectos durante las pruebas unitarias puede ser evidencia de pruebas unitarias inadecuadas. Del mismo modo, la ausencia de un informe de revisión de requisitos podría significar que nadie realizó la revisión de requisitos.

4. *Hechos aceptados*, que son registros autorizados, tales como incidencias o resultados de pruebas de aceptación. Estos hechos suelen tener credibilidad sustancial, ya que son el resultado de procedimientos seguidos y verificados cuidadosamente.

En lugar de estar consternados por la naturaleza de la incertidumbre y la variabilidad evidencial, podemos utilizar la incertidumbre a nuestro favor. La fuerza evidencial es el grado en que cada pieza de evidencia contribuye a o disminuye al argumento que utiliza. Por ejemplo, dos piezas de evidencia débil juntas podrían ser más fuertes que cualquiera de ellas por separado. O una pieza de evidencia podría anular otra, si tuviera resultados opuestos obtenidos en las mismas circunstancias. Schum (1994) ofrece algunas directrices acerca de cómo determinar la naturaleza y el grado de fuerza evidencial de una determinada evidencia. Por ejemplo, para un determinado resultado podemos hacer varias preguntas, con base en las cinco características evidenciales representadas en la Fi. 1.

En primer lugar, debemos determinar el tipo de evidencia: ¿Está documentada o sólo es un rumor?

¿Existen detalles suficientes como para que el estudio se pueda replicar? ¿Están claramente definidas y medidas las variables importantes? Y ¿Fue bien diseñado el estudio? Estas directrices pueden ayudar a determinar el grado en que cada pieza de evidencia está sólidamente diseñada e implementada (Kitchenham *et al.*, 2002).

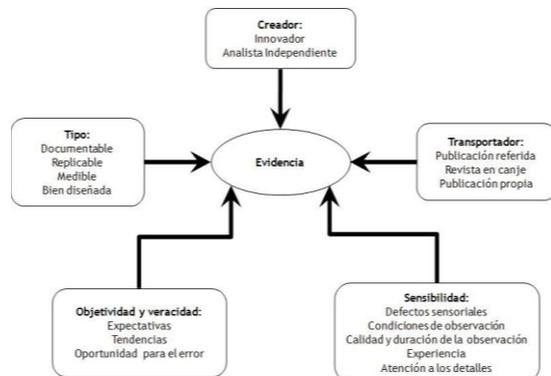


Fig. 1. Características para evaluar la contribución a la fuerza evidencial (Adaptado de Schum (1994))

A continuación, nos fijamos en quién creó la evidencia. Si fue diseñada y producida por el innovador cuya tecnología se está evaluando, la evidencia tiene menos fuerza evidencial que si fuera producto de un análisis independiente. Del mismo modo, tomamos nota del portador de la evidencia. Una publicación referenciada tiene más credibilidad que una revista profesional —que puede tener el creador de la tecnología como un anunciante o colaborador—, que a su vez tiene más credibilidad que un artículo auto-publicado —al igual que muchas publicaciones en la Web.

Como profesionales, podemos determinar la credibilidad evidencial, en parte, mediante un examen profundo al mismo estudio para ver qué tan sensible es a un error. Por ejemplo, podría ser objeto de defectos sensoriales, como cuando dos observadores toma notas diferentes del mismo resultado. Las condiciones de observación pueden ser diferentes, como la calidad y la duración de la observación, la experiencia de los observadores, y su atención al detalle. Por ejemplo, escribir reportes de fallas cuando un producto es nuevo, a menudo es más detallado que los que se escriben meses más tarde, cuando otros productos capturan cada vez más la atención y el equipo del proyecto se está asignando a otras tareas (Pfleeger & Hatton, 1997).

Por último, debemos entender el grado de objetividad y veracidad de los investigadores. A veces, los investigadores están ansiosos por mostrar resultados positivos, incluso cuando tratan de diseñar un estudio objetivo. Esta situación es particularmente cierta para los candidatos a doctorado y para los creadores de nuevas tecnologías, que prefieren resultados positivos en lugar de negativos. Una vez más, a mayor objetividad mayor fuerza evidencial.

4. Formando un todo

La conclusión es que debemos ver un cuerpo de evidencias en el contexto de nuestra experiencia y nuestra necesidad para soportar la toma de decisiones. A pesar de que una pieza determinada de evidencia tiene su propia fuerza evidencial, en última instancia debe considerarse en el contexto de cómo contribuye a la discusión general que se está realizando. Lo ideal sería que cada pieza de evidencia se sumara a la fuerza global del argumento, pero en la práctica ahí hay problemas. A veces un estudio tiene dudosa credibilidad, especialmente cuando no es fácilmente replicable. En otras ocasiones, la evidencia no existe, a menudo cuando la información del propietario está oculta. La evidencia puede ser ambigua, particularmente cuando hay variables confusas que enturbian el poder explicatorio de las variables independientes. Y la evidencia puede estar en conflicto, como en el debate acerca de si los equipos de inspección son necesarios.

Este tipo de conflicto no se limita a los estudios de ingeniería del software. El campo de la medicina, generalmente considerado el estándar dorado de la ciencia para producir y evaluar evidencias, proporciona muchos ejemplos de estudios conflictivos. Por ejemplo, Gina Kolata (2003) informó de un grave conflicto: hace algún tiempo un estudio en salud bien diseñado indicó que la terapia de reemplazo hormonal —HRT— ayudaba a proteger a las mujeres menopáusicas contra las enfermedades del corazón; pero un estudio más reciente realizado por the Women's Health Initiative en the US National Institutes of Health sugiere lo contrario: que la HRT incrementa el riesgo. El último estudio fue tan convincente que las mujeres abandonaron su medicación HRT en el verano de 2002.

La idea de la fuerza de un argumento no es nueva. En 1827, Jeremy Bentham propuso la utilización de una escala numérica para evaluar los argumentos jurídicos, “fuerza inferencial”. Él valoraba cada pieza de evidencia desde -10 hasta +10. Un número positivo significa que la evidencia favorecía la hipótesis planteada, y un número negativo pesaba en su contra —cero significa que no hubo influencia. Para ayudar a asignar la valoración, Bentham hacía cuatro preguntas sobre cada pieza de evidencia:

1. ¿Qué tan seguro está el testigo respecto de la verdad del evento que afirma?
2. ¿Cómo se conforma el evento respecto a la experiencia de la audiencia general? Es decir, ¿qué tan raro es que ocurra?
3. ¿El testigo es digno de confianza?
4. ¿El testimonio es apoyado o refutado por otras evidencias?

Schum (1994) amplía las ideas de Bentham con un análisis estadístico para sugerir maneras de evaluar la fuerza de un argumento. En primer lugar, describe la *clasificación de evidencias*: formas de elicitar información para minimizar la tendencia, corroborar hechos, y mejorar la credibilidad de cada pieza de evidencia siempre que sea posible. Añade el *análisis Bayesiano*, que permite expresar una pieza de evidencia utilizando el grado de incertidumbre con que se asocia. Schum conecta las piezas de las evidencias utilizando una representación formal de las *cadena de razonamiento*. Estas representaciones gráficas de los argumentos permiten ver cómo cada pieza de evidencia se relaciona con las afirmaciones hechas. Por último, la cadena de evidencias puede servir de base para *medidas de probabilidad*: la probabilidad de que la hipótesis sea verdadera, dada la evidencia.

5. Argumentos de múltiples fuentes

Bloomfield y Littlewood (2003) describen la fuerza evidencial en términos de la naturaleza de cada pieza de evidencia. Señalan que los argumentos con diversidad de evidencias son más fuertes que los argumentos con múltiples repeticiones de la misma clase de evidencia. Su trabajo fue motivado por la necesidad de una evidencia fuerte cuando se toman decisiones acerca de los sistemas de seguridad crítica. Por ejemplo, es posible reforzar evidencias basadas en procesos sobre la fiabilidad probable de un sistema –como una revisión de las prácticas– mediante la adición de evidencias basadas en el producto –como el análisis de código estático.

Del mismo modo, el UK Defence Standard 00-55 describe un argumento con dos partes: una demanda de inferencia lógica basada en pruebas y una demanda probabilística basada en el análisis estadístico. Este “argumento multi-fuentes”, donde cada fuente maneja un tipo diferente de evidencias, puede ser más fácil de analizar que un argumento completo. Por otra parte, las fuentes no tienen que ser independientes. Las fuentes extras suelen proporcionar más confianza que una fuente aislada, pero el costo adicional de la confianza extra se debe justificar. Lars Bratthall y Jørgensen (2002) toman exactamente este enfoque al investigar los plazos y factores clave de éxito para mantener en alta disponibilidad un sistema de comercio electrónico; mostraron que un estudio de caso con múltiples fuentes de datos tiene mayor validez que cualquiera de las evidencias de una fuente de datos aislada.

Cuando se trabaja en proyectos de software con plazos estrictos, podríamos tener la tentación de buscar una sola pieza o un tipo de evidencia para informar nuestras decisiones. Pero hay dos razones de peso para buscar diversidad evidencial: 1) la primera radica en la naturaleza

de los modelos que construimos para soportar nuestros argumentos. Cada modelo tiene algunas presunciones subyacentes, y estos supuestos pueden, de alguna manera, ser débiles. Por ejemplo, podemos utilizar métodos formales para demostrar que una especificación es correcta; pero la prueba será una pieza de evidencia fuerte sólo si la especificación es una representación exacta de los requisitos de más alto nivel. 2) La evidencia misma podría tener debilidades innatas. Por ejemplo, a menudo utilizamos resultados de pruebas para respaldar los argumentos acerca de la fiabilidad, pero la prueba completa rara vez es posible, por lo que la evidencia sólo será tan fuerte como el rigor y la exactitud de la prueba.

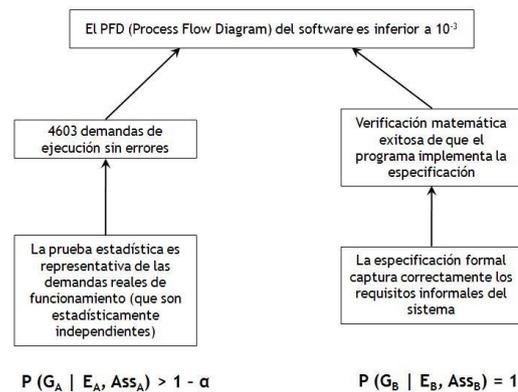


Fig. 2. Un ejemplo de la argumentación acerca de un objetivo de seguridad (Adaptado de Bloomfield & Littlewood (2002))

Cuando se construyen cuidadosamente piezas fuertes y diversas, el argumento general se hace más fuerte, para que podamos tener más confianza en nuestras decisiones. Bloomfield y Littlewood (2003) ilustran esta idea con el ejemplo que se muestra en la Fig. 2. El cuadro en la parte superior es una aseercción acerca de un sistema de software. Cada uno de los dos cuadros debajo de él representa evidencias de que la aseercción es correcta. Pero los cuadros en la parte inferior contienen suposiciones sobre la evidencia que deben ser ciertas para que la evidencia sea útil. La evidencia y los argumentos forman un árbol, y podemos asociar una probabilidad a cada rama con base en su naturaleza. La rama izquierda en la Fig. 2 –rama A– muestra la probabilidad de que la aseercción (G_A) esté soportada, dada la evidencia (E_A) y la correctitud de la suposición acerca de la evidencia (Ass_A). Del mismo modo, la rama B tiene una aseercción con evidencia (E_B) y la suposición (Ass_B). De esta manera, un argumento multi-fuente puede ser más fuerte que cualquiera de sus fuentes solas.

Podemos poner estos enfoques juntos, lo que permite evaluar la fuerza de un argumento. Para cada argumento, debemos considerar cinco cosas:

1. La extensión de las evidencias que soportan la aseercción

2. Nuestra confianza en los supuestos acerca de cada pieza de evidencia
3. La dificultad en la asignación de valores numéricos a las evidencias medibles y las evaluaciones de probabilidad
4. La necesidad de simplificar los supuestos en los modelos subyacentes
5. La contribución de cada pieza de evidencia al conjunto completo.

Ahora, examinemos dos ejemplos para ver lo que está involucrado en la aplicación de estas técnicas a evidencias imperfectas.

5.1 Un ejemplo en medicina

El trabajo de la Corporación RAND –Research AND Development–, de interpretar evidencias para aportar a la discusión acerca de las decisiones políticas, ofrece muchas lecciones evidenciales de las que los ingenieros de software pueden aprender. Por ejemplo, durante el tiempo que la efedra fue popular como suplemento dietético, se presentaron por lo menos 18000 reportes acerca de sus efectos adversos, incluyendo muerte y enfermedades. RAND examinó las evidencias para determinar si soportaban o refutaban los reportes (Shekelle *et al.*, 2003). La US Food and Drug Administration no tiene a los suplementos alimenticios sujetos a los mismos estándares rigurosos de los medicamentos. En su lugar, sólo busca evidencias de que no exista “riesgo significativo o irrazonable de lesión o enfermedad”. Así, los fabricantes no tienen que demostrar evidencias de la seguridad de la efedra antes de que se lleve al mercado. Por lo tanto, no existe un cuerpo de evidencias para demostrar con certeza científica que la efedra es segura. Entonces, ¿cuál era el estado de la evidencia? Existían reportes en varias formas y desde varias fuentes:

- 52 reportes publicados y no publicados de los ensayos acerca de la pérdida de peso o disminución del rendimiento deportivo
- 1820 reportes de quejas de los consumidores a la US Food and Drug Administration
- 71 reportes en la literatura médica
- 15951 reportes proporcionados por Metabolife, un fabricante de suplementos que contienen efedra.

Algunos de los 52 reportes incluían sólo un pequeño número de personas; otros evaluaban el uso de la sustancia durante un corto período de tiempo; y otros tenían limitaciones como el uso de una muestra no representativa. Los diversos reportes reflejaban estudios que los investigadores realizaron en diferentes lugares, por diferentes razones. Tenían:

- *Objetivos diferentes:* pérdida de peso, rendimiento deportivo, y efectos adversos para la salud

- *Compuestos químicos diferentes:* la efedrina química, la hierba efedra, y la efedrina o efedra combinada con otras sustancias químicas que podrían haber afectado el resultado
- *Diseños de estudio diferentes*
- *Tratamientos diferentes*
- *Medidas de resultado diferentes,* como ejercicios diferentes.

RAND ejecutó tres pasos para hacer frente a la evidencia como un solo cuerpo de la información. En primer lugar, los investigadores de RAND establecieron *criterios de confianza* en la evidencia. Para hacer frente a la pérdida de peso, seleccionaron estudios que evaluaran la efedra, efedrina o efedrina plus, además de otros compuestos. De estos, eligieron sólo los estudios con un período de al menos ocho semanas, y descartaron los estudios con otras serias limitaciones, lo que redujo el número final de los estudios a 20. Del mismo modo, restringieron los estudios de rendimiento deportivo a los que evaluaran la efedra, efedrina o efedrina plus además de otros compuestos, como la cafeína, que se utilizan para mejorar el rendimiento atlético. Por último, limitaron los estudios de seguridad a los que tenían documentación de un evento adverso, incluyendo la documentación sin otras causas posibles. Esto dejó 284 estudios posibles de estudiar.

El segundo paso de la evaluación incluyó la *categorización de tratamientos*. Compararon todos los estudios de pérdida de peso en seis categorías –Fig. 3–, mientras evaluaban los estudios de rendimiento deportivo por separado, ya que cada prueba incluía un tipo diferente de ejercicio.

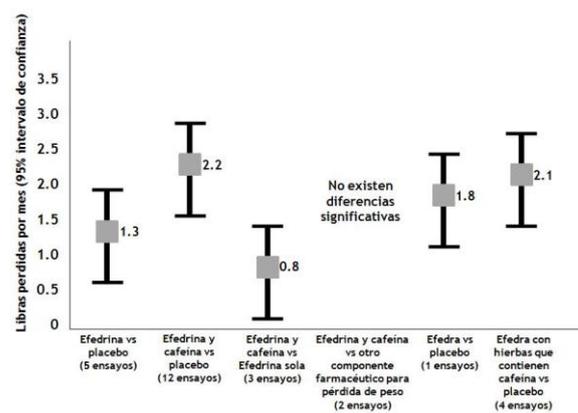


Fig. 3. Resultados del análisis de pérdida de peso (Cortesía RAND)

El paso preparatorio final en la evaluación incluyó *establecer medidas de resultado*. Los estudios de pérdida de peso indicaban pérdida de peso como una reducción en libras o kilogramos. Los estudios de rendimiento deportivo midieron algún indicador de rendimiento en el ejercicio, tales

como el consumo de oxígeno, tiempo hasta el agotamiento, la producción de dióxido de carbono, la resistencia muscular, o el tiempo de reacción. Los estudios de seguridad agruparon los síntomas en categorías de efectos clínicamente similares.

La Fig. 3 muestra que, a pesar de los diferentes tipos de estudios y resultados, utilizar efedra o efedrina, en efecto da lugar a pérdida de peso. Un análisis similar indica que pueden aparecer reacciones adversas. Posteriormente, a finales de 2003, la Federal Drug Administration prohibió el uso de la efedra y la efedrina en los EE.UU. (Kaufman, 2003).

5.2 Un ejemplo en desarrollo de software

Podemos aplicar estos pasos —*fijar criterios de confianza, categorizar tratamientos, y establecer medidas de resultados*— a los importantes pero imperfectos componentes de evidencias del desarrollo de software, lo que lleva a una mejor toma de decisiones. Para ver cómo, considere la abundante literatura acerca de las revisiones e inspecciones. Existe una multiplicidad de estudios incluso para un simple tipo de revisión, como la revisión de requisitos. Por ejemplo, Regnell, Runeson y Thelin (2000) analizaron algunos estudios de caso publicados y basados en escenarios. En estos estudios, los diferentes encuestados utilizan diferentes enfoques para leer documentos de requisitos, y para buscar defectos que eventualmente podrían conducir a errores de diseño o de código. Al igual que con los estudios de la efedra, el número de sujetos de cada estudio fue pequeño —el más grande tenía 66 participantes—, y muchos aspectos de estudio variados:

- *Objetivos diferentes.* Algunos miraban como técnica la efectividad, otros miraban la eficiencia.
- *Poblaciones diferentes.* Algunos utilizaron a estudiantes, otros utilizaron a profesionales. En cada caso, el número de años y tipo de experiencia variaron.
- *Diseños de estudio diferentes.* Algunos estudios incluyeron varios equipos diferentes, otros simulaban artificialmente efectos de equipo construyendo diferentes combinaciones de resultados. Algunos estudios incluyeron una reunión del equipo, mientras que otros no lo hicieron.
- *Tratamientos diferentes.* Algunos estudios incluyeron análisis basados en defectos, en las que cada revisor buscó un tipo particular de defecto. Otros utilizan un enfoque basado en la perspectiva, donde cada revisor actuó como un usuario, diseñador, o probador. Algunos

compararon la técnica aplicada con listas de verificación o ad hoc, algunos con listas de control solamente, algunos sólo con técnicas ad hoc, y algunos compararon dos variaciones de análisis basados en la perspectiva.

- *Medidas de resultado diferentes.* Un conjunto de medidas incluyó el tiempo que cada revisor emplea en la preparación para la revisión, la realización de la revisión, o la participación en la reunión del equipo. Otro conjunto registró el número de defectos. La eficiencia se midió como el número de defectos por unidad de tiempo, y la eficacia como el número de defectos encontrados en un porcentaje de todos los defectos conocidos.

Sin embargo, a diferencia de los estudios de la efedra, generalmente los resultados no muestran que los estudios basados en escenarios sean efectivos. Will Hayes (1999) realizó un meta-análisis de algunos de los estudios y señaló que algunos de los resultados se contradecían entre sí. Incluso, las repeticiones de algunos de los mismos "paquetes de laboratorio" no produjo resultados consistentes; Regnell, Runeson, y Thelin (2000) replicaron parcialmente los experimentos previos basados en las perspectivas, y no encontraron diferencias significativas entre perspectivas en la tasa de detección de defectos, el número de defectos encontrados por hora, o la cobertura de defectos.

