

ELECTROMAGNETIC MODELING OF ELECTRIC RAILWAY SYSTEMS TO STUDY ITS COMPATIBILITY

MODELAMIENTO ELECTROMAGNÉTICO DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS FERROVIARIOS PARA ESTUDIAR SU COMPATIBILIDAD

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

The Elect group, UK.
electgroup@london.com

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

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

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

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

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

INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

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

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

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

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

TRABAJO RELACIONADO

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

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

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

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

METODOLOGÍA

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

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

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

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

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

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

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

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

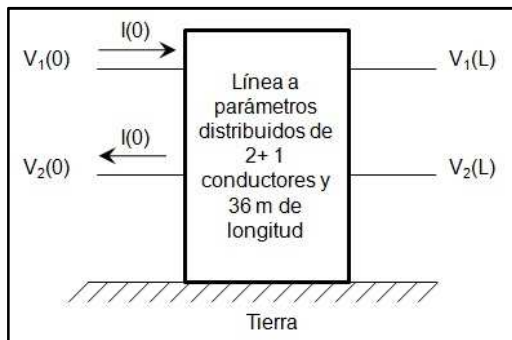


Figura 1. Circuito de parámetros distribuidos de los rieles

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

Se definen:

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

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

En la que:

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

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

Aplicando la teoría de las líneas:

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

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

Con la igualdad trigonométrica:

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

Se resuelve respecto a α y β :

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

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

Ahora los parámetros eléctricos:

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

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

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

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

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

RESULTADOS

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

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

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

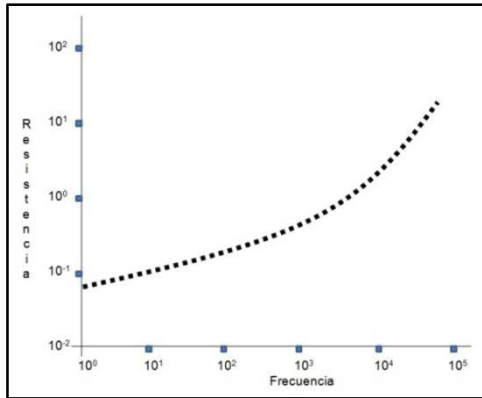


Figura 2. Frecuencia vs. Resistencia

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

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

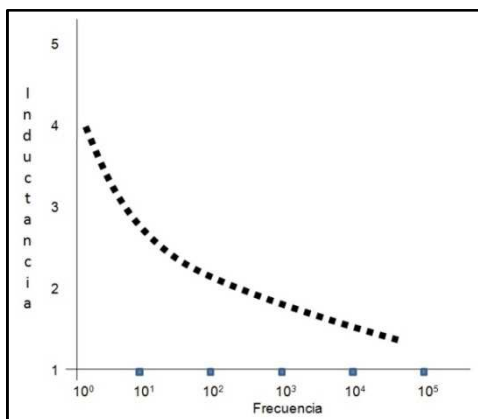


Figura 3. Frecuencia vs. Inductancia

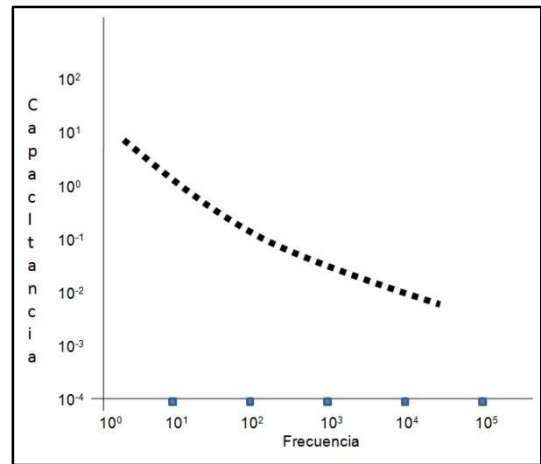


Figura 4. Frecuencia vs. Capacitancia

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

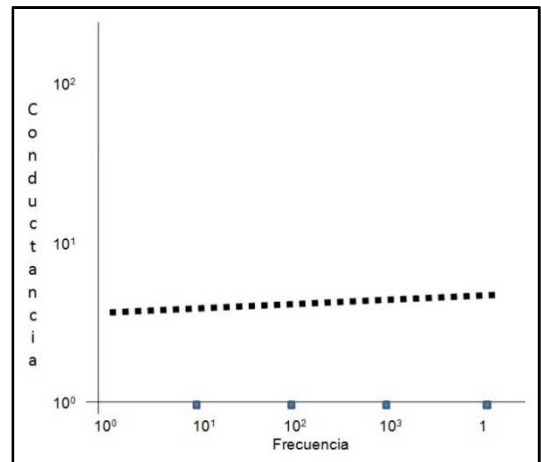


Figura 5. Frecuencia vs. Conductancia

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

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

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

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

CONCLUSIONES

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

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

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

REFERENCIAS

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

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

Ω

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

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

Ana María Saravia G., Luisa Fernanda Amorim

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

gruposoca@latinmail.com

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

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

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

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

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

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la ingeniería en las relaciones políticas, comerciales y culturales

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

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

El presente trabajo es fruto del desarrollo de una investigación bibliográfica, y su objetivo es realizar un análisis de la influencia que la ingeniería tuvo en el desarrollo del comercio desde la Antigüedad hasta comienzos del siglo XX. En él se analiza la historia del comercio y el impacto que para su desarrollo tuvo cada aporte ingenieril en cada momento de la historia.

LOS ÁRABES

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

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

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

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

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

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

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

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

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

BIZANCIO

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

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

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

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

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

EL IMPERIO DE CARLO MAGNO

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

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

EL FEUDALISMO

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

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

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

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

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

LAS REPÚBLICAS ITALIANAS

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

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

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

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

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

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

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

LA CONFEDERACIÓN CATALANA-ARAGONESA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

CASTILLA Y PORTUGAL

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

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

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

LAS CIUDADES HANSEÁTICAS

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

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

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

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

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

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

LAS CRUZADAS

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

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

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

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

GRANDES VIAJES HASTA EL SIGLO XV

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

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

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

LOS GRANDES DESCUBRIMIENTOS

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

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

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

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

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

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

Antecedentes tecnológicos

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

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

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

DISCUSIÓN DE CIERRE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

REFERENCIAS

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

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

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

Ω

ENGINEERING IN THE TECHNOLOGY ERA: A political profession

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

María Alejandra Buendía A., Antonio Bejarano P.

Sociedad del conocimiento, UE, España.

maleja@elitists.com

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

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

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

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

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

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

INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

LA MODERNIDAD INDUSTRIAL

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

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

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

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

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

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

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

LA PROFESIÓN ESTÁ CAUTIVA

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

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

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

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

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

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

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

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

EL PODER DE LA PRÁCTICA

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

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

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

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

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

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

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

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

POLÍTICA DEL INGENIERO

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

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

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

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

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

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

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

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

LA TRANSFORMACIÓN DE LA PROFESIÓN

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

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

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

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

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

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

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

operadores humanos en absoluto (Schein, 1999).

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

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

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

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