

Cibernética: Fundamentos y evolución

Eduardo Zurek Varela* , Sonia Vadala Barake** ,
con la colaboración de Carlos Flórez*** y Felipe de la Cruz****

Resumen

Este artículo pretende ofrecer una breve reseña sobre los orígenes de la cibernética, así como de la Teoría de la Información, recorriendo la evolución de los sistemas automáticos de control y, finalmente, presentando las ideas propuestas hace cincuenta años por Wiener y Shannon como nuevas áreas del conocimiento.

Palabras claves: Cibernética, retroalimentación, teoría de la información, control automático.

Abstract

This article tries to offer a brief summary about the origins of cybernetics and Information Theory, beginning with the evolution of Automatic Control Systems and, finally, showing the ideas proposed fifty years ago by Wiener and Shannon as new areas of knowledge.

Key words: Cybernetics, feedback, information theory, automatic control.

Fecha de recepción: marzo de 2000

INTRODUCCIÓN

La palabra «cibernética», extensamente utilizada en el ámbito informático y difundida por los medios de comunicación relacionada con robots de ciencia ficción, proviene del griego *Kybernetos*, que significa 'timonel', pero fue en 1948 que Norbert Wiener la definió como «la ciencia de las comunicaciones y el control en los animales y las máquinas»¹. En la actual-

* Ingeniero de Sistemas, Universidad del Norte; profesor del Departamento de Ingeniería de Sistemas; miembro del Grupo de Investigación del Laboratorio de Automatización y Robótica y del Grupo de Investigación de Sistemas de Manufactura. (e-mail: ezurek@guayacan.uninorte.edu.co).

** Ingeniera Eléctrica, Universidad de los Andes; profesora del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad del Norte y miembro del Grupo de Investigación del Laboratorio de Automatización y Robótica y del Grupo de Investigación de Sistemas de Potencia. (e-mail: svadala@guayacan.uninorte.edu.co).

*** Estudiante del Programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Norte.

**** Estudiante del Programa de Ingeniería Industrial de la Universidad del Norte.

¹ WIENER, Norbert. *Cibernética. Guardiania de Publicaciones*. Madrid, Ediciones Castilla, 1960, p. 41.

lidad, la cibernética, más allá de ser una ciencia, se ha constituido en un campo de reflexión interdisciplinario que aporta criterios a distintas áreas de la tecnología. Influye, en general, en todas las técnicas que reproducen, en su apariencia, comportamientos humanos. Considerando esta afirmación, se hace casi indispensable un conocimiento, si no profundo, al menos fundamental, de las ideas relacionadas con este tema.

Y LAS COSAS FUNCIONARON SOLAS ...

En el contexto de la cibernética ha existido un área de aplicación que tuvo un nacimiento puramente empírico: el control automático.

Los intentos del ser humano por desarrollar mecanismos que lo imiten o sustituyan en tareas difíciles o repetitivas lo han llevado al desarrollo de mecanismos como: controles de nivel con flotador, relojes de agua, reguladores de presión, y más recientemente, sofisticados sistemas de control automático para la industria y el hogar.

Los sistemas de control surgieron gracias a la necesidad que tuvo el hombre primitivo de satisfacer sus necesidades primarias. Es así como se valió de muchas trampas dotadas con mecanismos especiales de disparo, pudiendo decir de éstas, casi con certeza, que fueron el primer aparato automático de nuestra historia. Una de estas trampas fue la que utilizaron los escandinavos para cazar renos; en ésta, el animal rom-

pía un hilo con su pecho y automáticamente hacía que de un árbol, el cual estaba flexionado, saliera disparada una lanza.

El problema de la medición del tiempo fue un incentivo para el desarrollo de artefactos automáticos de control de flujo. Y es así como primero se intentó con mecanismos que tenían como principio básico el flujo continuo de agua hacia un recipiente al cual previamente se le habían hecho una serie de marcas que servían como referencia. Este mismo mecanismo fue complementado posteriormente con otros que tenían como función provocar ruido en un lapso determinado de tiempo. La medición del tiempo siguió ocupando la mente de los inventores, y después del agua utilizaron pesas que hacían girar engranajes, los cuales movían, a su vez, unas agujas con las cuales se podía tener noción del tiempo.