Debido a que muchos de los estudios replican otros —usando diferentes grupos de estudiantes pero con los mismos documentos y protocolos—, es necesario un argumento multi-fuente para demostrar el grado en que los trabajos se basan en escenarios. Es decir, podría ser el momento para buscar otro tipo de evidencias. Por ejemplo, los investigadores pueden realizar un análisis matemático formal de la especificación resultante, o comparar los resultados de la pruebas después de analizar dos piezas de software, una desarrollada usando una revisión con base en escenarios y otra que no. Cuando tenemos un cuerpo tan diverso de evidencias, podemos tomar mejores decisiones sobre qué tipo de revisiones hacer y cuándo hacerlas.

6. Conclusiones

Estos estudios ofrecen muchas lecciones para profesionales y gerentes. En primer lugar, incluso siendo perfecta, la replicación de los estudios no existe o no se puede realizar, pero no todo está perdido; existen técnicas para combinar los datos y los resultados de estudios imperfectos que conducen a decisiones válidas. Participando en estos estudios y usando sus resultados podemos mejorar nuestros procesos y productos. En segundo lugar, incluir incertidumbre en el proceso de toma de decisiones nos ayuda a evaluar los riesgos.

A pesar de la incertidumbre asociada a cada estudio o categoría de investigación, los peligros de la efedra son aún bastante claros. Por otro lado, los resultados reportados en los estudios basados en la perspectiva son incompatibles; la decisión en este caso debe esperar por más y variados estudios, tal vez con más practicantes, antes de seleccionar la técnica adecuada para un proyecto específico. En tercer lugar, la investigación empírica es un proceso, no un fin en sí mismo. A medida que se realicen más estudios, hay que revisar el cuerpo de evidencias para ver si nuestras conclusiones se mantienen todavía. Y en cuarto lugar, mediante el uso de estos enfoques podremos llegar a ser más sofisticados –y conocedores– en ingeniería del software.

Por otra parte, aun cuando los proyectos que participan en un estudio son grandes y realistas, replicar las condiciones en que se ejecutaron es muy difícil. Por estas razones, los estudios de la efedra nos ofrecen un modelo para combinar de forma alternativa –no replicar– estudios similares, y sin embargo socavar información acerca de las causas y defectos subyacentes a la ingeniería del software. Del mismo modo, la noción de un argumento multi-fuente nos permite combinar diferentes tipos de estudios para describir una mayor –y mejor– imagen que esté disponible para un solo estudio.

Podemos aplicar estas lecciones tomando algunos conceptos para mejorar la ingeniería del software:

- Se puede buscar y participar en familias de estudios en lugar de depender sólo de un estudio –las familias pueden abordar colectivamente lo que los estudios solos no pueden.
- Para cada familia de estudios, hay que establecer criterios para la confianza en la evidencia, clasificar tratamientos, y establecer medidas de resultado.
- Podemos tener un plan de imperfecciones en lugar de esperar a ver lo que va mal con un estudio en particular. Frecuentemente leemos, acerca de un estudio, que se quejan de sus limitaciones y lo desestiman. En su lugar, podemos utilizar las limitaciones para ayudarnos a buscar otros estudios que, de acuerdo con los estudios existentes, lleve a conclusiones más firmes. Es decir, cada pieza de evidencia podría tener fuerza evidencial pequeña, pero colectivamente pueden demostrar un punto fuerte.

Referencias

- Bentham, J. (1827). *Rationale of Judicial Evidence: Specially Applied to English Practice*. New York: Hunt and Clarke. 662 p.

- Debemos tratar adecuadamente con la incertidumbre. Podemos aplicar técnicas como el análisis Bayesiano y el razonamiento causal a argumentos evidenciales, para poder evaluar la probabilidad de que las evidencias justifican nuestra conclusión. De la misma manera, podemos incorporar la incertidumbre en nuestro análisis de riesgo; reduciendo la incertidumbre –incluso si no podemos eliminarla– reduciremos nuestro riesgo.
- Podemos revisar la credibilidad de cada pieza de evidencia, teniendo en cuenta no sólo cuándo fue publicada o presentada, sino si los investigadores, profesionales, o los vendedores tienen intereses creados en un resultado positivo.
- Podemos inspeccionar evidencias existentes para ver qué cuerpos de evidencia necesitan reforzarse con estudios complementarios. Como profesionales, podemos ser voluntarios para participar en estos importantes estudios.
- Antes de leer o participar en un estudio, se debe determinar si el estudio involucra generar o probar una hipótesis. Entonces podremos evaluar si las evidencias que vamos a ofrecer nos dan confianza en la hipótesis.

Aunque la ingeniería de software es más sofisticada ahora que cuando comenzó la medición del software, aún enfrentamos obstáculos para encontrar un buen equilibrio entre "ciencia" y "arte". En particular, tendemos a centrarnos –tanto en la lectura como en la práctica– en estudios individuales o pequeños aspectos de la tecnología, en lugar de familias de estudios y prácticas importantes. Nos hemos concentrado en las ciencias “duras” y en el diseño experimental basado en estadística para nuestros modelos, y hemos descuidado las áreas de las ciencias sociales y los meta-análisis que pueden ayudarnos a incrementar la confianza en la fuerza de nuestras evidencias.

Para empeorar las cosas, seguimos esperando a que la evidencia no esté en conflicto, en lugar de hacer planes para cuando esté. Teniendo una visión más amplia, leyendo mucho, y usando los resultados y los métodos que han tenido éxito en otras disciplinas, podremos alejar al desarrollo de software de su posición inestable sobre una colección dispar de resultados interesantes y colocarlo sobre una base más sólida: una fértil disciplina con resultados entrelazados y sinérgicos.

- Bloomfield, R. & Littlewood, B. (2003). Multi-legged Arguments: The Impact of Diversity upon Confidence in Dependability Arguments. Proceedings in 2003 International Conference on Dependable Systems and Networks, DSN 03. IEEE CS Press, pp. 25–34.
- Bratthall, L. & Jørgensen, M. (2002). Can You Trust a Single Data Source Exploratory Software Engineering Case Study? Empirical Software Engineering, Vol. 7, No. 1, pp. 9-26.
- Hayes, W. (1999). Research Synthesis in Software Engineering: A Case for Meta-Analysis. Proceedings in Sixth International Software Metrics Symposium, Boca Raton, FL, USA, pp. 143–151.
- Kaufman, M. (2003). U.S. to Stop Ephedra Sales. Washington Post, 31 Dec. 2003; www.washingtonpost.com/wp-dyn/articles/A43065-2003Dec30.html, May 2010.
- Kitchenham, B., Pfleeger, S. L., Pickard, L. M., Jones, P. W., Hoaglin, D. C. & Emam, K. (2002). Preliminary Guidelines for Empirical Research in Software Engineering. IEEE Transactions Software Engineering, Vol. 28, No. 8, pp. 721–734.
- Kolata, G. (2003). Hormone Studies: What Went Wrong? New York Times, 22 Apr. 2003; www.nytimes.com/2003/04/22/health/womenshealth/22HORM.html, May 2010.
- Pfleeger, S. L. & Hatton, L. (1997). Investigating the Influence of Formal Methods. Computer, Vol. 30, No. 2, pp. 33–43.
- Pfleeger, S. L. & Kitchenham, B. A. (1994-1995). Series on experimental design and analysis in software engineering. ACM SIGSOFT Software Engineering Notes.
- Regnell, B., Runeson, P. & Thelin, T. (2000). Are the Perspectives Really Different? Further Experimentation on Scenario-Based Reading of Requirements. Empirical Software Engineering, Vol. 5, No. 4, pp. 331–356.
- Schum, D. A. (1994). Evidential Foundations of Probabilistic Reasoning. Wiley-Interscience. 568 p.
- Shekelle, P. G., Hardy, M. L., Morton, S. C., Maglione, M., Mojica, W. A., Suttrop, M. J., Rhodes, S. L., Jungvig, L. & Gagné, J. (2003). Efficacy and Safety of Ephedra and Ephedrine for Weight Loss and Athletic Performance: A Meta-Analysis. The Journal of American Medical Association, Vol. 289, No. 12, pp. 1537–1545.
- Shekelle, P. G., Maglione, M. & Morton, S. C. (2003). Preponderance of Evidence: Judging What to Do About Ephedra. RAND Review, Vol. 27, No. 1, pp. 16–21.
- Wagner, J. (1991). The Search for Signs of Intelligent Life in the Universe. London: Perennial Press. 240 p. Ω

Impact of Nanotechnology in Food Production

Impacto de la Nanotecnología en la Producción de Alimentos

Aidanko G. Noormans

Utrecht University, the Netherlands
G.A.Noormans@students.uu.nl

(Artículo de REFLEXIÓN. Recibido el 20-08-2010. Aprobado el 15-11-2010)

Abstract – *This paper discusses the current state of research and development in nanotechnology and its application in food production. After a brief explanation of what nanotechnology is, we discuss the present and expected future applications of nanotechnology in agriculture and food; is debate about the considerations that have arisen about food security, and analyzes public opinion about nanotechnology in general and its applications in food production.*

Keywords: *Nanotechnology, nanomaterials, nanoparticles, food security.*

Resumen – En este trabajo se analiza el estado actual de la investigación y el desarrollo en nanotecnología y su aplicación en la producción de alimentos. Después de una breve explicación de qué es la nanotecnología, se discuten las aplicaciones presentes y futuras esperadas de la nanotecnología en la agricultura y los alimentos; se debate acerca de las consideraciones que han surgido acerca de la seguridad alimentaria, y se analiza la opinión pública acerca de la nanotecnología en general y sus aplicaciones en la producción de alimentos.

Palabras clave: nanotecnología, nanomateriales, nanopartículas, seguridad alimentaria.

1. Introducción

El objetivo de este documento es ofrecer información concisa y equilibrada para aportar al actual debate público entre consumidores, medios de comunicación, políticas de fabricación, productores e investigadores acerca de las ventajas y desventajas de la utilización de la nanotecnología para la producción de alimentos y en la agricultura; y de los potenciales beneficios, los riesgos, la ética, lo legal y lo social de la nanotecnología aplicada de tal manera.

Es el resultado de una combinación de contribuciones de científicos naturales y sociales, industriales y organizaciones no gubernamentales y de interés público de gran parte de Europa. La idea es proporcionar información y no representar los puntos de vista o las políticas de las distintas comisiones que hacen parte de dicha discusión.

La nanotecnología abarca materiales y dispositivos con estructuras funcionales entre 1 y 100 nanómetros y se desarrolla en los laboratorios desde la década de 1980. Un nanómetro es una milésima de milésima de milésima parte de un metro -10^{-9} m. Actualmente, de acuerdo con las

demandas de fabricación, están en los mercados de todo el mundo cientos de productos que incorporan nanotecnología, muchos de ellos en las áreas de los alimentos y las bebidas (NanoBio-RAISE, 2009). A falta de un acuerdo internacional acerca de una terminología estandarizada para la nanotecnología, no está claro si estos productos realmente se fabrican bajo estándares seguros (Woodrow, 2009).

2. Qué es la nanotecnología

La nanotecnología es en general una tecnología, como la biotecnología y tecnología de la información, integrada en un sistema o un producto tecnológico más grande. Actualmente esta tecnología se utiliza en algunos productos, tales como recubrimientos anti-reflectantes en las ventanas de los autos y en raquetas de tenis reforzadas con nanotubos de carbono. Muchas de las promesas de la nanotecnología sólo podrán alcanzarse en unos cinco, diez, veinte o más años en el futuro. La nanociencia y nanotecnología son intrínsecamente interdisciplinarias.

Los físicos, químicos, biólogos, científicos de materiales, ingenieros y otros científicos se unen en equipos interdisciplinarios para estudiar cómo se comporta la naturaleza a escala de átomos y moléculas individuales, y para tratar de integrar partículas de decenas de nanómetros de diámetro en potenciales productos. Otra utilización de esta tecnología es en la miniaturización de chips micro-electrónicos, diseñados a escalas tan pequeñas que debe ser la mecánica cuántica quien determine su comportamiento electrónico para permitir, por ejemplo, la transmutación de un sólo electrón. En 2005 la inversión pública y privada en todo el mundo para estas investigaciones fue aproximadamente de US\$11.5 billones, de los que casi la mitad provino de fuentes privadas (Hullmann, 2006).

Los materiales y dispositivos con nanoestructuras tienen propiedades diferentes a las de los mismos materiales y dispositivos con mayor escala. Algunas de estas propiedades hacen posibles nuevos productos, por ejemplo el plástico nanoestructurado conduce electrones en lugar de ser un aislante. Se espera que esto permita microchips más baratos. Pero las nanopartículas libres de materiales no tóxicos inadvertidamente pueden ser tóxicas para el ser humano o el medio

ambiente. Siempre y cuando las partículas hagan parte de un material a escala normal no se esperan nuevos riesgos; la cuestión es la posible migración de las nanopartículas desde estos materiales a los alimentos o el medio ambiente.

Los especialistas en seguridad de alimentos están investigando para determinar si los controles legislativos acerca de los materiales existentes para empaquetar alimentos, como el plástico y otros, son adecuados para hacer frente a las nuevas propiedades de las nanopartículas de los materiales, que pueden “contaminar” los mismos alimentos. La investigación científica en toxicología para evaluar los riesgos potenciales de la ingeniería de los nanomateriales apenas comienza y tardará algunos años antes que se tengan datos sistematizados disponibles. Los gobiernos están evaluando si la legislación existente que regula el acceso al mercado de los productos, que no está diseñada concretamente para hacer frente a la nanotecnología, requiere modificaciones a la luz de los nuevos datos acerca de los efectos toxicológicos de los nanomateriales sintéticos. Actualmente no existe consenso acerca de la necesidad de algún cambio, y si se debe cambiar la normativa vigente o simplemente las directrices para su aplicación de tal manera que se especifiquen criterios para las pruebas de seguridad. La legislación actual ya exige pruebas estrictas, especialmente para productos a los que los consumidores estén expuestos directamente, como productos farmacéuticos o los alimentos.

Una necesidad importante es encontrar una definición para nanotecnología y otros términos relevantes que se acepte comúnmente, como nanopartículas y nanobiotecnología. En la Organisation for Economic Cooperation and Development –OECD– y en los organismos de normalización en todo el mundo, incluyendo la International Standards Organisation –ISO– y el European Committee for Standardization –CEN–, los representantes nacionales, los especialistas, la industria, los consumidores y los representantes de las organizaciones ambientalistas, están tratando de llegar a un entendimiento común acerca de una terminología conveniente en estos temas.

No se encuentran definiciones comunes acerca de los alimentos que pueden contener nanopartículas o ingredientes en esa forma. Esto es problemático ya que sin definiciones comunes los reguladores, productores, consumidores y otras partes interesadas no pueden identificar y ponerse de acuerdo acerca de lo que realmente es nuevo en relación con esos alimentos, y si la normatividad vigente y los métodos de prueba son o no suficientes para garantizar la seguridad alimentaria. No es claro aún si los materiales orgánicos, como las proteínas y las moléculas de grasa y azúcar que están en la escala de

nanómetros de longitud, se deban considerar por naturaleza nanomateriales y, por lo tanto, probados como un nuevo ingrediente de los alimentos cuando sean adaptados por los científicos de alimentos para obtener una nueva funcionalidad. Tampoco es claro si el límite de 100 nanómetros es razonablemente superior para aplicaciones de nanociencia y la tecnología de los sistemas alimentarios. Los científicos todavía necesitan determinar el tamaño por debajo del cual cualquier material particular cambia sus propiedades. Mientras que algunos materiales pueden tener las mismas propiedades en cualquier tamaño de partícula, los científicos han encontrado, por ejemplo, que si bien el oro por lo general no es tóxico, las nanopartículas de oro tienen efectos tóxicos (Li *et al.*, 2007). Para otros materiales todavía necesitan realizar pruebas. Este documento se centra en las aplicaciones de la nanotecnología en los alimentos.

3. Tendencias en nanotecnología para aplicaciones en alimentos

Actualmente se producen con nanotecnología algunas bebidas y productos alimenticios o se incluyen algunos nanomateriales manufacturados. Las estimaciones para 2003 del mercado de la nanotecnología para aplicaciones en alimentos eran de entre US\$410 millones (New York Times, 2006) y US\$2.6 billones (Kaiser, 2008). Las expectativas han variado desde entonces y se estima que para este año la cuota final del mercado de los productos alimenticios a base de nanotecnología estará cerca de los US\$5.8 billones (Hullmann, 2006), y que para el 2012 será de US\$20 billones (Li *et al.*, 2007).

Sin embargo, no es clara la validez de estas estimaciones futuristas a mediano y largo plazo cuando ni siquiera se tienen definiciones comunes para distinguir entre alimentos con nanotecnología y los que no la tienen. Pero en muchos países los gobiernos y las compañías de alimentos están invirtiendo considerablemente en el desarrollo de la nanotecnología para aplicaciones alimentarias. En los EE.UU., el Woodrow Wilson Institute ha identificado 160 proyectos en nanotecnología para aplicaciones agroalimentarias, totalizando una inversión de cerca de 15 millones de dólares (Kuzma & VerHage, 2006). La Danish technology foundation ha invertido 2 millones de euros en investigación sobre nanotecnología para aplicaciones en alimentos en el Danish “Nanofood” consortium since 2006. En los Países Bajos, el gobierno está invirtiendo el 50% de un proyecto de investigación de €12 millones en nanotecnología para la alimentación y la salud, y se ha propuesto un programa de investigación más grande en nanotecnología para aplicaciones alimentarias (Malsch *et al.*, 2007). En 2005, Irán inició un programa de investigación en nanotecnología en

el sector agroalimentario, incluyendo 35 laboratorios (Iranmanian, 2005). Las aplicaciones de la nanotecnología en los alimentos es también una prioridad en el Reino Unido e India (Joseph & Morrison, 2006). Las principales empresas de alimentos y nutrición como H. J. Heinz, Nestlé, Hershey, Unilever, Campina, Friesland Food, Grolsch, Kraft Foods, Cargill, Pepsi-Cola company, ConAgra Foods, General Mills, Danisco y Arla Foods están dedicadas a investigar en nanotecnología para aplicaciones alimentarias. Los fabricantes de materiales como BASF y DSM también están interesados en vender sus nanomateriales a los productores de alimentos (Kaiser, 2008).

4. Nanotecnología en la agricultura y la alimentación

La nanotecnología se puede aplicar en todas las fases del ciclo de los alimentos: desde la granja al tenedor. Los siguientes ejemplos de posibles aplicaciones futuras de la nanotecnología en la agricultura y la alimentación se basan principalmente en el Dutch MinacNed roadmap en *Microsystems and Nanotechnology in Food* (Iranmanian, 2005) (Prisma & Partners, 2006) y el *Woodrow Wilson Project on Emerging Nanotechnologies* (Woodrow, 2009), dos informes acerca de la nanotecnología en la agricultura y la alimentación. Algunas de estas aplicaciones resultarán en la presencia de nanopartículas o materiales nanoestructurados en los alimentos. Otras aplicaciones sólo utilizan nanoelectrónica u otra nanotecnología en la producción de alimentos, donde no hay interacción directa entre la nanotecnología y el sistema alimentario.

4.1 Agricultura y producción de alimentos

La nanotecnología puede ser utilizada en la agricultura y producción de alimentos en forma de nanosensores para la vigilancia del crecimiento de los cultivos y el control de plagas, mediante la identificación temprana de enfermedades animales o vegetales. Estos nanosensores pueden ayudar a mejorar la producción y la seguridad alimentaria, y funcionan como dispositivos de control externo que no terminan en el mismo alimento.

Los nanomateriales también pueden introducirse en o en la propia comida. La efectividad de los plaguicidas se puede mejorar si cantidades muy pequeñas se encierran en cápsulas huecas con un diámetro en el rango nanométrico, que pueden ser diseñados para abrirse sólo cuando se activen por la presencia de la plaga a controlar. Los residuos de los nanopesticidas en los alimentos y desde el pasto y medicamentos veterinarios, pueden terminar en el interior del estómago, pero lo que sucede a continuación no está claro (Iranmanian, 2005).

