

Los organismos como procesadores de información Organisms as information processors

De Boeck, Martín 

Universidad Nacional de Tucumán

Barrios, Rubén

Universidad Nacional de Tucumán

Shai Comedi, Emanuel

Universidad Nacional de Tucumán

Resumen

La emergencia de la cibernética y la teoría de la información, y la difusión de sus términos clave hacia otras disciplinas, fue sin lugar a dudas un producto de las nuevas formas de producción de conocimiento que comenzaron a articularse especialmente en el período inmediatamente posterior a la Segunda Guerra en los países hegemónicos tanto en términos políticos y militares, como los Estados Unidos (Galison 1994, 232). Como indica Rodríguez (2019, 83-115) siguiendo a Foucault, estas disciplinas forman parte de una nueva formación discursiva o episteme, al punto que resulta justificado afirmar que instauran una ontología de la información, en el sentido de posibilitar un nuevo campo de objetos. Por otro lado, ponen de manifiesto los vínculos íntimos que pueden establecerse entre la construcción del saber y las relaciones de poder.

En el siguiente trabajo, se desarrollarán brevemente los conceptos de retroalimentación negativa e información, ya que se encuentran íntimamente vinculados, para destacar cómo el intento de von Neumann de aplicarlos a las ciencias biológicas condujo a una concepción de los organismos como procesadores de información. Se afirmará que la teoría de los "autómatas replicantes" de von Neumann fue relevante para la incorporación de la jerga informacional en la biología molecular.

Palabras Claves: *Teoría de la información, autómatas replicantes, cibernética, biología teórica, formaciones discursivas*

Abstract

The emergence of cybernetics and information theory, and the diffusion of its key terms to other disciplines, was undoubtedly a product of the new forms of knowledge production that began to be articulated, especially in the period immediately after the Second War in hegemonic countries both in political and military terms, such as the United States (Galison 1994, 232). As Rodríguez (2019, 83-115) indicates, following Foucault, these disciplines are part of a new discursive formation or episteme, to the point that it is justified to affirm that they establish an ontology of information, in the sense of enabling a new field of objects. . On the other hand, they reveal the intimate links that can be established between the construction of knowledge and power relations.

In the following lines, the concepts of negative feedback and information will be briefly developed, as they are closely linked, to highlight how von Neumann's attempt to apply them to the biological sciences led to a conception of organisms as information processors. It will be argued that von Neumann's theory of "replicating automata" was relevant to the incorporation of informational jargon into molecular biology.

Keywords: *information theory, self-reproducing automata, cybernetics, theoretical biology, discursive formation*

1 Introducción

La emergencia de la cibernética y la teoría de la información, y la difusión de sus términos clave hacia otras disciplinas, fue sin lugar a dudas un producto de las nuevas formas de producción de conocimiento que comenzaron a articularse especialmente en el período inmediatamente posterior a la Segunda Guerra en los países hegemónicos tanto en términos políticos y militares, como los Estados Unidos (Galison 1994, 232). Como indica Rodríguez (2019, 83-115) siguiendo a Foucault, estas disciplinas forman parte de una nueva formación discursiva o episteme, al punto que resulta justificado afirmar que instauran una ontología de la información, en el sentido de posibilitar un nuevo campo de objetos. Por otro lado, ponen de manifiesto los vínculos íntimos que pueden establecerse entre la construcción del saber y las relaciones de poder.

En el presente trabajo, se desarrollarán brevemente los conceptos de retroalimentación negativa e información, ya que se encuentran íntimamente vinculados, para destacar cómo el intento de von Neumann de aplicarlos a las ciencias biológicas condujo a una concepción de los organismos como procesadores de información. Se afirmará que la teoría de los "autómatas replicantes" de von Neumann fue relevante para la incorporación de la jerga informacional en la biología molecular.

2 El nacimiento de la cibernética y del concepto de retroalimentación negativa

Como indica Echeverría (2003, 19-40), aproximadamente entre las décadas de 1930 y 1940 hasta mediados de la década de 1960, la producción científica y tecnológica atravesó una fase que podría denominarse como "macrociencia" (Big Science), caracterizada, entre otras cosas, por el enorme incremento de inversión por parte del Estado y algunas fundaciones de capitales privados (como la Fundación Rockefeller) para costear la investigación, lo que llevó a la concentración de los recursos en un número muy limitado de centros de investigación, al desarrollo de proyectos que incrementen el poder industrial, militar, la salud o el prestigio del Estado, y al incremento de las interacciones entre científicos, ingenieros, hombres de negocios y militares.