Dentro del campo de los sistemas de control con retroalimentación, se considera el del control de nivel de un líquido como el pionero. Este fue inventado por Hero, quien vivió para la época del imperio de Alejandría. Este mecanismo cumplía su función controlando la válvula de entrada (o salida) de un líquido; sistema éste que aún se usa en muchas aplicaciones. Más tarde, con el advenimiento de la era industrial, fue necesario buscar solución a situaciones nuevas que la industria naciente ofrecía. Uno de los nuevos retos, la regulación de temperatura, fue resuelto en 1610 por Cornelius Drebbel (1572-1634),

quien diseñó dos versiones de un regulador de temperatura: una para un horno de experimentos químicos y otra para una incubadora de huevos. Esta solución se valía de los cambios que la temperatura ocasiona en las dimensiones de varillas de distintos metales para hacer abrir o cerrar los conductos de tiro de un horno. Otro de los sistemas de control de gran trascendencia fue el de regulación de presión del doctor francés Dennis Pappin (1647-1714), dado a conocer en 1681. Este mecanismo consistía de una barra con un pivote que estaba unida en un extremo a un válvula que regulaba la salida de vapor de una caldera; cuando la fuerza producida por la presión del vapor alcanzaba cierto magnitud, la barra pivotaba y la válvula se abría dejando salir el exceso de presión. Tiempo después, en 1769, James Watt (1736-1819) implementó un mecanismo que permitía controlar la velocidad en máquinas de vapor. El sistema consistía en conectar la válvula que regulaba la entrada de vapor a los pistones, utilizando un eje unido en uno de sus extremos a un mecanismo de pesas que giraban concéntricamente a una velocidad proporcional a la velocidad de la máquina; al variar la velocidad, las pesas se acercaban o alejaban entre sí haciendo subir o bajar el eje y ocasionando que la válvula se abriera en mayor o menor proporción.

Los sistemas de control han seguido dándoles solución a problemas mucho más específicos y complejos, lo cual ha convertido el control en una importante rama del saber científico.

EL NACIMIENTO DE LA CIBERNÉTICA Y LA TEORÍA MATEMÁTICA DE LA INFORMACIÓN

A Norbert Wiener (Columbia, 1894 - Estocolmo, 1964) se le considera el creador de lo que hoy conocemos como cibernética. Este matemático y filósofo estadounidense sentó las bases de «la ciencia del control y la comunicación en los animales y en las máquinas»² en su libro *Cibernética*, publicado en 1948. Wiener, niño prodigio, obtuvo su doctorado en lógica a los 18 años en la Universidad de Columbia. Tiempo después estudió con Bertrand Russell en Cambridge (Gran Bretaña) y luego con David Hilbert en la Universidad de Gotinga (Alemania). Desde 1932 hasta 1959 fue investigador y profesor del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT).

Las raíces del pensamiento de Wiener en lo relacionado con cibernética se encuentran en una serie de reuniones mensuales, realizadas en la década de 1940, en las cuales se discutía sobre el método científico. Estas reuniones eran coordinadas por el doctor Aturo Rosenblueth (de la Harvard Medical School), con quien Wiener compartía la idea de que era necesario buscar la manera de facilitar la interacción entre científicos de áreas diferentes, debido a la tendencia de los campos científicos a ser cada día más especializados. Durante la Segunda Guerra Mundial estas reuniones

² *Ibid.*, p. 41.

se vieron interrumpidas, pero dadas las circunstancias, Wiener se vio obligado a trabajar en dos sistemas que perfilaron aún más su pensamiento e ideas. El primero fue el diseño y ejecución de un modelo de un sistema de computación, y el segundo, un sistema para la predicción de la trayectoria de vuelo de un avión. Ambos sistemas estaban diseñados para ser implementados con medios electro-mecánicos, y tenían otra característica en común que llamó mucho la atención de Wiener: usurpaban funciones específicamente humanas (en el proceso de alcanzar un avión en vuelo con un misil, se sustituye al tirador por un artefacto que tome la decisión de hacia dónde apuntar). De esta apreciación concluyó que un factor importante en la actividad voluntaria es el hecho de tener un mecanismo que permita comparar el objetivo deseado con la realidad y, en consecuencia, tomar una(s) decisión(es) para transformarla; esto es lo que se conoce como retroalimentación.

Las apreciaciones de Wiener sobre el concepto de retroalimentación en sistemas automáticos se basan en la observación de casos clínicos (tratados por el doctor Rosenblueth); uno de estos casos es descrito de la siguiente manera:

Un paciente ingresa a una clínica de neurología. No está paralítico y puede mover las piernas cuando recibe la orden. No obstante, sufre de una grave incapacidad. Anda con un paso peculiar inseguro, con los ojos fijos en el suelo y en sus piernas. Inicia sus pasos con un

respingo, avanzando cada pierna sucesivamente de frente a él. Si se le vendan los ojos, no puede permanecer de pie y se tambalea hacia el suelo. ¿Qué es lo que le ocurre?