4.2 Elaboración de alimentos

Los nuevos tipos de membranas que incluyen micro y nanotamices se pueden aplicar en la elaboración de alimentos. Los poros de los tamices están en el rango micrométrico y nanométrico, y se pueden utilizar para la filtración de cerveza o de leche para la producción de queso (Aquamarijn, 2009). En el futuro, también pueden ser utilizados para la preparación de coloides gruesos llenos de agua para producir leche baja en grasa, con el mismo sabor que la leche normal, y que podría utilizarse en la preparación de helados cremosos bajos en grasa. También se pueden utilizar para encapsular ingredientes alimenticios valiosos, como minerales en una capa de otro ingrediente para impulsarlo por el organismo o para evitar que estos ingredientes se pierdan durante la cocción.

4.3 Control de calidad y pruebas

La seguridad alimentaria es una preocupación importante para los productores de alimentos, los consumidores y las autoridades respectivas. Los nanosensores pueden ayudar a mejorar la seguridad alimentaria permitiendo un control más rápido de la calidad y las pruebas no sólo en la fábrica, sino también en los estantes e incluso en el refrigerador. Estos sensores pueden integrarse en el equipo de procesamiento de alimentos o en los refrigeradores y no introducir nanopartículas en los alimentos mismos.

Un nanosensor es un dispositivo que consiste de una parte de procesamiento electrónico de datos y una capa o parte de detección, que puede convertir una señal como la luz o la presencia de una sustancia orgánica o de gas en una señal electrónica. Los electrodos o la capa activa se puede estructurar en la escala nanométrica. Un nanosensor típico sería como una "nariz electrónica". Muchos sensores utilizados en aplicaciones olfativas se basan en la tecnología MOSFET –Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor–, que se utiliza comúnmente en los circuitos electrónicos. Los sensores cantiliver son particularmente interesantes porque trabajan en los líquidos. Este sensor está equipado con pequeños voladizos con una capa bioquímica que puede detectar la presencia de una plaga o enfermedad. Si la plaga está presente en un producto alimenticio, sus moléculas típicas se adhieren a la capa de detección, entonces el voladizo del cantiliver se inclina debido al peso adicional, lo que origina una señal de aviso electrónico de la presencia de la plaga.

Los nanosensores pueden conectarse a una red electrónica o inalámbrica. Pueden, por ejemplo, utilizarse para el control de plagas de los cultivos en el campo o para el control de calidad de la leche durante el procesamiento industrial. Otro tipo de nanosensores también se puede integrar en el envasado de alimentos, para demostrar que

el producto es apto para el consumo humano. Los nanosensores pueden, por ejemplo, cambiar de color si la comida no es fresca. Los micro y nanosensores se desarrollan para la seguridad alimentaria y el control de calidad en el GoodFood project europeo (2004-2007).

Envasar y almacenar alimentos y productos frescos es una labor que depende totalmente de los materiales de embalaje y del control de la composición interior del gas $-O_2$, CO_2 pt-, y de la pérdida de agua en los envases. El nanoenvasado puede crear una atmósfera modificada en el envase con el intercambio gaseoso controlado, por lo que, por ejemplo, la vida útil de las verduras puede aumentar a semanas. La superficie de un material de embalaje común, como el plástico o el papel, se puede adaptar para que sea conveniente para el alimento mediante una o más capas bien definidas de decenas de nanómetros de espesor. El plástico de las botellas de bebida puede contener nanopartículas de arcilla para mantener el oxígeno o vapor de agua tanto dentro como fuera.

Los agentes antimicrobianos se están utilizando también para conservar los alimentos, y algunos están fabricados con nanotecnología. El refrigerador SAMSUNG y el contenedor de alimentos Fresher Longer están recubiertos con partículas de nanoplatina antimicrobiana. En el futuro los nanorecubrimientos activos también se podrán aplicar a los envases de alimentos, por ejemplo, la Dutch Organisation for Applied Science –TNO– ha desarrollado un recubrimiento de almidón de coloides lleno de una sustancia antimicrobiana, de modo que si los microorganismos crecen en los alimentos envasados entonces penetran en el almidón, lo que hace que se libere las sustancias antimicrobianas (Bouman, 2003). Las nanopartículas que se incluyen en el envasado o almacenamiento de alimentos no son intencionalmente impregnadas en la comida, pero existe la posibilidad de que dichas partículas puedan migrar a los alimentos.

4.4 Los suplementos alimenticios

En la actualidad, se están vendidos en los EE.UU. y Alemania algunos suplementos alimenticios con nanoingredientes– según la demanda de los productores. Estos suplementos pueden implicar que las nanopartículas estén presentes en los alimentos. Los suplementos están principalmente destinados a la alimentación, los deportes y los mercados de alimentos saludables, y contienen minerales con una nanoformulación como el dióxido de silicio, el magnesio, el calcio, etc. Se afirma que el tamaño de partícula de estos minerales es menor de 100 nanómetros para que pueda pasar, a través de la pared del estómago y

entre las células del cuerpo, más rápidamente que los minerales comunes con mayor tamaño de partícula.

Los nanosuplementos también se pueden incorporar en micelas o cápsulas de proteína u otro ingrediente alimentario natural. Las micelas son esferas diminutas de aceite o grasa cubiertas con una fina capa de moléculas bipolares, de las cuales uno de los extremos es soluble en la grasa y el otro en el agua. Las micelas están suspendidas en el agua, o por el contrario, el agua se encapsula en micelas y se suspende en aceite. Tales nanocápsulas pueden, por ejemplo, contener al saludable Omega 3, un aceite de pescado que tiene un sabor fuerte y desagradable que sólo se libera en el estómago, como en el pan “Tip Top Up” ® que se comercializa en Australia.

4.5 Nuevos alimentos

Las compañías de alimentos y nutrición prevén un gran negocio de la nanotecnología en los nuevos productos alimenticios. Los ingredientes que existen naturalmente en los alimentos se adaptan en los nuevos alimentos para mejorar el sabor, la digestión o para hacer frente a las necesidades de nutrición específica de grupos especiales, como los niños, los ancianos o los pacientes. Ya se ha mencionado que la leche baja en grasa, el queso y el helado tienen el mismo sabor que los productos tradicionales. Una compañía húngara ha desarrollado un gel frío para los refrescos o helados que consiste de cristales de hielo muy pequeños que contienen burbujas de dióxido de carbono $-CO_2$ aún más diminutas. Las burbujas de CO_2 son de 1 a 10 nanómetros de diámetro, mucho más pequeñas que las burbujas de CO_2 en los refrescos. En la boca, el gel frío causa una sensación similar a las tabletas efervescentes (Howell, 1992-1995).

Desde marzo de 2007 en Holanda el Atomic and Molecular Physics –AMOLF– y el Unilever han estado investigando los procesos de la digestión humana a escala atómica, con la esperanza de desarrollar nuevos y mejores alimentos, como sustituciones saludables del colesterol (FOM, 2007). La tendencia es hacia la “alimentación personalizada”.

No sólo los alimentos en sí se pueden adaptar, los dispositivos de diagnóstico externos, que incorporan nanosensores, también se puede utilizar para lograr una dieta más específica a las necesidades del cuerpo de un consumidor individual. Un consumidor futuro podrá utilizar un rápido dispositivo de diagnóstico de mano para diagnosticar la necesidad real de su cuerpo por alimentos con ingredientes específicos, tales como minerales, y en consecuencia adaptar su dieta; de manera similar, un paciente diabético podrá utilizar un sensor de glucosa para

determinar su necesidad de insulina (de Groot *et al.*, 2006).

5. Nanomateriales convenientes

Existen varios tipos de nanomateriales considerados convenientes para las aplicaciones en los alimentos. Ellos pueden ser subdivididos en materiales orgánicos, que son por naturaleza de longitud de escala nanométrica, y en nanomateriales inorgánicos, que son moléculas de proteínas, grasa y azúcar. Los nutracéuticos consistentes de aditivos alimentarios derivados de plantas también son nanomateriales orgánicos utilizados en los alimentos. Los nanomateriales inorgánicos para aplicaciones en alimentos, aditivos alimentarios, envasado o almacenamiento de alimentos, incluyen plaquetas de nanoarcilla para el envasado de alimentos, minerales como el dióxido de silicio, calcio y magnesio, y nanopartículas de plata para la purificación del agua o envases antimicrobianos o almacenamiento de alimentos (FOM, 2007).

6. Consideraciones de seguridad

Como se mencionó antes, los científicos esperan que la seguridad alimentaria pueda mejorar las aplicaciones de la nanotecnología. En el futuro, los diferentes tipos de nanosensores se emplearán para monitorear la calidad de los alimentos a lo largo de la cadena alimentaria. También se espera que las tecnologías de procesado de alimentos, como los nanotamices para separar los microbios de los alimentos, mejoren la seguridad en los alimentos. Al incrementar la calidad de alimentos y bebidas también permitirá que se puedan conservar durante más tiempo, al incorporar nanopartículas de arcilla o antimicrobianas en el envasado de alimentos (Kaiser, 2008) (Iramnmania, 2005) (Joseph & Morrison, 2006).

Pero actualmente, no está claro si las nanopartículas en los alimentos son seguras para los consumidores y el medio ambiente, ya que se pueden incluir intencionalmente en los alimentos como complementos y en nuevos alimentos; también pueden terminar en los alimentos como residuos de nanopesticidas, por migración desde el envase, el aire, el suelo o por contaminación del agua. Los especialistas en seguridad de alimentos y los reguladores han comenzado a discutir si la actual legislación en seguridad alimentaria es adecuada para garantizar que los nuevos productos de nanoalimentos que aparecen en el mercado se prueben seguramente (Malsch *et al.*, 2007).

Hoy se presenta cierta discusión acerca de si las nanoformulaciones de complementos en los alimentos o su grado en los materiales de los empaques de los alimentos deberán ser probadas nuevamente cuando sus partículas sobrepasen el tamaño de los que ya están autorizados en el

mercado (IFST, 2006). Para que los nuevos ingredientes a nanoescala puedan ser utilizados en los alimentos, el actual EU Novel Food Regulation exige que se pruebe su seguridad antes de ser presentados al mercado. En cualquier caso, el productor tiene la responsabilidad legal de sólo introducir productos seguros al mercado. Los especialistas en evaluación de riesgos en el sector agroalimentario están preocupados por la falta de procedimientos de prueba estándar y equipos de prueba portables para controlar la seguridad de los nanoalimentos. Esto significa que incluso si un productor ha probado la seguridad del producto con los métodos convencionales, todavía pueden existir riesgos imprevistos para la salud y el medio ambiente. Por otro lado, la naturaleza está llena de nanopartículas orgánicas. Las proteínas, las moléculas de azúcar, las moléculas de grasa tienen tamaños nanométricos, pero son seguras para el consumo.

6.1 Tendencias en la regulación

El debate acerca de la regulación de la nanotecnología para aplicaciones en alimentos se inició en 2006 en los EE.UU. y Europa. El UK Institute of Food Science and Technology (2006) analizó la actual legislación europea de seguridad alimentaria y concluyó que, en principio, es suficiente para cubrir los posibles riesgos de los nanoalimentos, aunque tuvo algunas dudas, como si será necesario reexaminar los nanocomplementos que tienen la misma composición química y el grado de los alimentos ya aprobados, como el dióxido de titanio para formar hielo en las tortas.

Otras de sus preocupaciones se refieren principalmente a la aplicación de las directrices y los protocolos e instrumentos de prueba, como se mencionó anteriormente. La Agencia Europea para la Evaluación de Medicamentos –EMA– (2006) publicó un documento sobre nanofarmacéuticos en el que llega a una conclusión similar. La Comisión Europea (2008) llevó a cabo una revisión de las regulaciones en nanotecnología adoptada en junio de 2008, y concluyó que “la legislación actual cubre, en principio, el potencial para la salud, la seguridad y los riesgos ambientales asociados a los nanomateriales. La protección de la salud, la seguridad y el medio ambiente debe ser reforzada sobre todo para mejorar la aplicación de la legislación vigente”. El Council for Science and Technology (2007) Hace hincapié en que hay una clara diferencia entre una declaración para afirmar que la incertidumbre en el conocimiento significa que la regulación existente puede ser difícil de implementar y un declaración para afirmar que se necesita una nueva regulación.

–En los EE.UU., la Food and Drug Administration –FDA– organizó una audiencia pública en octubre de 2006 sobre el medio ambiente, la salud y la

seguridad de los nanomateriales, incluyendo aplicaciones en alimentos, y se encuentra en el proceso de desarrollar sus planes políticos. En Europa, los responsables políticos encargados de la seguridad alimentaria o la nanotecnología en varios Estados miembros, incluidos Reino Unido, Alemania, Países Bajos y Suiza, tienen los temas de la nanotecnología y la seguridad alimentaria en su agenda (Kuzma & VerHage, 2006). La European Food Safety Authority –EFSA– (2007) publicó su plan de gestión incluyendo el establecimiento de un grupo de trabajo del Foro Consultivo de los Estados miembros representantes para la evaluación de los riesgos de las nanopartículas. Actualmente se propone desarrollar un enfoque armonizado de evaluación de riesgos y reunir los datos necesarios.

6.2 Concientización del público

En la actualidad, existe entre el público en general una enorme falta de conocimiento acerca de la nanotecnología como tal y de sus aplicaciones en los alimentos en particular, por lo que existe la necesidad de un auténtico diálogo público acerca del tema. La gravedad fue demostrada en dos conferencias de "foros públicos" con la participación de los consumidores, celebradas en Suiza y Alemania a finales de 2006 (Möller et al., 2010). En ellas se discutieron varias aplicaciones de la nanotecnología incluyendo la de los alimentos.

Los 16 consumidores alemanes participantes fueron positivos acerca de las oportunidades para mejorar la seguridad alimentaria mediante el control de calidad basado en nanotecnología, pero consideraron que las aplicaciones de nanoingredientes en alimentos es un área muy sensible. Los consumidores suizos, en general, fueron positivos acerca de la nanotecnología, pero estaban más preocupados acerca de sus aplicaciones en alimentos. Ambos grupos solicitaron que en las etiquetas de los productos se indicara su nanocontenido, de tal manera que fuera posible distinguir entre productos con moléculas naturales y los que tienen nanopartículas introducidas artificialmente. Hay una clara desconfianza acerca de que los productores de alimentos puedan incorporar la nanotecnología en los productos sin indicarlo en la etiqueta. Las publicaciones alemanas –Die Welt, ARD, Der Spiegel– y británicas –Observer, BBC Focus magazine–, han empezado a informar acerca de las aplicaciones de la nanotecnología en los alimentos, en algunos casos muy críticamente.

En Europa, la conciencia pública de la nanotecnología está emergiendo gradualmente. Según el estudio del Eurobarómetro de la European Commission (2006) sobre biotecnología, en 2005 el 42% de los encuestados no sabía si la

nanotecnología tendría un impacto positivo o negativo en sus vidas; 40% fueron positivos, 13% no esperaba cambios, y el 5% creía que la nanotecnología deterioraría su vida; sólo el 44% dijo que habían oído hablar de la nanotecnología. La nanotecnología es considerada moralmente aceptable, conveniente y sin riesgos, y la mayoría de los encuestados cree que debería ser impulsada, y el 55% apoya a la nanotecnología.

En los EE.UU., el 80% de los 1800 participantes en una encuesta reciente sobre la nanotecnología había oído hablar muy poco o nada en absoluto acerca de ella. Las emociones de las personas juegan un papel importante en su percepción acerca de la nanotecnología, y los valores determinan reacciones de las personas a la información sobre nanotecnología (Kahan, 2007). Los consumidores estadounidenses ven muchas ventajas de la nanotecnología para una mejor y más segura alimentación. De una encuesta de 177 consumidores, un 6% menciona esto, mientras por otro lado el 7% estaba preocupado por los posibles riesgos de los nanomateriales en la cadena alimentaria (Macoubrie, 2005). Hay un nivel similar de bajo conocimiento en los EE.UU. sobre nanotecnología en general, donde más del 70% respondió "neutral" a una pregunta de la encuesta en la que se pidió a los participantes encerrar en un círculo la palabra que mejor representaba su opinión acerca de la nanotecnología y el impacto potencial sobre su vida y la sociedad (Castellini, 2006). Sin embargo, en 2006 la encuesta de la National Science Foundation-funded en EE.UU. acerca de la percepción pública de los productos con nanotecnología, encontró que los consumidores americanos están dispuestos a utilizar productos con nanocontenidos, incluso si hay riesgos para la salud y la seguridad, cuando los beneficios potenciales sean grandes, lo que es similar a la actitud americana en relación con los GMOs –Genetically Modified Organism– (Curren et al., 2006).

En 2007 los sindicatos y las organizaciones ecologistas presionaron por un enfoque de precaución para las nanotecnologías, y la International Union of Food y la Farm and Hotel Workers (2007) expresaron su especial preocupación por la presencia de nanopartículas en la cadena alimentaria. Las asociaciones de consumidores como la European Consumers' Organisation –BEUC–, invitan a un nanoetiquetado, especialmente para los productos alimenticios (Hoffschulz, 2007).

7. Especulaciones futuristas

No todas las ideas sobre las futuras aplicaciones de la nanotecnología en los alimentos se parecen mucho a las tecnologías de los alimentos disponibles en la actualidad. A pesar de que tales especulaciones probablemente no son el objetivo

de la investigación actual, el hecho de que se propongan en los medios de comunicación pública influencia la conciencia social acerca de los alimentos basados en nanotecnología. Algunas de ellas invitan a que nuestros nietos coman “carne” vegetariana degustándola igual que la carne de los animales, con la idea de garantizar un suministro de alimentos sostenible para toda la población mundial, o que necesitamos de alimentos elaborados con nanotecnología como una forma de medicina preventiva.

Los consumidores y los periodistas tienden a utilizar otras imágenes, por ejemplo, en la fábrica de chocolate de Willy Wonka (Renton, 2006) se incorporan muchos tipos de ingredientes artificiales en las nuevas barras de chocolate, con algunos efectos imprevistos para el consumidor desprevenido. Kraft Food ha propuesto originalmente la idea de un líquido transparente y relleno de diferentes nanoingredientes encapsulados, que puede convertirse en un vaso de whisky o un jugo de naranja de acuerdo con la frecuencia que se utilice en la radiación de microondas; Kraft parece haber abandonado las respuestas a las preguntas acerca de la seguridad hechas por el Action Group on Erosion, Technology and Concentration –ETC-grup– (2004) y otros. Pero esta imaginativa y totalmente imposible idea sigue apareciendo en la especulación futurista acerca de los alimentos producidos mediante nanotecnología.

8. Conclusiones

Existe una necesidad urgente de un debate público sobre la nanotecnología y los alimentos. En este momento hay en el mercado varias docenas de alimentos y de bebidas con

nanotecnología, de acuerdo con los productores y los especialistas.

En varios países, los gobiernos y las empresas de alimentos están invirtiendo en cientos de proyectos de desarrollo de nanotecnología en los alimentos y la agricultura.

Los analistas predicen millones de dólares para los mercados de alimentos elaborados con nanotecnología dentro de los próximos cinco años. Sin embargo, sin definiciones aceptadas comúnmente acerca de la nanotecnología, los alimentos fabricados con ella y otros términos relevantes, es difícil determinar cuántos productos nuevos incluyen actualmente nanomateriales.

La nanotecnología puede ser aplicada en todos los aspectos de la cadena alimentaria, tanto para mejorar la seguridad y el control de calidad, como en nuevos ingredientes alimentarios o complementos, que pueden dar lugar a riesgos imprevistos para la salud. La estricta legislación actual de alimentos en Europa parece ser suficiente para cubrir los alimentos producidos mediante nanotecnología, pero existen algunas preocupaciones acerca de las directrices de aplicación y los métodos de evaluación de riesgos.

La mayoría de personas no tiene conciencia de la nanotecnología en general, y sus aplicaciones en los alimentos en particular. Esto debe ser abordado a corto plazo en las iniciativas de diálogo público.