Como lo sintetiza el documento "Ciencia, la frontera sin fin", del ingeniero norteamericano Vannevar Bush (1999, 87-98), este proyecto político se proponía transponer la experiencia fecunda en I&D de los tiempos de guerra a tiempos de paz. En él se sostuvo una concepción lineal del progreso científico y tecnológico, en la que el Estado es el principal promotor y financista de la ciencia básica, practicada fundamentalmente en las universidades, con el objetivo de que sus inversiones redunden en aplicaciones e innovaciones tecnológicas que impulsen el desarrollo competitivo de las empresas, al tiempo que aumenten los niveles de confort, empleo y salubridad de la población, y refuercen la seguridad nacional (106-110).

Fue en este contexto de producción científica y tecnológica que Norbert Wiener, junto a su colega Arturo Rosenblueth, se percataron tanto de la unidad esencial de ciertos problemas de mecánica estadística, comunicación y control, presentes en la producción y diseño de máquinas y el análisis de las

estructuras de los organismos vivos, como así también de la falta de un lenguaje común que permitiera aunar esfuerzos entre los especialistas de las distintas disciplinas (Wiener 1988, 11-12; Castaños Alés 2000, 14).

Por este motivo, creyeron conveniente bautizar este incipiente campo netamente interdisciplinar con el nombre de cibernética, derivado de la voz griega *κυβερνητης*, que refiere al timonel que gobierna el rumbo de una embarcación. Las figuras más importantes de esta emergente comunidad de investigadores fueron Claude Shannon, Warren McCulloch, Walter Pitts, Alan Turing y John von Neumann. Cada uno de ellos estaba familiarizado con el trabajo de los otros, y pudo capitalizar los aportes de los demás a su propia producción (Aspray 1985, 118). Como señala Galison (1994, 247-248), ya desde fines de 1944 Wiener, junto a John von Neumann y Howard Aiken se percataron de que el vínculo íntimo entre diferentes disciplinas, como ser la ingeniería del control y la comunicación, y la fisiología del sistema nervioso, giraba en torno a comprender cómo la conducta humana y animal era capaz de dirigirse a través de propósitos, y cómo tal conducta podía ser imitada a través de medios mecánicos y eléctricos. Por ese motivo, conformaron un grupo que se denominó “Sociedad de la Teleología” (*Teleological Society*), que comenzó a organizar reuniones desde mediados de 1945. Dicha sociedad contaba con el patrocinio de la Fundación Rockefeller.

Las analogías entre las máquinas de cómputo y el sistema nervioso comienzan a bosquejarse, como indica Castaños Alés (Castaños Alés 2000, 15), cuando vuelca su atención hacia el desarrollo de máquinas para la solución de ecuaciones diferenciales parciales durante 1940. (Wiener 1988, 12-15; Aspray 1985, 124) estimó que entre los requerimientos para una máquina de este tipo debían contarse la utilización de válvulas electrónicas en lugar de relevos mecánicos, la adopción del sistema binario en lugar del decimal, una memoria para el almacenamiento, recuperación y borrado de datos, y que la máquina sea capaz de operar prescindiendo de la intervención humana. Puntualmente, el hecho de que las descargas eléctricas del sistema nervioso posean un carácter de “todo o nada” llevó a sus colegas (McCulloch y Pitts 1943, 118) a compararlas con la determinación de un dígito en el sistema binario, sugerencia adoptada por Wiener (Aspray 1985, 128-130).

Pero el proyecto que iba tener una enorme repercusión en el desarrollo de la incipiente cibernética fue el emprendido por Wiener y Bigelow en 1942 sobre los aspectos matemáticos de la dirección y control de la artillería antiaérea. El objetivo de este proyecto era la producción de un dispositivo capaz de predecir la trayectoria probable de los aviones enemigos sobre la base de un registro de las trayectorias observadas, que se transformarán en reglas para colocar el arma en posición (Wiener, Hill y Mitter 2019, 5-6; Wiener 1988, 58; Galison 1994, 243-244). Como indica Galison (1994, 235), el prototipo de Wiener proponía una nueva relación entre el hombre y la máquina, una en donde el soldado, el cálculo técnico y el poder de fuego se funden en un sólo sistema integrado. Máquinas de este tipo, diseñadas para ajustar su conducta a una meta o patrón determinado, se caracterizan por su capacidad para operar sobre un mecanismo de control basado en un principio de retroalimentación (*feedback*). Como indican Kay (2000, 79-80) y Aspray (1985, 126), el interés de Wiener por el estudio del sistema nervioso al momento de emprender este trabajo lo llevó a estar a buscar la colaboración de Rosenblueth, experto en fisiología del sistema nervioso, para establecer puntos de contacto entre las afecciones nerviosas como movimientos oscilatorios involuntarios y los desajustes en los mecanismos de retroalimentación.