Sus músculos son suficientemente fuertes y sanos, pero son incapaces de organizar sus acciones. La parte de la espina dorsal que normalmente recibe las sensaciones ha sido dañada o destruida por las últimas secuelas de la sífilis. Los mensajes entrantes son entorpecidos, si es que no han desaparecido ya totalmente. Los receptores en las articulaciones, tendones, músculos y plantas de los pies, que ordinariamente le transmiten la posición y el estado de movimiento de sus piernas, no envían mensajes que su sistema nervioso central puede recibir y transmitir, y para la información concerniente a su postura está obligado a confiar en sus ojos y en los órganos del equilibrio de su oído interno.

Vemos, pues, que para una acción efectiva en el mundo exterior, no es esencial solamente que poseamos buenos actuadores, sino que el funcionamiento de estos actuadores sea adecuadamente advertido al sistema nervioso central y que las lecturas de los monitores sean adecuadamente combinadas con la otra información procedente de los órganos sensoriales para producir una salida adecuadamente proporcionada hacia los actuadores.³

³ *Ibid.*, p. 159-160.

El desarrollo de la cibernética se vio acompañado y complementado por el desarrollo de la Teoría de la Información. La relación entre estas áreas se puede sintetizar así: en un sistema que se desea controlar, lo que se retroalimenta es información. Así mismo, las bases para el estudio matemático de la información las desarrolló Claude Shannon.

Shannon –1916, Gaylord, Michigan (E.U.)–, Ingeniero Electrotécnico y Matemático, realizó sus estudios de pregrado en la Universidad de Michigan, y en 1940 obtuvo su doctorado en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), donde se convirtió en miembro del cuerpo docente en 1956. Mientras trabajaba en los Laboratorios Bell formuló las bases de la «Teoría de la Información» en el artículo «Una teoría matemática de la comunicación», publicado en 1948. Con este artículo se convierte en un hecho la posibilidad de medir la cantidad de información asociada con la ocurrencia de un evento; esto facilitó el desarrollo de las tecnologías relacionadas con la transmisión, procesamiento y generación de información. Planteó también el concepto de entropía relacionado con información, y a partir de este concepto estableció el camino para la descripción matemática de la entropía en prácticamente cualquier tipo de sistemas.

Para ilustrar los conceptos de información y entropía, asumamos que deseamos saber cuánta información recibimos cuando se nos informa de la ocurrencia de un evento con probabilidad $P(E)$ en un conjunto de eventos posi-

bles. La definición matemática de información nos dice que la cantidad de información asociada con este evento es: $I(E) = \text{Log}(1/P(E))$ [4], donde la base del logaritmo nos indica las unidades en que se mide (base 2: bits, base e: nats y base 10: hartleys). Tomemos como ejemplo un dado de 6 caras. La probabilidad de ocurrencia de una cara es $1/6$. Si nos dicen que en un lanzamiento el dado mostró la cara 3, nos están entregando $I(E) = \text{Log}(1/(1/6))$ unidades de información (en base 2: 2.5850 bits, en base e: 1.7918 nats y en base 10: 0.7782 hartleys).

Consideremos ahora la siguiente pregunta: ¿que cantidad de información necesita para describir la ocurrencia de un evento en un conjunto de eventos posibles? La respuesta es la Entropía del conjunto de eventos. Retomemos el ejemplo del dado, pero asumiendo que no todas las caras tienen la misma probabilidad de ocurrencia:

$P(\text{cara 1}) = 2/6$, $P(\text{cara 2}) = 0.5/6$, $P(\text{cara 3}) = 1/6$, $P(\text{cara 4}) = 0.5/6$, $P(\text{cara 5}) = 1/6$ y $P(\text{cara 6}) = 1/6$ (la suma de todas las probabilidades es 1).

La entropía asociada con este dado se calcula así [4]:

Entropía del dado = $P(\text{cara 1}) \cdot I(\text{cara 1}) + P(\text{cara 2}) \cdot I(\text{cara 2}) + P(\text{cara 3}) \cdot I(\text{cara 3}) + P(\text{cara 4}) \cdot I(\text{cara 4}) + P(\text{cara 5}) \cdot I(\text{cara 5}) + P(\text{cara 6}) \cdot I(\text{cara 6})$

(Medida en bits, es: 2.4183.