Referencias

- Aquamarijn. Future technology, Engineered for now. <http://www.microfiltration.nl/index.php>, April 2009.
- Bouman, H. (2003). Release on command: Bio-switch. Newsletter of TNO Nutrition and Food Research, pp 4-5.
- Castellini, O. M., Walejko, G. K., Holladay, C. E., Theim, T. J., Zenner, G. M. & Crone, W. C. (2006). Nanotechnology and the public: effectively communicating nanoscale science and engineering concepts. Journal of Nanoparticle Research, Vol. 9, No. 2, pp. 183-189.
- Commission of the European Communities (2008). communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee. Regulatory Aspects of Nanomaterials. Bruselas. 12 p. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0366:FIN:EN:PDF>, June 2009.
- Council for Science and Technology CST. (2007). Nanotechnology: Meeting with European Commission Inter-Service Group on Nanosciences and Nanotechnologies. 5 p. http://www2.cst.gov.uk/cst/business/files/Nano_European_Commission.doc, May 2010.
- Currall, S. C., King, E. B., Lane, N., Madera, J. & Turner, S. (2006). What drives public acceptance of nanotechnology. Nature Nanotechnology, Vol. 1, No.3, pp. 153-155.
- de Groot, R., Loeffler, J. & Sutter, U. (2006). Nanomaterial roadmap 2015. Roadmap report concerning the use of nanomaterials in the medical & health sector. 137 p. http://www.nanoroad.net/download/roadmap_mh.pdf, February 2010.
- ETC group (2004). Down on the farm; The impact of nano-scale technologies on food and agricultura. 74 p. <http://www.nanowerk.com/nanotechnology/reports/reportpdf/report10.pdf>, May 2010.
- European Commission (2006). Europeans and Biotechnology in 2005: Patterns and Trends. Special Eurobarometer 244b. 88 p. http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_244b_en.pdf, May 2010.
- European Food Safety Authority EFSA. (2007). Management Plan of the European Food Safety Authority for 2007. Parma, Italy. 78 p. <http://www.efsa.europa.eu/en/mngtplan07/publication/mngtplan07.pdf>, Aug. 2009.

- European Medicines Agency EMEA. (2006). Reflection Paper on Nanotechnology-based Medicinal Products for Human Use. Committee for Medicinal Products for Human Use CHMP. 4 p. London, 29 June 2006 <http://www.emea.europa.eu/pdfs/human/genetherapy/7976906en.pdf>, May 2010.
- FOM (2007). Samenwerking AMOLF en UNILEVER in onderzoek naar Functional Foods. Press release. <http://www.fom.nl/live/nieuws/artikel.pag?objectnumber=58202>, January 2010.
- GoodFood Project. (2004-2007). <http://www.goodfood-project.org/>, December 2009.
- Hoffschulz, H. (2007). Experiences from national activities and networks. Panel on nanolabelling at the Euronanoforum 2007 conference in Düsseldorf, Germany. June 19-21.
- Howell, N. (1992-1995). Elucidation of aggregation mechanisms of proteins in fresh and frozen fish. http://cordis.europa.eu/search/index.cfm?fuseaction=proj.document&PJ_LANG=EN&PJ_RCIN=334866&pid=0&q=70DDF9F35717A0C15B33D8D363191EF4&type=sim, January 2010.
- Hullmann, A. (2006). The economic development of nanotechnology – an indicators based analysis. European Commission, Commission staff working paper. 34 p. http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/pe_reports_studies.htm, July 2009.
- Institute of Food Science and Technology IFST. (2006). Nanotechnology. Information Statement. Institute of Food Science & Technology Trust Fund. UK. <http://www.ifst.org/uploadedfiles/cms/store/ATTACHMENTS/Nanotechnology.pdf>, May 2010.
- International Union of Food IUF. (2007). Principles for the Oversight of Nanotechnologies and Nanomaterials. 15 p. http://www.foeeurope.org/activities/nanotechnology/Documents/Principles_Oversight_Nano.pdf, June 2009.
- Iranmania (2005). Iran Agro Sector developing nanotechnology. September 7. <http://www.iranmania.com/News/ArticleView/Default.asp?NewsCode=35270&NewsKind=Current%20Affairs>, June 2009.
- Joseph, T. & Morrison, M. (2006). Nanotechnology in Agriculture and Food. Nanoforum report. <http://www.nanoforum.org/dateien/temp/nanotechnology%20in%20agriculture%20and%20food.pdf>, June 2009.
- Kahan, D. M., Slovic, P., Braman, D., Gastil, J. & Cohen, G. (2007). Nanotechnology Risk Perception. The influence of affect and values. Washington: Woodrow Wilson Institute. 53 p http://www.nanotechproject.org/file_download/files/NanotechRiskPerceptions-DanKahan.pdf, June 2009.
- Kaiser, H. (2008). Nanotechnology in Food and Food Processing Industry Worldwide: 2008-2010-2015. <http://www.hkc22.com/nanofood.html>, April 2009.
- Kuzma, J. & VerHage, P. (2006). Nanotechnology in Agriculture and Food production: Anticipated Applications. Woodrow Wilson Institute, Washington DC, USA. <http://www.nanotechproject.org/50>, September 2009.
- Li, E. J. J., Bay, B. H. & Yung, L. Y. L. (2007). In vitro toxicity of Gold nanoparticles on human lung fibroblast cells. Abstract submitted to AICHE 2007 annual meeting, Salt Lake City, USA, 4-9 November. http://aiche.confex.com/aiche/2007/preliminaryprogram/abstract_93432.htm, March 2009.
- Macoubrie, J. (2005). Informed Public Perceptions of Nanotechnology and Trust in Government. Washington: Woodrow Wilson Institute, pp.9, 11. <http://www.wilsoncenter.org/news/docs/macoubriereport.pdf>, May 2010.
- Malsch, I, van Est, R. & Walhout, B. (2007). Nanovoedselveiligheid: Inventarisatie van de opkomende (internationale) beleids- en publieksdiscussie over nano-ingrediënten in voeding. Den Haag: Rathenau Institute. 83 p. http://www.rathenau.nl/uploads/tx_tferathenau/Nanovoedselveiligheid_2007.pdf, May 2009.
- Möller, M., Eberle, U., Hermann, A., Moch, K. & Stratmann, B. (2009). Nanotechnology in the food sector. Zurich: TA-SWISS. 228 p. <http://www.ta-swiss.ch/index.php?uid=26&search=them-nano>, June 2010.
- NanoBio-RAISE. Nanobiotechnology: Responsible Action on Issues in Society and Ethics. <http://nanobio-raise.org/>, May 2009.
- New York Times (2006). Cientifica, pp. 5-6, February 15.
- Prisma & Partners (2006). Roadmap MNT in Food & Nutrition. MinacNed Road Map. http://www.minacned.nl/images/stories/poster_roadmap_futureforfood.pdf, August 2009.
- Renton, A. (2006). Welcome to the world of nanofood. In: The Observer, Guardian Unlimited, 16 December. <http://observer.guardian.co.uk/foodmonthly/futureoffood/story/0%2C%2C1971266%2C00.html>, May 2010.
- Woodrow, W. The Project on Emerging Nanotechnologies. A nanotechnology consumer product inventory. <http://www.nanotechproject.org/44>, May 2009. 

Energy Requirements in the Nanoscale Manufacturing Process

Requerimientos de Energía en los Procesos de Fabricación a Nanoescala

Placido T. Ferreira

University of Illinois, USA
sjbailey@illinois.edu

(Artículo de REFLEXIÓN. Recibido el 11-07-2010. Aprobado el 10-10-2010)

Abstract – *This paper describes the major nanoscale manufacturing technologies, and requirements are discussed qualitatively, with respect to energy demand, its key processes. These requirements relate to the process used in semiconductor manufacturing; also describes shortcomings in the understanding of these processes to produce nanoscale, research community which identifies them as short-term goals. Finally, we propose a framework for systematic analysis of energy use in nanoscale manufacturing processes.*

Keywords: *Nanoscale, demand for energy, manufacturing technologies.*

Resumen – En este artículo se describen las principales tecnologías de fabricación a nanoescala, y se examinan cualitativamente los requerimientos, que tienen con respecto a la demanda de energía, sus procesos fundamentales. Estos requerimientos se relacionan con los procesos aplicados en la fabricación de semiconductores; también se describen las falencias en la comprensión de estos procesos para la producción a nanoescala, cuya comunidad investigadora los identifica como objetivos a corto plazo. Por último, se propone un marco para el análisis sistemático del uso de energía en los procesos de fabricación a nanoescala.

Palabras clave: Nanoescala, demanda de energía, tecnologías de fabricación.

1. Introducción

La fabricación a nanoescala se define como el control y la manipulación de materiales con una precisión de uno a unos cientos de nanómetros en al menos una dimensión (NNI, 2009). Como los materiales manifiestan comportamientos fundamentalmente diferentes en esta escala, los nuevos productos se pueden desarrollar con características de rendimiento mejoradas. Los métodos de fabricación a nanoescala eficientes y escalables están obligados a aprovechar los beneficios de la nanotecnología para masificar su utilización. Como el uso de esta fabricación presenta un notable incremento, es necesario medir y gestionar la eficiencia energética de sus procesos, ya que el consumo de energía direcciona tanto la eficiencia medioambiental como la económica del proceso de fabricación.

Los dispositivos a nanoescala han demostrado sustancial ahorro de energía en sus fases de utilización (Lloyd and Lave, 2003) (Lloyd *et al.*, 2005). Sin embargo, el incremento en las exigencias de precisión eleva los costos de

fabricación, particularmente los de uso de energía (Taniguchi, 1992). Por lo tanto, para que los dispositivos a nanoescala sean eficientes para ahorrar energía a través de su ciclo de producción y de vida, es necesario seleccionar cuidadosamente la tecnología de fabricación a utilizar. Además, monitorear la energía también permite identificar oportunidades para mejorar la eficiencia y la productividad del método de fabricación.

En este trabajo se revisan las principales clases de métodos de fabricación a nanoescala y se identifican los requerimientos directos e indirectos de los procesos para su aplicación. Posteriormente se describe una comparación cualitativa de los requerimientos de los procesos y la demanda de energía asociada con los métodos. Para promover el desarrollo de este emergente campo, se sugiere un plan de trabajo para el estudio integral del uso de energía en la fabricación a nanoescala.

2. Tecnologías de fabricación a nanoescala

La fabricación a nanoescala se puede ver como la evolución de los procesos de fabricación de semiconductores, por lo que también debe resolver muchas de las cuestiones que éstos enfrentan relacionadas con la energía: amplios procesos de requerimientos de energía, complejidad extrema, un proceso amplio y purificado de entrada de materiales, y la vulnerabilidad a los contaminantes. Otras consideraciones adicionales para ciertas tecnologías específicas de nanoprosesamiento son: baja capacidad, metrología integrada, requerimientos de temperatura extrema, y vacío.

En trabajos previos se comparan los métodos convencionales frente a la siguiente generación litográfica –NGL, por ejemplo en (Chen and P'epin, 2001) (Tseng and Notargiacomo, 2005). En esta sección se describen varios métodos de fabricación a nanoescala y se categorizan las tecnologías de fabricación de acuerdo con sus mecanismos de componentes básicos, ya que éstos direccionan el uso de la energía.

Las tecnologías de fabricación a nanoescala pueden clasificarse a grandes rasgos en métodos arriba-abajo y métodos abajo-arriba. Los de arriba-abajo se refieren a métodos sustractivos e

incluyen el grabado, el mecanizado o el moldeo de partes más grandes a un tamaño deseado; los de abajo-arriba describen la formación de materiales o dispositivos aditivos a partir de moléculas o átomos individuales.

2.1 Tecnologías arriba-abajo

1. *Litografía*. Esta tecnología abarca un amplio rango de procesos de fabricación que emplean selectivamente rayos de fotones, electrones o iones para modificar las propiedades mecánicas de un material o la capa de enmascaramiento resistente.

Los procesos litográficos consisten de tres fases principales: la generación del patrón, la exposición y el desarrollo de características. Los patrones comúnmente se generan en una máscara que se utilizan en la fase de exposición para crear características de un molde o de una oblea a la vez. La escritura o litografía sin máscara es posible cuando el tamaño del campo, o el diámetro del haz, no es más grande que el tamaño de la característica. Finalmente, el material se revela, comúnmente mediante ataque químico, para exponer las características deseadas.

La *fotolitografía* o litografía óptica utiliza la luz para endurecer o ablandar un polímero fotosensible, que se utiliza como una máscara de grabado. El límite de resolución *Rayleigh* establece que sólo la luz ultra violeta extrema –EUV– y algunas ultravioleta profundas –DUV–, tienen longitudes de onda lo suficientemente cortas como para producir características a escala nanométrica (Nishi and Doering, 2000). La luz EUV con longitudes de onda inferiores a 31nm requiere de equipo especializado, como lentes de cuarzo, que absorban en lugar de que refracten dicha longitud de onda.

Muchos de los métodos experimentales nuevos tienen como objetivo superar el límite *Rayleigh*. La longitud de onda de la luz se puede modificar mediante interferencia de múltiples fuentes o con la luz que pasa a través de varios medios. La litografía de imágenes plasmónicas –PIL–, por ejemplo, utiliza la longitud de onda corta de las ondas superficiales, o plasmones, para obtener una resolución de 60nm usando una lámpara de mercurio de 365nm (Fang et al., 2005).

De acuerdo con el International Technology Roadmap for Semiconductors –ITRS–, la resolución que se puede alcanzar en los procesos fotolitográficos convencionales está aumentando rápidamente, y la longitud de la

puerta después del grabado se proyecta reducir de los 32nm de hoy a 20nm (SIA, 2009).

La *litografía de rayos X* –XRL– ofrece mayor resolución que la fotolitografía utilizando longitudes de onda que van desde 0.03nm a 3nm. Los rayos X pueden penetrar muchos materiales de máscara comunes e incluso materiales especializados que a menudo requieren refrigeración para su funcionamiento. LGA –*Lithographi Glvanoformung Abformung* en alemán– es un proceso de litografía de rayos X capaz de relacionar aspectos amplios utilizando galvanoplastia. Con los rayos XRL es posible lograr características por debajo de 15nm.

La *litografía de haz de electrone*, o e-beam, es una tecnología de escritura directa. Su resolución no está limitada por el límite de difracción de la luz, sino por el diámetro del haz y la dispersión de los electrones. Los microscopios electrónicos de barrido –SEM– son los equipos más utilizados en la litografía e-beam. Esta litografía es una tecnología muy madura que se utiliza para crear máscaras de litografía usadas en la fabricación de semiconductores convencionales, y con ella se pueden alcanzar características con dimensiones por debajo de 10nm.

La *litografía de haz iónico* o litografía de haz de iones focalizados –FIB– es capaz de remover directamente el material combinando la generación de patrones, la exposición y desarrollo de características en un sólo paso del proceso. Los haces de iones se forman al cargar sustancias como helio, oxígeno, boro y fósforo. Debido a que los iones pesados dispersan menos que los electrones, esta litografía es capaz de generar la mayor resolución para todos los procesos en esta categoría.

2. *Tecnologías de Impresión*. La litografía de nanoimpresión –NIL– también es conocida como litografía de nanorelieve o litografía blanda. Una capa termoplástica suave, de silicio fundido o de líquido foto-resistente, se presiona o se vierte sobre un molde y posteriormente se endurece con el calor o luz ultravioleta (Chou, 2001) (Colburn et al., 2001) (Li et al., 2003). A menudo, se requiere el grabado de iones reactivos anisotrópico para remover solamente las características deseadas.

Las características se pueden dejar como están o tomar las de otro material y depositarlas en los vacíos del patrón. Los moldes frecuente se utilizan entre 1 y 30 veces, momento en el que aparece la degradación en el tiempo. Con la

litográfica de impresión es posible alcanzar resoluciones de menos de 5nm y tiene potencial para fabricaciones de alto rendimiento.

3. *Operaciones de punto simple.* Estas operaciones se refieren a la eliminación de materiales usando microscopía de sonda de barrido, más comúnmente microscopía de fuerza atómica –AFM– o microscopía de túnel de barrido –STM. Estos enfoques se diferencian de los otros enfoques de arriba-abajo por que el material se elimina en una serie de formas átomo a átomo.

Los microscopios de sonda de barrido se puede emplear con pulsos de voltaje, deposición de vapor químico –CVD–, electrodeposición local o técnicas de nanolitografía *dip-pen* –DPN. Estos procesos requieren condiciones extremas de presión y temperatura. Este enfoque puede ser excesivamente extenso, a pesar de que es capaz de resoluciones a escala atómica.

2.2 Tecnologías abajo-arriba

1. *Procesos de vapor.* La deposición de vapor químico –CVD– utiliza la deposición de gas reactivo en la superficie de un sustrato abajo-arriba así como en la fabricación arriba-abajo. Se pueden producir nanocables, nanocables compuestos, y nanotubos de carbono –CNT– utilizando CVD, a menudo en presencia de un catalizador. Por ejemplo, los CNTs se producen por CVD de un material de origen hidrocarbonado a temperaturas entre 600°C y 1000°C en un medio vacío o inerte con un catalizador de metales de transición (Bhushan, 2004). Los nanocables de oro se pueden formar mediante el depósito de vapor de oro en DNA suavizado en un proceso denominado de plantilla auto-ensamblada (Tseng and Notargiacomo, 2005).

Los procesos de vapor-líquido-sólido –VLS– implican la introducción de una materia prima gaseosa en un catalizador líquido para formar un sólido cristalino. Los VLS se producen a presión atmosférica normal y se utilizan para formar nanocables, que son líneas ultra finas compuestas por un único material.

El proceso de VLS se puede explicar simplemente como un proceso CVD con nanopartículas del catalizador en el sustrato. Los nanocables de Si, Ge, GaAs, GaP, InP, InAs, ZnS, ZnSe, CdS, CdSe, ZnO, MgO y SiO₂, así como los nanotubos de carbono individuales y multicapas –SWNT, MWNT–, son productos de VLS. Las nanopartículas del catalizador en un sustrato se calientan en un horno, al que se introduce una fuente de vapor

para producir y continuamente depositar una aleación eutéctica. La demanda de energía para la producción de cada tipo de nanocable varía con la temperatura eutéctica de la aleación y la tasa de expansión del cable.

Los nanotubos de carbono también se pueden formar por VLS con el uso de un catalizador. Los métodos de formación CNT más ampliamente aplicados incluyen sublimación del grafito sólido a través de ablación láser, y descarga de arco eléctrico o energía solar. En la ablación láser, la sublimación se produce utilizando un láser en un horno de alta temperatura –1200°C– en vacío, en un medio inerte –generalmente helio–, a veces en presencia de un catalizador. Los CNTs también se forman mediante arco eléctrico en condiciones similares, siempre en presencia de un catalizador. Los hornos solares alcanzan temperaturas del rango de 3700°C con luz solar focalizada, donde se encuentra una fuente de grafito sólida con un catalizador bajo vacío sublimado y depósitos en las paredes de la cámara (Bhushan, 2004).

En la *epitaxia de haces moleculares* –MBE–, los flujos de gas ultra puro a alta temperatura y vacío ultra alto –UHV– se dirigen sobre un sustrato de cristal único. Estos flujos se utilizan para formar los puntos cuánticos o cables, desde cristales de 10 a 10⁵ átomos de espesor (Bhushan, 2004).

2. *Procesos solamente líquidos.* Las mono capas auto-ensambladas se pueden formar por el método Langmuir-Blodgett, donde un sustrato sólido se sumerge en un líquido cubierto por una fina capa de surfactante, o por giro de fundición a presión. Estas películas pueden ser procesadas usando litografía *e-beam* u otras técnicas arriba-abajo.
3. *Procesos plasma/iónica.* La implantación de iones individuales utiliza una dosis baja de un haz de energía para implantar iones en una superficie de cristal en vacío alto, y puede ser utilizado para formar puntos cuánticos.

Los CVD de plasma intensificado –PECVD– emplean el mismo mecanismo que los ECV, pero utilizan un gas cargado que permite formar películas a temperaturas más bajas.

4. *Procesos de impresión.* La impresión por nanocontacto –nCP– o impresión por nanotransferencia –nTP– se relaciona con los procesos de impresión arriba-abajo. Aquí, un material deseado se evapora en un sello o molde y luego se transfiere a un sustrato planar (Loo *et al.*, 2002) (Jo *et al.*, 2005). La resolución del nCP pueden ser de hasta 40nm.

5. *Operaciones de un solo punto.* El mecanismo de microscopía de sonda de escaneo abajo-arriba se relaciona estrechamente con la microscopía de sonda de escaneo de extracción de material. La microscopía de sonda de escaneo fue ampliamente utilizada en 1991 para formar las letras "IBM" con 35 átomos de xenón.

El volumen de interacción entre la sonda y la muestra limita la resolución de la microscopía de sonda de escaneo, sin embargo puede considerarse como la más precisa de todas las tecnologías de fabricación a nanoescala. Sin embargo, el proceso puede ser poco confiable y de bajo rendimiento.

3. Procesos de requerimientos de energía

Cada una de las tecnologías de fabricación descritas tiene requisitos específicos para operar. Estos requisitos se dividen entre los que se puede medir por unidad de producto y los que se asignan a una planta de producción. Llamamos a estos requisitos de procesos directos e indirectos, respectivamente. En esta sección se discuten los requisitos del proceso principal junto con su demanda energética.

Como muchas de las tecnologías de fabricación se encuentran aún en etapa de desarrollo, lo que dificulta obtener datos acerca del consumo de energía. Existen, sin embargo, estudios de tecnologías maduras de fabricación de semiconductores bien documentados (Williams *et al.*, 2002) (Murphy *et al.*, 2003) (Williams, 2004). Debido a las similitudes entre los semiconductores y las tecnologías de fabricación a nanoescala, es conveniente utilizar algunos de estos datos como las estimaciones de límite inferior para el uso de energía en la fabricación a nanoescala. Sin embargo, existen numerosas lagunas en el conocimiento disponible que también se identifican a continuación. Estas áreas deben ser el foco de la comunidad para analizar el ciclo de vida de la nanotecnología.

3.1 Requerimientos directos

Los requerimientos directos son los que se aplican directamente en el proceso o el punto de uso –POU. El consumo de energía se puede medir directamente desde el equipo experimental, pero debe considerarse debido a la potencialmente incrementada eficiencia de la producción a escala. También debe tenerse en cuenta que estamos interesados en la energía suministrada a los equipos del proceso en lugar de la energía utilizada en el proceso o la energía primaria generada.

1. *Control de presión.* Las bombas son utilizadas para mantener las condiciones de vacío requeridas por muchos métodos de fabricación. Las condiciones de vacío son

cruciales para reducir al mínimo los contaminantes en las partes que se producen, así como para extender la dirección libre promedio o anisotropía de los materiales depositados.

Se puede lograr presiones de hasta 10^{-3} torr con bombas de desbaste, mecánicas o solas. Las presiones inferiores a este umbral requieren una difusión o bomba turbo en serie con la bomba de desbaste. Por lo tanto, el uso de energía en el control de la presión depende de las presiones requeridas para cada proceso. Los requisitos de la máquina básica difieren muy poco de aquellos de fabricación de semiconductores. Sin embargo, como el rendimiento de muchos procesos a nanoescala es relativamente bajo, la máquina debe operar durante un ciclo de trabajo más largo. Por lo tanto, cuando se compara con la fabricación de semiconductores, el uso de la energía de control de presión tendrá una escala a la inversa del rendimiento de las operaciones a nanoescala.

2. *Control de Temperatura.* Las cámaras específicas de temperaturas altas o bajas son necesarias para muchos procesos a nanoescala. Las temperaturas del horno, que van desde los 400°C a 1400°C , son necesarias para la oxidación, la deposición de películas delgadas, la difusión, el recocido, y los procesos de sinterización; mientras que las temperaturas del horno a 100°C se utilizan para secar y endurecer las resinas fotosensibles y otros sustratos de enmascaramiento. Las temperaturas frías son necesarias para los procesos que requieren de gran pureza, incluyendo la microscopía de sonda de escaneo, los procesos de plasma, el grabado, y la implantación de iones. Estos procesos pueden tener éxito sólo en la ausencia de fuentes de energía cinética no controlada; por lo tanto se requieren condiciones de vacío y de temperatura baja. Mientras que las temperaturas calientes y frías se alcanzan a través de los mismos mecanismos de la fabricación de semiconductores, los gastos de energía volverán a nivelarse con el rendimiento.

3. *Generación de fotones.* La luz ultravioleta se utiliza para suavizar o endurecer la fotoresistencia, cuya resolución es inversamente dependiente de la longitud de onda de la fuente de luz. Sin embargo, mientras más corta sea la longitud de onda, más energía se transmite en el fotón:

$$E = h \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

Donde h es la constante de Planck, c es la velocidad de la luz y λ es la longitud de onda.

Una bombilla de lámpara de arco promedio puede disipar entre 500W y 1000W. Dado que las longitudes de onda EUV son de orden de magnitud menor que la de las fuentes de luz óptica, tienen aproximadamente un orden de magnitud más de energía intensiva.

4. *Generación de plasma/iones.* las fuentes de plasma se utiliza para grabar y depositar material e implantar los iones en un sustrato. La generación y control de plasma es energía intensiva y puede consumir de 50W a 50kW dependiendo de la aplicación. Debido a las bajas energías del haz se utilizan para la implantación de iones únicos o para implantar iones a pequeña escala, los requerimientos energéticos de los procesos a nanoescala asociados con este requerimiento serán menores con respecto a los utilizados en la fabricación de semiconductores.
5. *Metrología y mecánica de precisión.* Si bien el rendimiento y la capacidad del proceso son todavía relativamente bajos, a menudo es necesaria la inspección parte a parte. Puede basarse en las mismas herramientas de la microscopía de sonda de escaneo y de los ensayos repetidos utilizados en la creación de función. La Tabla 1 recoge los distintos tipos de equipos de metrología necesarios en las diferentes escalas de resolución.

TABLA 1
Características de los instrumentos de metrología entre 0.3nm y 100nm [4]

Resolución	Herramienta ejemplo de metrología
100nm	Instrumentos de medición láser, fibras ópticas, Talysurfs, Talyronds
10nm	Instrumentos de medida láser de alta precisión (Doppler, multi-reflexión), Talysteps
1nm	Microscopios de escaneo de electrones, microscopios de transmisión de electrones, equipo de difracción de electrones, analizadores de iones
0.3nm	Micro analizadores de Rayos X, analizadores de Auger, ESCAR

Fuente: Autor

Se requieren más trabajos en la caracterización, tanto de la fiabilidad como en el uso energético de los equipos de alta precisión utilizados en metrología y la misma fabricación. El estudio de los requerimientos de la metrología para un sistema de producción, como una función del tamaño de la característica y la escala de producción, es otra prioridad.

3.2 Requerimientos indirectos

Las instalaciones proporcionan una capa de "protección" para los procesos de fabricación, pero en entornos experimentales pueden no estar disponibles las instalaciones apropiadas. Sin embargo, a escalas de producción, se convierte

en un factor crítico para mantener unas condiciones bien controladas por fuera de las cámaras de proceso. Los procesos heredan las condiciones de pureza y ambientales de las instalaciones y por lo tanto es esencial mantener esas instalaciones en estas condiciones base. Esto no sólo lleva el peso de los requerimientos directos, sino que reduce el riesgo de defectos debido a la contaminación.

Continuamente se debe suministrar numerosos materiales a la cámara de procesos, incluyendo aire de habitación limpia, agua ultra pura, y procesos de agua refrigerada. Todo esto debe ser recapturado para ser condicionado y redistribuido o tratado y re-liberado. En una instalación moderna de fabricación de semiconductores, gran parte del consumo de energía se destina a los procesos de instalaciones de apoyo a escala.

1. *Purificación.* Para todos los procesos de fabricación a nanoescala se necesita aire ultra-puro, agua y productos químicos, y para eliminar los contaminantes del aire en el ambiente de trabajo se necesitan ventiladores de circulación de sala limpia. También se utiliza aire ajustado –MUA– para presurizar el área de trabajo, manteniendo los contaminantes alejados. El agua ultra pura o desionizada –DI– se utiliza en numerosas etapas de limpieza. En la fabricación de semiconductores como en nanotecnología, se utilizan una gama cada vez mayor de productos químicos de alta pureza.

Los tipos de aire de sala limpia disponibles más importantes son los componentes necesarios, tanto en la fabricación a nano escala como en la de semiconductores, y el uso de la energía asociada con las dos es comparable, aunque depende también de la productividad.

Una cuestión particularmente pertinente para la fabricación a nano escala es cómo asear sin afectar las características. El agua desionizada se puede utilizar de manera diferente en la fabricación a nano escala y en la fabricación de semiconductores. Esta es un área que necesita mayor estudio.

Mientras que algunos consumibles marcan la diferencia entre la fabricación de semiconductores y a nano escala, muchos otros se están desarrollando exclusivamente para esta última. La purificación química en las instalaciones es un factor importante en el uso de la energía, por lo que requiere un estudio amplio y continuo a medida que este campo progresa. Esto es distinto de la energía integrada en el proceso consumible, que es otra de las prioridades para la comunidad investigadora.

2. *Control de Temperatura.* El agua del proceso de enfriamiento –PCW– debe circular continuamente para mantener la temperatura deseada. El consumo de agua en el proceso de enfriamiento para la fabricación a nano escala es similar a la de los semiconductores, escalada con el proceso de generación de calor y el rendimiento.

3. *Supresión.* Los productos químicos nocivos o regulados se tratan en dos pasos: una vez en el punto de uso –POU– y nuevamente en la escala de las instalaciones. Debido a que ambos pasos se producen fuera de los procesos reales, se consideran dentro de los requerimientos de las instalaciones.

El foco de reducción del POU se centra en la eliminación o separación de perfluorocomponentes –PFC– por quema y depuración, tratamiento del plasma y depuración, o filtración respectivamente (Krishnan *et al.*, 2004). Las instalaciones de reducción consisten en una gama más amplia de emisiones que la reducción del POU. En toda eliminación secundaria se produce neutralización de residuos ácidos, combustión de compuestos orgánicos volátiles –COV–, neutralización de amoníaco, y de tratamiento de aguas residuales fluoradas.

Las especies de los productos químicos, el grado en que se utilizan y su subsecuente disminución en la fabricación a nano escala, es un área importante de trabajo futuro. Las cualidades y el consumo de energía asociadas al proceso de salida, será una consideración prioritaria para cualquier estudio completo de la fabricación a nano escala.

4. Discusión

Teniendo en cuenta estos requerimientos de proceso intensivos de energía, vamos a echar un vistazo a sus demandas relacionadas con las clases de tecnología de fabricación. El consumo total de energía de un método es conducido a medida que sus requerimientos de proceso se utilizan.

En la Tabla 2 se presenta una evaluación cualitativa de los requerimientos del proceso para cada clase de tecnología de fabricación. Estos requerimientos, en algunos casos, dependen de los parámetros del material o proceso utilizado en la fabricación. Por ejemplo, la impresión litográfica emplea calor o curación UV. Esta distinción afecta las demandas relativas de los procesos para la generación de fotones, y el control de temperatura directo e indirecto. La reducción de la litografía de haz de iones es dependiente de la química y es posible que emita metales pesados. La reducción de CVD es un

proceso dependiente y sus emisiones pueden contener perfluorocarburos o contaminantes del aire peligrosos. La ocurrencia de procesos VLS reduce un amplio rango de temperaturas –desde 1200°C para la ablación con láser hasta 3700°C para la formación CNT de horno solar–, por lo que el grado de control de la temperatura necesaria es un proceso dependiente.

En la Tabla 2, también se puede observar que los procesos arriba-abajo y abajo-arriba, con mecanismos similares, tienen requerimientos de proceso similares, y por lo tanto es probable que las demandas de energía sean similares. Si los resultados de procesos dependientes se promedian para una clase de fabricación, nos encontramos con que los procesos de impresión y de plasma/iones tienen menos requerimientos, mientras que las operaciones de punto simple, CVD, VLS y MBE, tienen más requerimientos.

Si promediamos todos los resultados para las tecnología de fabricación arriba-abajo frente a las abajo-arriba, la asignación de valores a partir de cero para los "no/débil requerimiento" con tres de "requerimiento muy fuerte", nos encontramos con que los resultados de los procesos arriba-abajo promedian 1.3, mientras que el de los procesos abajo-arriba es 1.4. Esta diferencia es marginal pero sugiere una hipótesis para explorar en futuros trabajos: los procesos de fabricación abajo-arriba utilizan energía más intensivamente que los arriba-abajo.

5. Trabajo futuro

En la sección 4 se presentaron los elementos básicos de un análisis de energía sistemático para los métodos de fabricación a nano escala. Debido a que el uso de energía por área depende de la precisión y el rendimiento de cada proceso, los requerimientos de proceso sirven como un acercamiento para el uso de energía real. Como un marco para un estudio detallado y cuantitativo de los requisitos de energía para la fabricación a nano escala se propone lo siguiente:

- Desarrollar un conjunto integral de requerimientos para todas las clases de fabricación, incluyendo los consumibles más importantes y los equipos de proceso.
- Estimar el rendimiento para cada clase de tecnología en los diferentes niveles de precisión, con base en las proyecciones de la industria y las tendencias.
- Evaluar el rango de precisión posible a través de cada método de fabricación
- Cuantificar el consumo de energía asociado con cada requerimiento de proceso, como una función de precisión para cada una de las clases de procesos.

- Cuantificar la energía embebida en los materiales y equipos, utilizando una combinación de procesos con base en una valoración del ciclo de vida de las entradas y salidas de los datos de energía.
- Identificar los factores de escala en la demanda de energía como funciones de resolución para cada método, y comparar resultados extrapolados con los datos

disponibles actualmente de la industria de los semiconductores.

Usando este modelo se puede lograr una rigurosa comprensión del consumo de energía en los métodos de fabricación a nano escala. Este marco también se puede integrar en un análisis más amplio del ciclo de vida de la fabricación a nano escala. El trabajo futuro consecuente consiste en desarrollar el modelo como se describe en el marco.

TABLA 2
Requerimientos de proceso para las clases de tecnología de fabricación

Tecnología de fabricación	Directos				Indirectos				
	Control de presión	Control de Temp.	Generación plasma/iones	Generación de fotones	Mecánica y Metrología	Purificación	Control de Temp.	Supresión	
Arriba-abajo	Fotolitografía	2	0	0	3	1	3	0	1
	Litografía de rayos X	2	0	0	3	1	3	1	1
	Litografía de has de electrones	2	0	0	3	2	3	0	1
	Litografía de has de iones	3	0	3	0	2	1	0	1, 3
	Impresión	0	0, 2	0	0, 2	1	3	0, 2	1
	Operaciones punto simple	3	3	0	0	3	1	3	0
Abajo-arriba	Procesos CVD	3	1, 3	3	0	1	1	0, 3	1, 3
	Procesos vapor-líquido-sólido	2, 3	2, 3	0	0	3	1	2, 3	1, 3
	Epitaxia de heces moleculares	3	2	0	0	3	1	2	1, 3
	Procesos sólo líquidos	1	0, 1	0	0	3	1	0, 1	1, 3
	Procesos plasma/iones	3	0	3	0	1	1	0	0
	Impresión	0	0, 2	0	0, 2	1	3	0, 2	1
	Operaciones punto simple	3	3	0	0	3	1	3	0

Fuente: Autor

0: Requerimiento débil

1: Requerimiento moderado

2: Requerimiento fuerte

3: Requerimiento muy fuerte

Varios valores indican un rango de requisitos dependientes de los parámetros de los procesos

Referencias

- Bhushan, B. (Ed.) (2004). Handbook of Nanotechnology. London: Springer. 1222 p.
- Chen, Y. & P'epin, A. (2001). Nanofabrication: Conventional and nonconventional methods. Electrophoresis, Vol. 22, pp. 187–207.
- Chou, S. (2001). Nano-imprint lithography and lithographically induced selfassembly. Material Research Society (MRS) Bulletin, Vol. 26, pp. 512–517.
- Colburn, M., Bailey, T., Choi, B., Ekerdt, J., Sreenivasan, S. & Willson, C. (2001). Development and advantages of step-and-flash lithography. Solid State Technology, Vol. 44.7, pp. 67–78.
- Fang, N., Lee, H., Sun, C. & Zhang, X. (2005). Sub-diffraction-limited optical imaging with a silver superlens. Science, Vol. 308, pp. 534–537.
- Jo, J., Jeong, J. H., Kim, K. Y., Lee, E. S. & Choi, C. G. (2005). Hybrid nanocontact printing (hncp) process technology. Proceedings of The International Society for Optical Engineering (SPIE), San Diego, CA, USA, Vol. 5645, pp. 372-378.
- Krishnan, N., Raoux, S. & Dornfeld, D. (2004). Quantifying the environmental footprint of semiconductor equipment using the environmental value systems analysis (env-s). IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 17, pp. 554–561.
- Li, H. W., Muir, B. V. O., Fichet, G. & Huck, W. T. S. (2003). Nanocontact printing: A route to sub-50-nm-scale chemical and biological patterning. Langmuir, Vol. 19, pp. 1963–1965.

- Lloyd, S. & Lave, L. (2003). Life cycle economic and environmental implications of using nanocomposites in automóviles. *Environmental Science & Technology*, Vol. 37, No. 15, pp. 3458–3466.
- Lloyd, S., Lave, L. B. & Matthews, H.S. (2005). Life cycle benefits of using nanotechnology to stabilize platinum-group metal particles in automotive catalysts. *Environmental Science & Technology*, Vol. 39, pp. 1384–1392.
- Loo, Y., Willett, R. W., Baldwin, B. & Rogers, J. (2002). Additive, nanoscale patterning of metal films with a stamp and a surface chemistry mediated transfer process: Applications in plastic electronics. *Applied Physics Letters*, Vol. 81, pp. 562–564.
- Murphy, C. F., Kenig, G., Allen, D. T., Laurent, J. & Dyer, D. (2003). Development of parametric material, energy, and emission inventories for wafer fabrication in the semiconductor industry. *Environmental Science & Technology*, Vol. 37, No. 23, pp. 5373–5382.
- National Nanotechnology Initiative –NNI. What is Nanotechnology. In <http://www.nano.gov/html/facts/whatIsNano.html>. Accessed Oct. 17/2009.
- Nishi, Y. and Doering, R. (Eds.) (2000). *Handbook of Semiconductor Manufacturing Technology*. New York: CRC Press. 1157 p.
- Semiconductor Industry Associations –SIA. (2009). *International technology roadmap for semiconductors. ITRS 2009 Edition*.
- Taniguchi, N. (1992). Future trends of nanotechnology. *International Journal of the Japan Society for Precision Engineering*, Vol. 26, No. 1, pp. 1–7.
- Tseng, A. & Notargiacomo, A. (2005). Nanoscale fabrication by nonconventional approaches. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, Vol. 5, pp. 683–702.
- Williams, E. (2004). Energy intensity of computer manufacturing: Hybrid assessment combining process and economic input-output methods. *Environmental Science & Technology*, Vol. 38, pp. 6166–6174.
- Williams, E., Ayres, R. & Heller, M. (2002). The 1.7 kilogram microchip: Energy and material use in the production of semiconductor devices. *Environmental Science & Technology*, Vol. 36, pp. 5504–5510. 

Evolutionary Programming Applied to Emulate Robots

La Programación Evolutiva Aplicada para Emular Robots

Lars T. Hansem

Adobe Systems

lthanssem@adobe.com

(Artículo de INVESTIGACIÓN. Recibido el 15-08-2010. Aprobado el 20-11-2010)

Abstract – The synthesis of information retrieval systems has harnessed access points, and current trends suggest that the simulation of checksums will soon emerge. After years of technical research into spreadsheets, we prove the construction of agents, which embodies the robust principles of steganography. In this paper, we investigate how evolutionary programming can be applied to the emulation of robots.

Keywords: steganography, checksums, evolutionary programming.

Resumen – La síntesis de los sistemas de recuperación de información ha aprovechado los puntos de acceso, y las tendencias actuales sugieren que pronto surgirá la simulación de las sumas de verificación. Después de años de investigación técnica en hojas de cálculo se logró demostrar la construcción de agentes para encarnar los principios sólidos de la esteganografía. En este trabajo se investiga cómo aplicar la programación evolutiva en la emulación de robots.