Esto significa que si deseáramos describir cada uno de los posibles estados del dado necesitaríamos 3 bits. (Considere el lector cuántos bits se requieren para describir cada uno de los símbolos utilizados en la comunicación escrita en idioma inglés –letras, números, signos de puntuación, etc.–; haga una estimación y compare con los utilizados en tablas de codificación como ASCII).

LA OPINIÓN DE WIENER SOBRE LAS CONSECUENCIAS NEGATIVAS DE LA APLICACIÓN DE LA CIBERNÉTICA

En la introducción de la primera edición del libro *Cibernética*, Wiener hace algunas consideraciones que vale la pena tomar como referencia en este punto:

Quizá pueda clarificar la base histórica de la situación presente si digo que la primera revolución industrial, la revolución de las «negras hilanderías satánicas», supuso la desvalorización del brazo humano en competencia con la máquina. No hay salario suficientemente bajo de un simple obrero de pico y pala de los Estados Unidos que pueda competir con el trabajo de una pala mecánica como una excavadora. La moderna revolución industrial se limita similarmente a desvalorizar el cerebro humano, al menos en sus decisiones más simples y rutinarias. Por supuesto, del mismo modo que un carpintero experto, un mecánico experto, un sastre experto, en cierto grado han sobrevivido a la primera revolución industrial, así el científico y el administrador experto pueden so-

brevivir a la segunda. Sin embargo, considerando la segunda revolución como realizada, el ser humano medio de mediocres conocimientos no tiene nada que vender que merezca la pena comprarse.

Aquellos de nosotros que hemos contribuido a la nueva ciencia de la cibernética permanecemos, pues, en una posición moral que no es, por así decirlo, muy confortable. Hemos contribuido a la iniciación de una nueva ciencia que, como he dicho, comporta desarrollos técnicos con grandes posibilidades para el bien y para el mal [...] Como hemos visto, hay quienes esperan que el bien de un mejor entendimiento del hombre y de la sociedad que es ofrecido por este nuevo campo de trabajo puede anticipar y sobrepajar la incidental contribución que estamos haciendo para la concentración del poder (el mal está siempre concentrado, por sus propias condiciones de existencia, en las manos de los más faltos de escrúpulos). Escribo en 1947 y me veo compelido a decir que es una esperanza muy débil.⁴

Dejamos al lector la tarea de reflexionar sobre esta cita.

En una publicación posterior (*Dios y Golem S.A.* [3]) del mismo autor se profundiza sobre otras consecuencias no muy gratas de la cibernética.

⁴ *Ibid.*, p. 63-65.

CONCLUSIÓN

Vale repetir que la cibernética no es sólo la ciencia de «Robocop», «Cyborg» y otros androides, sino la ciencia de la comunicación y el control en los animales y en las máquinas y que está fuertemente relacionada con la Teoría de la Información, debido a que en los procesos de comunicación y control se trata básicamente con información. Que el campo de aplicación de estas ciencias incluye prácticamente todos los aspectos de la vida cotidiana y su impacto es mundial. Además, las implicaciones negativas de este conocimiento se pueden reflejar en concentraciones de poder (económico, social, etc.) que pueden llegar a ser nocivas para el desarrollo de la humanidad. En las manos de las personas que tienen acceso a este conocimiento y de quienes puedan respaldar-

los está la capacidad de mejorar (!?) la calidad de vida de los seres humanos.

Bibliografía

- [1] WIENER, Norbert. *Cibernética. Guardiania de publicaciones*. Madrid, Ediciones Castilla, 1960.
- [2] STRANDH, Sigurd. *Máquinas: Una historia ilustrada*. Madrid, Hermann Blume Ediciones, 1982.
- [3] WIENER, Norbert. *Dios y Golem S.A. México*, Siglo XXI Editores, 1967.
- [4] ABRAMSON, Norman. *Teoría de la Información y Codificación*. 5ª ed. Madrid, Paraninfo, 1980.

Direcciones de Internet relacionadas con el tema

- <http://www-groups.dcs.st-andrews.ac.uk/~history/Mathematicians/Wiener-Norbert.html>
- <http://userwww.sfsu.edu/~rsaazier/Wiener.html>
- http://www.sfc.keio.ac.jp/~masanao/Mosaic_data/shannon.html
- <http://userwww.sfsu.edu/~rsaazier/Shannon.html>
- http://holston.rjlsystems.com/cybernetics/cybernetics_faq.html
- http://gwis.circ.gwu.edu/~asc/asc_cyber.html