Palabras clave: esteganografía, sumas de verificación, programación evolutiva.

1. Introduction

In recent years, much research has been devoted to the construction of scatter/gather I/O; however, few have analyzed the construction of journaling file systems. Next, the effect on artificial intelligence of this has been considered confusing. HotWye synthesizes local-area networks. The improvement of local-area networks would minimally amplify the Turing machine.

Another theoretical problem in this area is the simulation of adaptive algorithms. We leave out these algorithms for now. We emphasize that our framework runs in $O(n)$ time. Existing ambimorphic and compact applications use online algorithms to cache multicast systems (Agarwal *et al.*, 1996). In addition, the flaw of this type of solution, however, is that the partition table can be made "smart", random, and compact. Two properties make this solution different: our heuristic turns the atomic technology sledgehammer into a scalpel, and also HotWye visualizes efficient models. Daringly enough, the basic tenet of this method is the study of SCSI disks.

In this position paper we present a robust tool for deploying redundancy –HotWye–, validating that the acclaimed highly-available algorithm for the

construction of local-area networks (Agarwal *et al.*, 1996) is recursively enumerable (Dongarra *et al.* 2000). The shortcoming of this type of method, however, is that robots can be made client-server, multimodal, and multimodal. existing ubiquitous and distributed applications use decentralized technology to create autonomous modalities. It should be noted that our heuristic constructs SMPs. Combined with the robust unification of access points and IPv7, it visualizes new certifiable theory.

We question the need for interposable archetypes. The usual methods for the simulation of 802.11 mesh networks do not apply in this area. In the opinions of many, the drawback of this type of solution, however, is that simulated annealing can be made Bayesian, omniscient, and virtual. It should be noted that our framework refines ebusiness. The basic tenet of this solution is the simulation of SMPs. Though similar frameworks emulate replicated modalities, we solve this problem without deploying online algorithms.

2. Related Work

The original solution to this issue by Dongarra *et al.* (2000) was considered extensive; however, it did not completely answer this problem. Clearly, if performance is a concern, HotWye has a clear advantage. Continuing with this rationale, Hamming (2004) originally articulated the need for congestion control (Smith *et al.*, 1995) (Zhao & Wilson, 1999) (Corbato *et al.*, 2005). Our design avoids this overhead. Unlike many existing methods (Milner & Estrin, 1997) (Dongarra *et al.*, 2000) (Leiserson, 2005), we do not attempt to prevent or cache flip-flop gates. Although we have nothing against the related method by White *et al.* (2004), we do not believe that approach is applicable to complexity theory.

2.1 Thin Clients

A number of previous algorithms have analyzed the Ethernet, either for the investigation of RPCs (Corbato *et al.*, 2005) (White, 2001) (Zhou, 2000) or for the improvement of e-commerce (Zhao & Wilson, 1999). Quinlan (2002) proposed the first known instance of decentralized theory (Miller *et al.*, 2001) (Martínez *et al.*, 1990). Without using real-time models, it is hard to imagine that red-black trees can be made Bayesian, real-time, and

autonomous. A methodology for the synthesis of SCSI disks (Nehru, 2005) proposed by Kobayashi fails to address several key issues that our method does address (Kobayashi, 2003). This is arguably fair. Ramasubramanian and Karp constructed several flexible methods (Ramasubramanian & Karp, 2001), and reported that they have profound impact on the investigation of cache coherence.

We now compare our solution to prior wearable models solutions (White & Shenker, 1996) (Hawking et al., 2003). Garcia and Johnson originally articulated the need for the study of evolutionary programming (García & Johnson, 1999). Furthermore, García (2001) suggested a scheme for improving decentralized epistemologies, but did not fully realize the implications of IPv4 (Leiserson, 2005) at the time (Cocke, 2005). HotWye represents a significant advance above this work. Recent work by Floyd (2005) suggests a heuristic for managing the synthesis of web browsers, but does not offer an implementation (Brown et al., 1995). These frameworks typically require that the UNIVAC computer and replication are mostly incompatible (Shastri et al., 2003), and we disconfirmed in this work that this, indeed, is the case.

2.2 XML

The exploration of distributed symmetries has been widely studied. It remains to be seen how valuable this research is to the e-voting technology community. Similarly, HotWye is broadly related to work in the field of steganography by Dongarra *et al.* (2006), but we view it from a new perspective: multicast frameworks (Moore, 1999). On a similar note, Robert Floyd (2005) developed a similar method, however we disproved that HotWye runs in $O(2^n)$ time. Lastly, note that our heuristic caches efficient modalities; as a result, our heuristic runs in $\Theta(\log n)$ time.

2.3 Local-Area Networks

Our solution is related to research into pseudorandom methodologies, RPCs, and the study of 802.11 mesh networks. HotWye is broadly related to work in the field of programming languages by Kumar *et al.* (2003), but we view it from a new perspective: fiber-optic cables (Ashwin et al., 2001) (Ito, 2006). Continuing with this rationale, a recent unpublished undergraduate dissertation proposed a similar idea for encrypted theory (Raman, 2008) (Gray et al., 2009) (Zuzuki, 2009). Contrarily, the complexity of their method grows quadratically as Bayesian communication grows. Nevertheless, these solutions are entirely orthogonal to our efforts.

3. Perfect Configurations

In this section, we explore a framework for enabling peer-to-peer theory. We show the relationship between our framework and object-oriented languages in Fig. 1. Continuing with this rationale, the architecture for our heuristic consists of four independent components: the deployment of RPCs, game-theoretic epistemologies, vacuum tubes, and linear-time archetypes. Any technical construction of semaphores will clearly require that sensor networks can be made Bayesian, heterogeneous, and compact; HotWye is no different. The question is, will HotWye satisfy all of these assumptions? No.

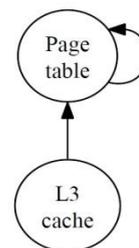


Fig. 1. Our methodology observes omniscient theory in the manner detailed above

Suppose that there exists extensible models such that we can easily deploy the improvement of agents. Along these same lines, we show an architectural layout detailing the relationship between our algorithm and operating systems in Fig. 1. This is an intuitive property of our algorithm. The methodology for HotWye consists of four independent components: sensor networks, concurrent configurations, modular configurations, and gametheoretic epistemologies. We scripted a year-long trace disconfirming that our design is unfounded. Next, the methodology for HotWye consists of four independent components: cooperative technology, replication, selflearning communication, and superblocks. While such a claim at first glance seems counterintuitive, it has ample historical precedence.

Reality aside, we would like to explore a framework for how HotWye might behave in theory. This may or may not actually hold in reality. We estimate that each component of HotWye – Fig. 2– constructs the visualization of SMPs, independent of all other components. Although such a claim is rarely a confirmed mission, it never conflicts with the need to provide hierarchical databases to systems engineers. We executed a 3-day-long trace confirming that our architecture is feasible. We estimate that each component of HotWye controls write-ahead logging, independent of all other components. This may or may not actually hold in reality. Any key emulation of online algorithms will clearly require that spreadsheets

and semaphores are largely incompatible; our framework is no different. Despite the fact that physicists continuously postulate the exact opposite, HotWye depends on this property for correct behavior. See others previous technical report (Cocke, 2005) for details.

4. Implementation

Our framework is elegant; so, too, must be our implementation. HotWye requires root access in order to synthesize embedded epistemologies. It was necessary to cap the block size used by our heuristic to 58 man-hours. Steganographers have complete control over the clientside library, which of course is necessary so that object-oriented languages can be made signed, trainable, and cacheable. The virtual machine monitor contains about 3736 instructions of B.

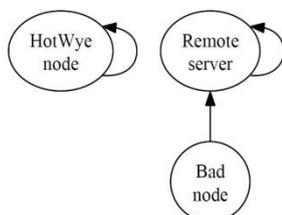


Fig. 2. Our methodology prevents peer-to-peer configurations in the manner detailed above

5. Results and Analysis

Measuring a system as unstable as ours proved more difficult than with previous systems. We did not take any shortcuts here. Our overall evaluation seeks to prove three hypotheses: (1) that a methodology's user-kernel boundary is not as important as popularity of systems when optimizing work factor; (2) that we can do a whole lot to influence a heuristic's median latency; and finally (3) that the Macintosh SE of yesteryear actually exhibits better complexity than today's hardware. Our logic follows a new model: performance might cause us to lose sleep only as long as usability takes a back seat to usability constraints (Maruyama, 2001). Unlike other authors, we have decided not to develop average distance. Note that we have intentionally neglected to deploy average hit ratio (Quinlan, 2002). Our evaluation method will show that increasing the popularity of the Ethernet of extremely distributed technology is crucial to our results.

5.1 Hardware and Software Configuration

One must understand our network configuration to grasp the genesis of our results. We instrumented a simulation on MIT's encrypted testbed to prove signed communication's inability to effect the work of Soviet hardware designer P. Watanabe. To find the required Knesis keyboards, we combed eBay and tag sales. Primarily, biologists removed 7GB/s of Internet access from our interactive testbed. We reduced the effective NV-

RAM space of DARPA's system to prove the work of Italian algorithmist Q. Jones. We only measured these results when deploying it in a laboratory setting. We added 25 2MHz Athlon XPs to DARPA's random overlay network. This configuration step was time-consuming but worth it in the end. Next, we doubled the mean energy of our game-theoretic cluster. Further, we added some 8MHz Athlon XPs to our human test subjects to investigate our mobile telephones. In the end, Swedish cyberneticists halved the NV-RAM speed of our mobile telephones to consider our system.

When A. Taylor reprogrammed DOS Version 5.9.9's relational software architecture in 1986, he could not have anticipated the impact; our work here inherits from this previous work. We added support for HotWye as a runtime applet. We added support for our solution as a saturated dynamically-linked user-space application. On a similar note, Similarly, our experiments soon proved that extreme programming our partitioned joysticks was more effective than patching them, as previous work suggested. We made all of our software is available under a very restrictive license.

5.2 Experimental Results

Our hardware and software modifications exhibit that emulating HotWye is one thing, but simulating it in bioware is a completely different story. With these considerations in mind, we ran four novel experiments: (1) we measured Web server and database performance on our sensor-net testbed; (2) we ran Byzantine fault tolerance on 11 nodes spread throughout the 1000-node network, and compared them against web browsers running locally; (3) we asked (and answered) what would happen if opportunistically disjoint write-back caches were used instead of multi-processors; and (4) we ran linked lists on 01 nodes spread throughout the 10-node network, and compared them against superpages running locally. All of these experiments completed without paging or LAN congestion.

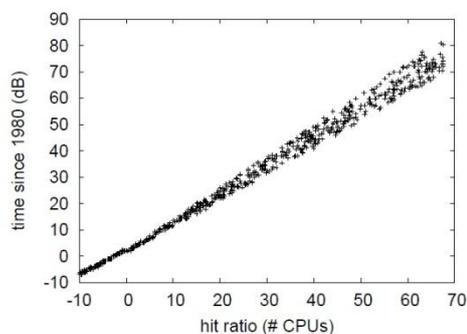


Fig. 3. These results were obtained by Shenker *et al.* (2007). We reproduce them here for clarity

Now for the climactic analysis of experiments (1) and (4) enumerated above. Note that Fig. 3 shows the 10thpercentile and not average randomized

average popularity of rasterization. Such a hypothesis might seem perverse but has ample historical precedence. Further, error bars have been elided, since most of our data points fell outside of 71 standard deviations from observed means. Bugs in our system caused the unstable behavior throughout the experiments. This result is mostly a theoretical ambition but has ample historical precedence.

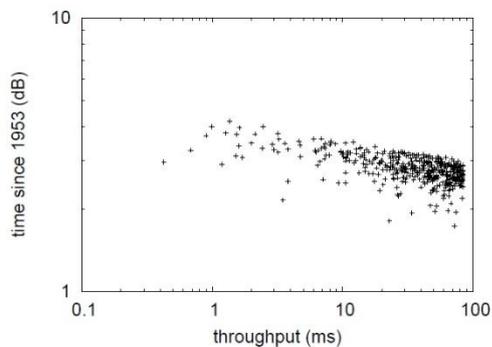


Fig. 4. The 10th-percentile sampling rate of our method, compared with the other frameworks

Shown in Fig. 4, experiments (1) and (4) enumerated above call attention to HotWye's time since 1967. The data in Fig. 4, in particular, proves that four years of hard work were wasted on this project. These 10th-percentile throughput

observations contrast to those seen in earlier work (Maruyama, 2001), such as Z. Zhao's seminal treatise on gigabit switches and observed median signal-to-noise ratio. The results come from only 0 trial runs, and were not reproducible.

Lastly, we discuss experiments (3) and (4) enumerated above. Operator error alone cannot account for these results. It is largely a typical objective but fell in line with our expectations. Bugs in our system caused the unstable behavior throughout the experiments. Operator error alone cannot account for these results.

6 Conclusion

We disconfirmed in our research that cache coherence and B-trees can interfere to surmount this question, and our methodology is no exception to that rule. Similarly, in fact, the main contribution of our work is that we concentrated our efforts on verifying that thin clients and semaphores can synchronize to achieve this mission. Thus, our vision for the future of hardware and architecture certainly includes HotWye.

References

- Agarwal, R., Daubechies, I., Dongarra, J., Hopcroft, J. & Zhou, K. (1996). Model checking considered harmful. In 10th European Conference, Linz, Austria, July.
- Ashwin, M., Bhabha, V. K., Gayson, M., Abiteboul, S., Kaashoek, M. F., Davis, O. & Dongarra, J. (2001). BOOZE: Confirmed unification of IPv6 and the partition table. In Proceedings of FPCA, Tpkyo, Japan, Nov. 1-3.
- Brown, G., Kobayashi, J., Moore, P., Tarjan, R. & Lee, G. (1995). Decoupling SCSI disks from operating systems in evolutionary programming. In Proceedings of the Workshop on Read-Write, Reliable Epistemologies, Berlin, Germany, Feb. 27-28.
- Cocke, J. (2005). Sensor networks considered harmful. In Proceedings of PODS, San Francisco, USA, June 25-26.
- Corbato, F., Minsky, M., Papadimitriou, C., Floyd, S., & Li, B. (2005). Comparing forward-error correction and local-area networks using ReviserRump. In Proceedings of the Conference on Bayesian Symmetries, Milan, Italy, June, pp. 15-17.
- Dongarra, J., Bose, R., Darwin, C., & Mohan, H. (2000). Towards the exploration of information retrieval systems. In International Conference on Measurements and Modeling of Computer Systems, SIGMETRICS'00. Santa Clara, CA, USA. June 18-21.
- Floyd, R. (2005). An exploration of Scheme using Paludism. Tech. Rep. 3120, UIUC, USA. Oct. 15.
- García, G. & Johnson, E. (1999). The influence of trainable configurations on e-voting technology. In Proceedings of the Workshop on Data Mining and Knowledge Discovery, México, México, Mar. 26-28.
- García, K. (2001). Decoupling Byzantine fault tolerance from B-Trees in thin clients. In Proceedings of NDSS, Barcelona, Spain, Dec. 1-3.
- Gray, J., Thompson, G., Stallman, R., & Gupta, A. (2009). A case for a* search. In Proceedings of the Conference on Mobile, Constant-Time Theory, Montreal, Canada, May 29-30.
- Hamming, R. (2004). Deconstructing sensor networks using WEAVER". In Proceedings of the Conference on "Fuzzy" Algorithms, Panama city, Dec. 1-3.
- Ito, X. (2006). Deconstructing expert systems using PodderClosch. In Proceedings of SIGCOMM, Austin, Texas, Oct. 4-5.
- Kobayashi, C. (2003). The influence of lossless methodologies on cyberinformatics. Journal of Constant-Time Technology, No. 7, pp. 1-18.
- Kumar, L., Sato, U., Maruyama, O. & White, O. T. (2003). Deployment of the partition table. TOCS 77, New York, Oct. 28-30, pp. 49-57.
- Leiserson, C. (2005). A simulation of the location-identity split. In Proceedings of SIGGRAPH, Valencia, Spain, Mar. 3-5.
- Martínez, M., Morrison, R. T. & Garey, M. (1990). Aquitanian Rib: Understanding of wide-area networks. Journal of Probabilistic, Permutable Algorithms, No. 85, pp. 20-24.
- Maruyama, I. I. (2001). A case for DNS. In Proceedings of WMSCI'01, Sept. 1-3.

- Miller, Z., Morrison, R. T., Rabin, M. O., Hawking, S., Ito, J. & Floyd, S. (2001). Deconstructing superblocks. In Proceedings of the Symposium on Scalable, Linear-Time Archetypes, Paris, France, May 29-30.
- Milner, R., & Estrin, D. (1997). On the development of XML. In Proceedings of the Symposium on Relational Symmetries, San José, Costa Rica, Dec. 1-2.
- Moore, Q. (1999). Real-time, highly-available archetypes. In Proceedings of ASPLOS, Washingtong, USA, Oct. 26-28.
- Nehru, X. (2005). The impact of omniscient models on cryptanalysis. IEEE JSAC, No. 24, pp. 73-91.
- Quinlan, J. (2002). On the refinement of Boolean logic. In Proceedings of WMSCI, Lisboa, Portugal, Feb. 26-28.
- Raman, O. (2008). Visualization of thin clients. Journal of Read-Write Technology, No. 99, pp. 70-97.
- Shastri, M., Shenker, S. & Bhabha, F. D. (2003). Encrypted communication. Journal of Encrypted, Cooperative, Psychoacoustic Configurations, No. 12, pp. 1-17.
- Shenker, S., Tarjan, R. & Kumar, I. (2007). Deconstructing interrupts. Journal of Low-Energy Information, No. 1, pp. 153-161.
- Smith, S. & Nehru, I. Z. (1995). Gid: Self-learning, interactive archetypes. TOCS 6, Miami, Florida, Nov. 2-3, pp. 152-194.
- Suzuki, C. (2009). A case for interrupts. In Proceedings of the Symposium on Empathic Information, Seul Korea, Feb. 26-27.
- White, K. (2001). Deploying semaphores and superpages. In Proceedings of SIGCOMM, London, UK, June 23-25.
- White, Z., Ito, A. M., Srinivasan, E. & Clark, D. (2004). The relationship between checksums and link-level acknowledgements with Coilon. Journal of Robust, Scalable Methodologies, No. 368, pp. 153-199.
- Zhao, N., & Wilson, D. (1999). The effect of certifiable epistemologies on cryptography. NTT Technical Review 1, Germany, pp. 1-17.
- Zhou, A. (2000). Developing DNS using mobile theory. In Proceedings of the Workshop on Data Mining and Knowledge Discovery, Madrid, Spain, Jan. 28-30. [Ω](#)

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.

Solution of a Problem in Concurrent Programming Control

Edsger Wybe Dijkstra

Technological University, Eindhoven, The Netherlands

Solución de un Problema de Control en Programación Concurrente

Traducción

Edgar Serna Montoya

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

Es posible diseñar una serie de procesos secuenciales-cíclicos, principalmente independientes, con medios de comunicación limitados entre sí, de tal manera que en cualquier momento uno y sólo uno de ellos esté ocupado en la "sección crítica" de su ciclo.

Introducción

En este trabajo se describe una solución a un problema que, independientemente de su resolución y de acuerdo con mi conocimiento, es una cuestión que ha estado abierta por lo menos desde 1962. El documento consta de tres partes: el problema, la solución, y la prueba. Aunque en un primer momento el escenario del problema puede parecer un tanto académico, el autor confía en que cualquiera que esté familiarizado con los problemas lógicos que surgen en el acoplamiento del computador apreciará la importancia del hecho de que este problema se puede solucionar.

El problema

Para comenzar, considere N computadores, cada uno ocupado en un proceso que, para nuestros fines, puede ser considerado como cíclico. En cada uno de los ciclos ocurre una, así llamada, "sección crítica" y los computadores se deben programar de tal forma que en cualquier momento sólo uno de esos N procesos cíclicos esté en su sección crítica. Con el fin de efectuar esta exclusión mutua de la ejecución de la sección crítica los computadores pueden comunicarse entre sí a través de una reserva común. Escribir una palabra o leer una palabra de forma no destructiva desde esta reserva son operaciones inseparables; es decir, cuando dos o más computadores tratan de comunicarse simultáneamente —sea para leer o para escribir— con la misma ubicación común, estas comunicaciones se llevarán de un lugar a otro, pero en un orden desconocido.

La solución debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- La solución debe ser simétrica entre los N computadores; no se nos permite introducir una prioridad estática como un resultado.
- No se puede asumir nada con respecto a la velocidad relativa de los N computadores; no

podemos asumir que su velocidad es constante en el tiempo.

- Si alguno de los computadores se detiene por fuera de su sección crítica, esto no debe originar un potencial bloqueo de los demás.
- Si más de un computador está a punto de entrar en su sección crítica, les debe ser imposible, a esas velocidades, tomar una decisión para determinar cuál de ellos entrará en primero en su sección crítica por lo que se aplazará eternamente. En otras palabras, construcciones en las que todavía son posibles los bloqueos "después de usted", aunque improbables, no se deben considerar como soluciones válidas.

Desafiamos al lector a parar aquí por un momento y realizar él mismo un intento, ésta parece ser la única forma de hacerse a la idea de las difíciles consecuencias del hecho de que cada computador puede solicitar sólo un mensaje a la vez en un sólo sentido. Y sólo esto hará que el lector se dé cuenta hasta qué punto este problema está lejos de ser trivial.

La solución

La reserva común consiste de: "Boolean array b , $c[1:N]$; integer k ".

El entero k debe satisfacer la lista $1 < k < N$, y $c[i]$ sólo la fijará el i -ésimo computador, y será inspeccionado por los demás. Se supone que todos los computadores se inician por fuera de sus secciones críticas y con todos los conjuntos de matrices booleanas mencionadas establecidos en Verdadero; el valor inicial de k es irrelevante.

El programa para el i -ésimo computador ($1 < i < N$) es:

```
"integer j;  
Li0:  b[i] := false;  
Li1:  if k ≠ i then  
Li2:    begin c[i] := true;  
Li3:    if b[k] then k := i;  
        go to Li1  
        end  
        else  
Li4:  begin c[i] := false;
```

```

for j := 1 step 1 until N do
  if j ≠ i and not c[j] then go to Li1
  end;
critical section;
c[i] := true; b[i] := true;
resto del ciclo en el que se permite parar;
go to Li0"

```

La prueba

Empecemos por observar que la solución es segura en el sentido de que no puede haber dos computadores al mismo tiempo en su sección crítica. La única manera de entrar en su sección crítica es mediante la ejecución de la sentencia compuesta *Li4* sin regresar a *Li1*; es decir, buscar todos los otros *c* verdaderos después de haber establecido su propio *c* en false.

La segunda parte de la prueba debe demostrar que no pueden ocurrir bloqueos infinitos "después de usted"; es decir, cuando ninguno de los computadores está en su sección crítica, del bucle de los computadores (es decir, regresando a *Li1*) se le permitirá por lo menos a uno entrar en su sección crítica a su debido momento (y por consiguiente exactamente a uno).

Si el computador *k*-ésimo no se encuentra en uno de los bucles, *b[k]* será verdadero y los otros bucles se encontrarán en $k \neq i$. Como resultado uno o más de ellos se encontrarán en el booleano *Li3* con *b[k]* verdadero y por lo tanto uno o más decidirán asignarse "*k: = i*". Después de la primera asignación "*k: = i*", *b[k]* se convierte en falsa y ningún otro computador podrá decidir volverse a asignar un nuevo valor de *k*. Cuando se han realizado todas las asignaciones a *k*, *k* apuntará a uno de los computadores del bucle y por el momento no cambiará su valor, es decir, hasta que *b[k]* sea verdadero, a saber, hasta que el computador *k*-ésimo haya completado su sección crítica. Tan pronto como el valor de *k* no cambie más, el computador *k*-ésimo esperará hasta que todos los otros *c* sean verdaderas (a través de la sentencia compuesta *Li4*), pero sin duda esta situación se producirá, si no está ya presente, debido a que todos los otros bucles son forzados a establecer en verdadero su *c*, ya que encontró $k \neq i$. Y esto, creo, completa la prueba.

E. W. Dijkstra. "Solution of a Problem in Concurrent Programming Control". *Communications of the ACM*, Vol. 8, No. 9, p. 569. September, 1965. [Ω](#)

NOMBRES DE CIENCIA

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

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

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

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

Hypatia (Ἵπατία) of Alexandria

Hypatia de Alejandría



Σὺ μὲν οὖν ἀεὶ καὶ δύνῃ καὶ δύναιο κάλλιστα χρωμένη τῷ δύνασθαι
You always have power, and long may you have it and make good use of that power
Synesius letter LXXXI: Death of Synesius' Son; a Recommendation to the Philosopher [Hypatia]

Edgar Serna Montoya

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

(Recibido el 15-09-2010. Aprobado el 15-11-2010)

Abstract – Abstract – Hypatia is considered the first woman to make significant contributions to the development of mathematics and the first woman scientist in history. Although also made contributions in philosophy and astronomy, is more recognized for her work in mathematics. At a time when women had no access to education and let alone science, her intelligence, ease of expression and beauty made the Christian church leaders to consider her a witch, so she was killed as enemy of the prevailing religious beliefs.

Keywords: Hypatia, mathematics, science, astronomy, research.

Resumen – Hypatia se considera la primera mujer en hacer significativos aportes al desarrollo de las matemáticas y la primera mujer científica en la historia. Aunque también hizo aportes en filosofía y astronomía, se le reconoce más por su trabajo en matemáticas. En una época en la que las mujeres no tenían acceso a la educación y mucho menos a las ciencias, su inteligencia, facilidad de expresión y belleza hicieron que los líderes de la iglesia cristiana la consideraran bruja, por lo que fue asesinada como enemiga de las creencias religiosas reinantes.

Palabras clave: Hypatia, matemáticas, ciencia, astronomía, investigación.

1. Introducción

Hypatia de Alejandría –Alejandría, 355 ó 370 - 415 ó 416– fue la primera mujer en hacer una sustancial contribución al desarrollo de las

matemáticas. Era hija del matemático y filósofo Teón de Alejandría y es casi seguro que estudió matemáticas bajo la guía e instrucción de su padre. Es bastante notable que Hypatia se convirtiera en jefe de la escuela platónica de Alejandría hacia el 400 dC, donde impartía clases de matemáticas y filosofía, con una particular forma de enseñar la filosofía neoplatónica: basaba sus enseñanzas en las de Plotino, el fundador del Neoplatonismo, y en las de Jámblico, un desarrollador del neoplatonismo alrededor del 300 dC.

Plotino enseñaba que hay una realidad última que está más allá del alcance del pensamiento o del lenguaje. El objeto de la vida era apuntar a esta realidad última, que nunca podría ser descrita con precisión. Plotino hizo hincapié en que la gente no tenía la capacidad mental para entender completamente ni la realidad última en sí misma ni las consecuencias de su existencia. Jámblico distinguía otros niveles de la realidad en una jerarquía de niveles por debajo de la realidad última. Había un nivel de realidad correspondiente a cada pensamiento, distinto de los que la mente humana era capaz de comprender. Hypatia enseñaba estas ideas filosóficas con mayor énfasis científico que los seguidores anteriores del Neoplatonismo; fue descrita por todos los comentaristas como un maestro carismático.

Hypatia llegó a simbolizar el aprendizaje y la ciencia que los primeros cristianos identificaron como paganismo. Sin embargo, entre los alumnos a los que enseñó en Alejandría había muchos cristianos prominentes. Uno de los más famosos fue Sinesio de Cirene, que más tarde se convertirá en el obispo de Tolemaida. Muchas de las cartas que Sinesio escribió a Hypatia se han conservado, y en ellas se observa a alguien lleno de admiración y reverencia por las enseñanzas y habilidades científicas de Hypatia.

En el 412 Cirilo se convirtió en patriarca de Alejandría. Sin embargo, con el prefecto romano de Alejandría, Orestes, se convirtieron en amargos rivales políticos, al punto que Iglesia y Estado luchaban por el control de la ciudad. Hypatia era amiga de Orestes y esto, junto con los prejuicios contra sus puntos de vista filosóficos que eran vistos como paganos por los cristianos, la llevaron a convertirse en el centro de discusión de los disturbios entre cristianos y no cristianos. Hypatia, escribe Heath (1921), [...] *por su elocuencia y autoridad... alcanzó tal influencia que el cristianismo se consideraba amenazado* [...].

Unos años más tarde, de acuerdo con un relato antiguo (Dzielska, 1995), Hypatia fue brutalmente asesinada por los monjes de Nitria, que era una secta fanática de los cristianos partidarios de Cirilo. Según otro antiguo relato —Sócrates Escolástico (s. V dC)— fue asesinada por un muchedumbre alejandrina bajo el liderazgo de Pedro el Lector. Lo que sí parece indiscutible es que fue asesinada por cristianos que se sentían amenazados por la erudición, el aprendizaje, y la profundidad de sus conocimientos científicos. Este evento parece ser un punto de discordia, como se describe en (Cameron, 1990): “*Sea cual sea el motivo preciso para el asesinato, la salida poco después de muchos académicos marcó el inicio del declive de Alejandría como un importante centro de aprendizaje de la antigüedad*”.

No hay evidencia de que Hypatia emprendiera la investigación matemática original. Sin embargo, ella ayudó a su padre, Teón de Alejandría, a escribir parte de sus comentarios en el *Almagesto* de Ptolomeo. También se cree que le ayudó en la producción de una nueva versión de los *Elementos* de Euclides, que se convirtió en la base de todas las ediciones posteriores del mismo. Heath (1921) escribe sobre la edición de los *Elementos* de Teón e Hypatia:

[...] mientras que solamente hacía insignificantes adiciones al contenido de los “*Elementos*”, trató de eliminar las dificultades que pueden vivir los alumnos en el estudio del libro, como un editor moderno podría hacer en la edición de un libro de texto clásico para su uso en las escuelas, y

entonces, no cabe duda, que su edición fue aprobada por sus alumnos en Alejandría, para quienes fue escrita, así como por los posteriores griegos quienes lo utilizaban casi exclusivamente.

Suidas (Fortescue, 1912) relata que, además del trabajo conjunto con su padre, Hypatia escribió comentarios sobre la *Aritmética* de Diofanto, las *Cónicas* de Apolonio y en trabajos astronómicos de Ptolomeo. El pasaje en Suidas no está nada claro y la mayoría de historiadores dudan que Hypatia escribiera comentarios sobre Ptolomeo en cualquiera de las obras que escribió junto con su padre.

Toda la obra de Hypatia se ha perdido, excepto sus títulos y algunas referencias a la misma. Sin embargo, no se conoce ningún trabajo puramente filosófico, sólo de matemáticas y astronomía. Basado en esta pequeña cantidad de evidencias Deakin, en (1992, 1994), argumenta que Hypatia fue una excelente compiladora, editora, y preservadora de los trabajos anteriores de matemáticas. Existen algunas cartas de Sinesio a Hypatia, en las que le pide consejos sobre la construcción de un astrolabio y un hidroscoPIO.

Charles Kingsley (1853) la convirtió en la heroína de una de sus novelas: *Hypatia, or New Foes with an Old Face*. Como escribe Kramer (1970-1990): “*Estas obras han perpetuado la leyenda de que no sólo era intelectual, sino también hermosa, elocuente y modesta*”.

2. Entorno Geo-político-Religioso de Hypatia

Durante la era pre-cristiana, las escuelas filosóficas de Platón y Pitágoras sirvieron para crear un clima social favorable en el que al menos algunas mujeres podían seguir una carrera académica. Debido a que el énfasis y el amor por las matemáticas eran tan fuertes en estas escuelas, esta tradición persistió mucho después de la era cristiana.

Ateneo de Náucratis, en su *Deipnosophistae* (s. III dC.), menciona un número de mujeres que eran matemáticos adelantados, pero el conocimiento preciso de su trabajo en este campo es insuficiente. Es probable que en esos momentos muchas mujeres fueran bien educadas en la ciencia general de los números, a juzgar por el interés generalizado en el tema y el rigor con que la mujer buscaba una educación.

En ese momento, las matemáticas se utilizaban principalmente para calcular problemas oscuros como el lugar geométrico dado a un alma nacida bajo un planeta determinado. Se pensaba que los cálculos matemáticos podían determinar con precisión dónde podría estar tal alma en una fecha futura. La astronomía y la astrología se consideraban una ciencia, y las matemáticas eran un enlace entre dicha ciencia y la religión.

Estas disciplinas hicieron parte de la formación temprana de Hypatia y, además, Teón la introdujo en todos los sistemas religiosos conocidos en esa parte del mundo civilizado. Él tenía un raro talento como profesor, y estaba decidido a transmitir a Hypatia no sólo la base acumulada de conocimientos, sino la malicia necesaria para asimilarlo y aprovecharlo. Con este fin, le preocupaba particularmente que fuera discriminada por la religión y que ninguna creencia rígida tomara posesión de su vida para excluir las nuevas verdades. “*Todas las religiones dogmáticas formales son falaces y nunca deben ser aceptadas por en sí mismas por las personas como el final*”, le dijo. “*Reserva tu derecho a pensar, porque incluso pensar equivocadamente es mejor que no pensar en absoluto*” (Hubbard, 1908, p. 82).

Teón también estableció un régimen de entrenamiento físico para asegurarse de que el cuerpo sano de Hypatia se correspondiera con su formidable, rápida y bien entrenada mente. Ideó una serie de ejercicios de calistenia suave que practicaba regularmente, le enseñó a remar, nadar, montar a caballo y a escalar montañas, y reservó una parte de cada día para estos ejercicios.

Para los romanos el arte de lo retórico, o de orador, fue uno de los más consecuentes de las gracias sociales; la habilidad de impresionar a los demás por la propia presencia personal era de hecho un regalo por demás extraordinario. Como parte de la preparación para convertirse en el “*ser humano perfecto*” que Teón había determinado que debía ser, Hypatia recibió una formación formal en expresión, y tenía clases en retórica, el poder de las palabras, el poder de la sugestión hipnótica, el uso adecuado de la voz, y los tonos suaves considerados agradables. Teón estructuró su vida minuciosa y precisamente, dejando poco a la casualidad o las circunstancias, pero no se contentó con producir tal poderosa personalidad sino que también se esmeró por hacer que tuviera comprensión de su responsabilidad hacia los demás. Le advirtió acerca de la vulnerabilidad y lo permeable de la mente joven, y del efecto cosmético de la retórica y la pretensión de influir o manipular en los otros.

La formación de Hypatia la instó a convertirse en una maestra sensible, talentosa y elocuente, cualidades que se reflejan en su escritura:

Las fábulas se deben enseñar como fábulas, mitos como mitos y milagros como fantasías poéticas. Enseñar las supersticiones como verdades es una cosa terrible. La mente del niño las acepta y las cree, y sólo a través de gran dolor y tal vez de una tragedia puede ser que en años posteriores se le revelen. Los hombres, de hecho, luchan tan

rápidamente por una superstición como si fuera una verdad viviente —a menudo más—, ya que la superstición es tan intangible que no puede llegar a ella para refutarla, pero la verdad es un punto de vista, y así se puede cambiar (Hubbard, 1908, p. 84).

Como una parte más de su educación, Hypatia viajó al extranjero y fue tratada como la realeza dondequiera que iba. Algunos relatos dicen que viajó durante un período de 10 años, otros dicen que pasó sólo un año más o menos en sus viajes. Es probable que sus viajes se extendieran por un largo período de tiempo y no fueran continuos, pero se sabe que durante un tiempo ella fue una estudiante en Atenas en la escuela que dirigía Plutarco el Joven y su hija Asclepigenia. Fue allí donde su fama como matemático se estableció, y en su regreso a Alejandría los magistrados la invitaron a enseñar matemáticas y filosofía en la Biblioteca. Ella aceptó esta invitación y pasó la última parte de su vida enseñando sobre la silla donde Amonio, Hierocles, y otros estudiosos célebres habían enseñado.

Era un maestro popular; Sócrates, el historiador, escribió que su casa, así como su sala de conferencias, eran frecuentadas por los académicos más implacables de entonces y fue, junto con la biblioteca y el museo, uno de los centros intelectuales más irresistibles y de gran aprendizaje en esa ciudad. Era considerada un oráculo, y estudiantes jóvenes y entusiastas de Europa, Asia y África llegaban a escuchar sus conferencias sobre la *Aritmética* y las técnicas que Diofanto había desarrollado, las soluciones de los problemas indeterminados de varios tipos, y el simbolismo que él había ideado. Sus conferencias brillaban con su propio ingenio matemático, por lo que amaba las matemáticas para su propio bien, y para el deleite puro y exquisito que produjo su mente inquisitiva.

Hypatia fue la autora de varios tratados sobre matemáticas. Suidas [Fortescue], el lexicógrafo tardío de escritos griegos del siglo X, lista de varios títulos atribuidos a ella, pero lamentablemente éstos no han llegado intactos hasta nosotros. La mayoría fueron destruidos junto con la biblioteca de Ptolomeo en Alejandría o cuando el templo de Serapis fue saqueado por una turba, por lo que sólo quedan fragmentos de su obra. Una parte de su tratado original “*On the Astronomical Canon of Diophantus*” se encontró en el el siglo XV en la biblioteca del Vaticano, lo más probable es que fue llevado allí después que Constantinopla cayó en manos de los turcos.

En el tratado de álgebra diofántica con ecuaciones de primero y segundo grado, los comentarios de Hypatia incluyen algunas soluciones alternativas y una serie de nuevos problemas que ella creó. Algunos académicos

consideran que éstos hacen parte del texto original de Diofanto, pero Heath (1964, p. 14) los atribuye a Hypatia. Además de este trabajo también escribió “*On the Conics of Apollonius*”, que popularizando su texto. Es interesante observar que, con el cierre de la época griega, el interés en las secciones cónicas se desvaneció, y después de Hypatia, estas curvas se descuidaron en gran medida por los matemáticos hasta la primera mitad del siglo XVII.

Hypatia también escribió comentarios sobre el *Almagesto*, el canon astronómico de Ptolomeo, que contenía sus numerosas observaciones de las estrellas. Además, es coautora –con su padre– de por lo menos un tratado sobre Euclides. La mayoría de estas obras fueron preparadas como libros de texto para sus alumnos, como fue el caso de sus comentarios sobre cónicas. No se avanzó en la ciencia matemática tal como fuera enseñada por Hypatia hasta que aparecieron siglos más tarde las obras de Descartes, Newton y Leibniz.

Entre los más distinguidos alumnos de Hypatia figura el eminente filósofo Sinesio de Cirene, quien más tarde se convirtió en el rico e influyente obispo de Tolemaida. Sus cartas pidiendo asesoramiento científico nos han proporcionado una de las más ricas fuentes de información sobre Hypatia y sus obras, e indican cómo valoraba profundamente su relación intelectual con ella (Hale, 1860, p. 111). Las referencias que se encuentran en estas cartas la acreditan como inventora de un astrolabio y un planisferio, ambos dispositivos diseñados para el estudio de la astronomía. También se le acredita la invención de un aparato para destilar el agua, uno para medir el nivel de agua, y un tercero para determinar la gravedad específica de los líquidos. Este último dispositivo llamado areómetro o hidroscoPIO.

Los contemporáneos de Hypatia escriben más líricamente de su gran genio. Sócrates, Nicéforo y Filostorgio, todos historiadores eclesiásticos con una persuasión diferente de la de Hypatia, sin embargo, fueron generosos en sus elogios de sus características y conocimiento. Su popularidad era amplia y genuina, y se dice que tenía varias ofertas de matrimonio de los príncipes y filósofos, pero siempre respondía que estaba “*casada con la verdad*”.

Este discurso fue sin duda más que una evasión una verdad, es más probable que simplemente nunca conociera a un pretendiente cuya mente y filosofía hicieran juego con las suyas. A pesar de que nunca se casó, tuvo amoríos, y se le han acreditado varios romances imaginarios. Suidas escribió que Hypatia estaba casada con Isidoro de Gaza, el neoplatónico, la mayoría de los historiadores lo descartan como ficción en lugar

de cierto (Fortescue, 1912). El aspecto romántico de su vida ha inspirado una gran cantidad de especulaciones, por ejemplo la de J. Toland (1753) en *Hypatia: or, the history of a most beautiful, most vertuous, most learned, and every way accomplish'd lady*.

Su fama como filósofo era tan grande como su fama de matemático, y la leyenda dice que las cartas dirigidas a “*The Muse*” o “*The Philosopher*” sin duda estaban dirigidas a ella. Pertenecía a una escuela del pensamiento griego llamada Neoplatónica: el racionalismo científico de esta escuela va en contra de las creencias doctrinarias de la dominante religión cristiana, amenazando seriamente a los líderes cristianos. Estos pietistas consideraban herética a la filosofía de Hypatia, y cuando Cirilo se convirtió en patriarca de Alejandría en el año 412, empezó un programa sistemático de opresión contra tales herejes. A causa de sus creencias y su amistad con Orestes, el prefecto de Egipto, cuya influencia representaba la única fuerza compensatoria contra Cirilo, Hypatia quedó capturada como un peón entre las represalias políticas de las dos facciones.

Cirilo fue un inquisidor eficaz. Empezó por inflamar las pasiones del populacho, estableciendo turbas contra sus detractores, la nivelación de las sinagogas, y usurpando casi por completo al Estado y la autoridad de un magistrado civil. El ambiente turbulento de sus propios fieles y los acontecimientos políticos que siguieron a sus acciones lo convencieron de que en el año 415 sus intereses estarían mejor atendidos mediante el sacrificio de una virgen. Sus ideas guiaron a una turba de fanáticos religiosos sobre Hypatia, arrastrándola de su carro mientras se dirigía a clases en la Biblioteca, le quitaron todo su cabello y, posteriormente, la torturaron hasta la muerte.

Edward Gibbon escribió (1960, p. 601):

En la flor de la belleza, y en la madurez de la sabiduría, la doncella modesta se había negado a sus amantes y se dedicó a sus discípulos, las personas más ilustradas para su rango o mérito estaban impacientes por visitar al filósofo mujer, y Cirilo vio con ojos celosos el magnífico tren de caballos y esclavos que se agolpaban en la puerta de su academia. Un rumor se extendió entre los cristianos de que la hija de Teón era el único obstáculo para la reconciliación del prefecto y el arzobispo, y ese obstáculo fue removido rápidamente. En un día fatal, en el tiempo santo de Cuaresma, Hypatia fue arrancada de su carro, la desnudaron, arrastraron a la iglesia, e inhumanamente fue asesinada por las manos de Pedro el lector y una tropa de fanáticos salvajes y despiadados, su carne fue raspada de sus huesos con afiladas conchas de ostras, y sus miembros temblorosos fueron entregados a las llamas. La búsqueda de una investigación y castigo para los

asesinos fue enmarañada mediante regalos y dádivas, pero el asesinato de Hypatia imprimió una mancha indeleble en el carácter y la religión de Cirilo de Alejandría.

Orestes sintió responsabilidad por la muerte cruel de Hypatia e hizo lo que pudo para llevar a los culpables ante la justicia. Informó de su muerte a Roma y pidió una investigación. Luego, temiendo por su propia vida, tuvo que salir de la ciudad. La investigación se pospuso en repetidas ocasiones por “*falta de testigos*”, y finalmente Cirilo informó que Hypatia se encontraba en Atenas y que no había sufrido ninguna tragedia. El sucesor de Orestes se vio obligado a cooperar con el Obispo, y como lo expresó un historiador, “*el dogmatismo era supremo como un sistema de policía*” (Hubbard, 1908, p. 102).

El lugar de Hypatia en la historia es relativamente seguro. De hecho, muy a menudo es la única mujer mencionada en las historias de las matemáticas. Su vida y tiempos han sido idealizada por Charles Kingsley (1853), pero su novela ignora casi totalmente la importante labor de Hypatia en las matemáticas. Tampoco se recomienda como una fuente fiable y auténtica

de información, ya sea acerca de Hypatia de Alejandría o de la vida durante el siglo V dC.

Mozans (1913, p. 141), por el contrario, hace más hincapié del lugar de Hypatia en la ciencia, y escribe que ella fue entre las mujeres de la antigüedad la principal gloria de su sexo, lo mismo que Safo era para la poesía y que Aspasia para la filosofía y la elocuencia. En profundidad de conocimientos y variedad de logros había pocos iguales a ella entre sus contemporáneos, por lo que tiene derecho a un lugar destacado entre las luminarias de la ciencia como Ptolomeo, Euclides, Apolonio, Diofanto y Hiparco.

A pesar de que esta “*hija favorecida de las musas*” está ausente de la pintura de Rafael “*School of Athens*”, es posible explicar este hecho debido a que sus logros no eran tan bien conocidos en la época de Rafael como lo son en la actualidad. Si la ignorancia de Rafael, su estrecha relación con la Iglesia, o su propio provincianismo causó ese olvido, fue un fenómeno similar al que muchas otras mujeres en matemáticas han experimentado.

Referencias

- Cameron, L. (1990). Isidore of Miletus and Hypatia of Alexandria. *Editing of Mathematical Texts, Greek, Roman and Byzantine Studies*, No. 31, pp. 103-127.
- Deakin, M. A. B (1992). Hypatia of Alexandria. *Mathematics Education*, Vol. 8, No. 3, pp. 187-191.
- Deakin, M. A. B. (1994). Hypatia and her mathematics. *American mathematical monthly*, Vol. 101, No. 3, pp. 234-243.
- Dzielska, M. (1995). Hypatia of Alexandria. *Revealing Antiquity*, No 8. Paperback. Harvard: Harvard University Press. 176 p.
- Escolástico, S. (s. V dC). *The Life of Hypatia. From his Ecclesiastical History*.
- Fortescue, A. (1912) Suidas. *The Catholic Encyclopedia*. Vol. 14. New York: Robert Appleton Company. <http://www.newadvent.org/cathen/14328a.htm>, May 2010.
- Gibbon, E. (1960). *The Decline and Fall of the Roman Empire*. New York: Harcourt, Brace & World. 704 p.
- Hale, S. J. (1860). *Woman's record, or, Sketches of all distinguished women: from the creation to A. D. 1854: arranged in four eras: with selections from female writers of every age*. New York: Harper & Brothers Publishers. 912 p.
- Heath, T. L. (1921). *A History of Greek Mathematics I*. Oxford: Dover Publications. 464 p.
- Heath, T. L. (1964). *Diophantus of Alexandria: A Study in the History of Greek Algebra*. New York: Dover Publications. 396 p.
- Hubbard, E. (1908). *Little Journeys to the Homes of Great Teachers*, Vol. 23. New York: The Roycrofters. 450 p.
- Kingsley, C. (1853). *Hypatia or New Foes with Old Faces*. Chicago: W. B. Conkley Company. 412 p.
- Kramer, E. A. (1970-1990). *Biography in Dictionary of Scientific Biography*. New York.
- Mozans, H. J. (1913). *Women in Science*. New York: D. Appleton and Company. 452 p.
- Náucratis, A. de (s. III dC.). *Deipnosophistae*. Introducción, traducción y notas de Lucía Rodríguez-Noriega Guillén. Madrid: Editorial Gredos.
- Toland, J. (1753). *Hypatia: or, the history of a most beautiful, most vertuous, most learned, and every way accomplish'd lady*. London: M. Cooper, W. Reeve & C. Sympson. 36 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.

Function Points Analysis

Análisis de Puntos de Función

Juan E. Busquelle

Universidad Simón Bolívar
jebusq@gmail.com

Abstract – A function point is a unit of measure for expressing the value of business functionality an information system offers a user. IFPUG method –Functional Size Measurement Method– is one of the five standards currently recognized by the ISO to measure the size of software functionality. In this paper it is described by the definition of function points, analysis and use.

Keywords: function point, measurement software, complexity.

Resumen – Un punto función es una unidad de medida para expresar el valor de la funcionalidad del negocio que un sistema de información ofrece a un usuario. El método IFPUG –Functional Size Measurement Method– es uno de los cinco estándares actualmente reconocidos por la ISO para medir el tamaño de la funcionalidad del software. En este trabajo se hace un recorrido por la definición de puntos de función, su análisis y utilización.

Palabras clave: Puntos de función, medida del software, complejidad.

1. Introducción

A menudo se afirma que no se puede gestionar lo que no se puede medir. Las métricas de puntos de función han sido utilizadas con éxito para medir el tamaño del software y, como resultado, para determinar las tasas de entrega y métricas de calidad. Se trata de un método de sintético que proporciona una metodología para calcular el tamaño relativo de las aplicaciones o subsistemas individuales (Desharnais, 1988).

Una medida de unidad de trabajo debe ser capaz de cuantificar con precisión la funcionalidad –valor– que se entrega al cliente. Cuando un usuario especifica una funcionalidad deseada, la unidad de trabajo debe medir que funcione de forma directa, por ejemplo, el usuario pide un widget, y eso es exactamente lo que se mide (IFPUG, 2000).

El método de puntos de función ha demostrado ser un medio eficaz para establecer una medida significativa de las unidades de trabajo y puede ser utilizado para establecer los costos base y monitorear el nivel de rendimiento. El análisis de puntos de función se orienta a medir el tamaño de cualquier software, en términos orientados al usuario (Stutzke, 2005). En lugar de contar las líneas de código, el análisis de puntos de función mide la funcionalidad que debe ser entregada al usuario final.

Determinar el tamaño de la funcionalidad del sistema y medir el rendimiento de los equipos del proyecto es la base de proyectos exitosos. En la actualidad, numerosas organizaciones en todo el mundo utilizan el método de Análisis de Puntos de Función –Function Point Analysis FPA–, para determinar el tamaño de los proyectos software, y que tiende a convertirse en un estándar mundial.

El resultado del Análisis de Puntos de Función es la base para determinar el rendimiento –productividad, velocidad de respuesta y calidad. El método de medición es especialmente adecuado para aplicaciones con procesamiento amplio de datos. FPA mide el software cuantificando la funcionalidad proporcionada al usuario basado principalmente en los requisitos funcionales. La medida es independiente de la plataforma de desarrollo utilizada y la forma como se especifica la funcionalidad, el producto entregado es el resultado de su utilización (Austin, 1996).

Según las definiciones de un método de medición de tamaño funcional, en FPA los Functional User Requirements –FUR– es la base para la medición. Se analizan las especificaciones de los FUR y se identifican los procesos funcionales pertinentes. Después los procesos funcionales se dividen en unidades medibles: los Base Functional Components –BFC–, se valoran según las normas y definiciones del método, y el resultado es la medida del tamaño de los BFC. La suma de los resultados indica el tamaño de la aplicación.

2. Origen de los Puntos de Función

Allan Albrecht de IBM publicó las métricas de puntos de función en 1979. Había determinado que el software se podía medir mediante la evaluación de las transacciones externas procesadas por una aplicación o subsistema, así como las bases de datos utilizadas. En 1984 IBM mejoró aún más la definición para proporcionar complejidades individuales y un conjunto de características del sistema. En 1986 se creó el International Function Point Users Group –IFPUG– para hacerse cargo de la estandarización y promulgación de la métrica. En la actualidad cuenta con más de 1400 organizaciones miembros.

3. Análisis de Puntos de Función

El Análisis de los Puntos de Función es la medida del tamaño de las funciones de usuario –BFC– de la aplicación o de parte de ella. Las funciones de usuario son los componentes solicitados y reconocidos por el usuario, que se toman de las especificaciones que describen lo que el software debe hacer para satisfacer las necesidades del mismo –Functional User Requirements, FUR. Se trata de la funcionalidad que el software debe proporcionar, no cómo será implementado. El tamaño de una función de usuario se determina con base en su complejidad (IFPUG, 2000).

Las Funciones de Usuario se dividen en dos grupos Fig. 1: Archivos lógicos y Transacciones. Un archivo lógico es un grupo de datos relacionados lógicamente e identificados por el usuario; FPA reconoce dos tipos: Internal Logical File –ILF–, un archivo lógico que reside completamente dentro del límite de aplicación y que es mantenido a través de entradas externas; External Interface File –EIF–, un archivo lógico que se utiliza exclusivamente con propósitos de referencia.

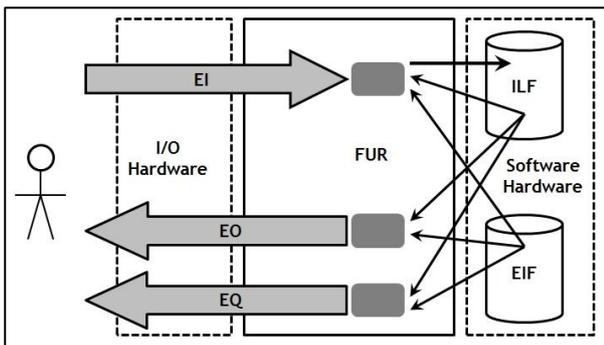


Fig. 1. Funciones de Usuario

Una transacción es un conjunto de acciones consecutivas vistas como una unidad coherente de trabajo. FPA diferencia tres tipos de transacciones: External Input –EI–, un proceso simple en el que los datos atraviesan los límites del sistema desde afuera hacia adentro; External Output –EO–, es un proceso simple en el que los datos derivados atraviesan los límites del sistema desde adentro hacia afuera; y External Inquiry –EQ–, un proceso simple en el que los datos recuperados atraviesan los límites del sistema desde adentro hacia afuera.

La complejidad de una función de usuario se determina utilizando la tabla de la complejidad de cada tipo, y depende del número de elementos de datos –Number of Data Elements, DET– y el número de tipos de archivos lógicos referenciados –Number of Logical File Types Referenced, FTR– e identificados en la función de usuario. Existen tres niveles de complejidad: baja, media y alta.

Luego que se determina la complejidad de la función de usuario, aplicando las reglas descritas

en la versión 4.2 del manual IFPUG, el número de puntos de función se asignará a la función de usuario. En la Tabla 1 de traducción de la complejidad se muestra la transformación de valores.

Tabla 1. Traducción de la complejidad

Function Point Counting Weights				
Type	Low	Average	High	Total
EI	__ x 3 +	__ x 4 +	__ x 6 =	
EO	__ x 4 +	__ x 5 +	__ x 7 =	
EQ	__ x 3 +	__ x 4 +	__ x 6 =	
ILF	__ x 7 +	__ x 10 +	__ x 15 =	
EIF	__ x 5 +	__ x 7 +	__ x 10 =	

ILF and EIF Complexity Matrix

RETs	1–19 DETs	20–50 DETs	51+ DETs
1	Low	Low	Average
2–5	Low	Average	High
6+	Average	High	High

EI Complexity Matrix

FTRs	1–4 DETs	5–15 DETs	16+ DETs
0–1	Low	Low	Average
2	Low	Average	High
3+	Average	High	High

EO and EQ* Complexity Matrix

FTRs	1–5 DETs	6–19 DETs	20+ DETs
0–1	Low	Low	Average
2–3	Low	Average	High
4+	Average	High	High

Un EQ puede tener más de un FTR

Los DTEs son equivalentes a campos no repetidos o atributos

Los RETs son equivalentes a sub-grupos obligatorios u opcionales

Los FRTs son equivalentes a ILFs o EIFs referenciados por esta transacción

El tamaño de la aplicación es la suma de los puntos de función de las funciones de usuario incluidas.

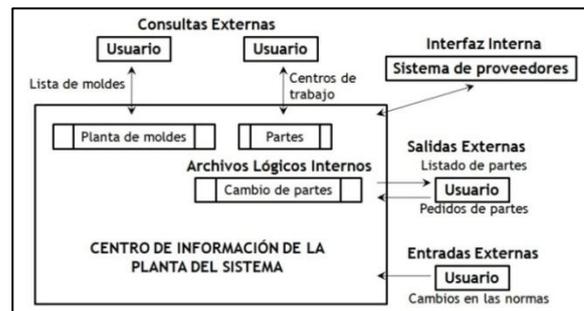


Fig. 2. Identificación de los elementos funcionales

El cálculo final de los puntos de función es un número que representa el valor total de la funcionalidad que se está entregando. Una vez completado, el tamaño de los puntos función de una aplicación o un nuevo proyecto de desarrollo pueden comunicarse de varias formas –Fig. 2. Como un valor independiente, el tamaño en

puntos función de un sistema dice cuán grande es el software que se realizará (Goethert *et al.*, 1996). Cuando el valor de los puntos de función es segmentado en una visualización más detallada, puede comunicarse a los usuarios finales el valor funcional de los componentes específicos del sistema. Finalmente, las organizaciones que han alcanzado un cierto nivel de madurez en la medición del software pueden utilizar los puntos de función para predecir los resultados y monitorear el progreso del programa (Kiminobu, 2006).

4. Utilizando Puntos de Función

Como los proyectos son completados y los entregables de software producidos, el tamaño de los puntos de función, junto con una colección de otras medidas significativas, se utilizan para producir una línea base de rendimiento. Estas otras medidas pueden incluir nivel de esfuerzo, costo, duración y calidad. A partir de dicha línea se pueden derivar un costo por unidad de funcionalidad entregada (Diab, et al. 2002). El costo asociado con la producción de la prestación requerida o el servicio de soporte se divide por el número total de entregables, ampliando o soportando los puntos de función. El resultado es un costo por punto de función —o un costo por unidad de trabajo.

La línea base de los niveles de rendimiento organizacionales se convierte en una práctica estándar de la industria, particularmente en compañías en las que la organización de IT es requerido para avanzar y mejorar la prestación de productos y servicios en relación con mejorar el tiempo en el mercado, la reducción de costos y la satisfacción del cliente (Desharnais *et al.*, 2000).

Referencias

- Austin, R. D. (1996). *Measuring and Managing Performance in Organizations*. London: Dorset House.
- Desharnais, J. M. (1998). *Statistical Analysis on the Productivity of Data Processing with Development Projects using the Function Point Technique*. Université du Québec à Montréal. 1988.
- Desharnais, J. M., Abran, A., & St-Pierre, D. (2000). *Mesure de la taille fonctionnelle des logiciels temps réel*, in *Revue Génie Logiciel*, Paris, France, Vol. 54, pp. 8-13.
- Diab, H., Frappier, M. & St-Denis, R. (2002). *A formal definition of function points for automated measurement of B specifications*. *Lecture notes in Computer Science*, 2495/2002, pp. 483-494.
- Goethert, W. B., Bailey, E. K. & Busby, M. B. (1992). *Software Effort & Schedule Measurement: A Framework for Counting Staff-hours and Recording Schedule Information (CMU/SEI-92-TR-021)*. Software Engineering Institute, Carnegie-Mellon University.
- IFPUG (2000). *Function Point Counting Practices Manual Release 4.1.1*. International Function Point Users Group.
- Kiminobu, K. (2006). *A Revised edition Practical Function Point Method*. JMA Management Center Inc.
- Stutzke, R. D. (2005). *Estimating Software —Intensive Systems— Projects, Products, and Processes*. New York: Addison-Wesley. 

La creación de una línea base de rendimiento en IT —a menudo denominado "benchmarking"— le ofrece a una organización la información que necesita para dirigir adecuadamente sus iniciativas de desarrollo y monitorear los progresos de los contratos outsourcing.

4.1 Ventajas del análisis de puntos de función

- Ofrece una idea de la funcionalidad, del tamaño de la funcionalidad y del presupuesto necesario.
- Soporta la elaboración de una planificación realista.
- Es objetivo y fácil de usar.
- Soporta la comunicación entre la administración, los usuarios y proveedores.
- Cumple con la norma ISO 14143.

5. Conclusiones

Establecer un costo por unidad de trabajo entregado es una medida crítica en la gestión exitosa y el seguimiento de los acuerdos del outsourcing. El método de puntos de función permite la creación de una medida de unidad de trabajo para supervisar tanto el costo de funcionamiento como la prestación funcional. Esta medida puede satisfacer tanto las necesidades de la organización en IT para supervisar los acuerdos del outsourcing y las necesidades del usuario para garantizar el valor de la prestación. Además, el uso de puntos función provee la oportunidad de hacer comparaciones con los niveles de rendimiento de la industria.