El andamio de estas comparaciones será la adopción por parte de Wiener, Bigelow y Rosenblueth de un punto de vista conductista, enfocado en el examen del resultado o salida (*output*) que produce un sistema en relación con un dato o estímulo que opere como entrada (*input*) (Rosenblueth, Wiener y Bigelow 1943, 18). En otras palabras, cualquier cambio detectable en el sistema en relación con su medio, puede ser considerado como una conducta. Por otro lado, el sistema en cuestión puede ser desde un organismo vivo hasta un aparato diseñado para manifestar un determinado patrón en su conducta. Como indica Galison (1994, 245-246), aunque Wiener jamás afirmaría que no hubiese criterios que permitiesen distinguir entre a los humanos de las máquinas, la clave para borrar sus diferencias reside en concebirlas como cajas negras, es decir, como unidades diseñadas para desempeñar una función antes

de poseer conocimiento sobre su estructura interna.

En este ensayo los autores se proponen clasificar distintos tipos de conducta y enfatizar la importancia del concepto de propósito. En primer lugar, distinguen entre conducta aleatoria y conducta orientada a un fin, meta o propósito. Lo que distingue al comportamiento orientado a un fin es que el sistema busca establecer una correlación definida en el tiempo y/o el espacio con respecto a otro objeto o evento (Rosenblueth, Wiener y Bigelow 1943, 18).

Estas precisiones permiten distinguir entre artefactos que, aunque cuenten por su diseño con una performance ordenada, como una ruleta o un reloj, no están dirigidos a un fin estrictamente hablando, ya que no podría determinarse una condición final específica hacia la que tiendan.

Por otro lado, la conducta motivada por un propósito puede ser teleológica o no teleológica, según suponga o no un mecanismo de control por retroalimentación. Por ejemplo, un reflejo motor no es considerado por los autores como una conducta teleológica porque el sistema o agente no es capaz de modificar o ejercer algún tipo de control sobre su conducta mientras está siendo ejecutada. Finalmente, sólo los mecanismos de retroalimentación negativa, en donde la conducta actual del sistema es controlada por el margen de error que presenta respecto a unos valores específicos, permitiendo así que el tipo de conducta de salida disminuya o sea suprimido en caso de sobrepasar un rango máximo, pueden considerarse propiamente conductas de tipo teleológico. En otras palabras, se trata de un proceso en espiral en el cual parte de la salida es remitida de forma constante nuevamente a la entrada.

De este modo, el sistema es capaz de autorregular su comportamiento, ya sea retornando a ciertos valores frente a perturbaciones, o dirigiéndose sistemáticamente hasta alcanzar un valor deseado (19-20). Para el primer caso, podría considerarse el mantenimiento de la temperatura a un nivel relativamente constante por un termostato, y para el segundo, un proyectil diseñado con un mecanismo para perseguir a su objetivo y detonarse en contacto con él o en proximidad.

Desde esta perspectiva conductista, la aproximación al estudio de los seres vivos y los servomecanismos resulta similar (22). De hecho, en un trabajo posterior (Rosenblueth y Wiener 1950, 326) van a sostener que, desde un punto de vista científico, conviene mirar la conducta animal y humana como si se tratara de máquinas. Por ejemplo, en su correspondencia de fines de 1944 con el psicólogo de Harvard Edwin Boring, la posibilidad de recrear la mente desde el enfoque conductista inspirado en la ingeniería de la comunicación y del control resultaba para Wiener un desafío estimulante y asequible en principio (Galison 1994, 247). Así, consideran lícito tomar como un modelo para las patologías del sistema nervioso que producen movimientos oscilatorios involuntarios los casos en donde los mecanismos de retroalimentación no están correctamente ajustados. En estos casos, las máquinas, por ejemplo una diseñada para perseguir una fuente de luz, modifican exageradamente su conducta alejándose a fin de cuentas del objetivo, ya sea por exceso o por defecto, presentando así un comportamiento que oscila de forma permanente.

A partir de estas precisiones, (Rosenblueth y Wiener 1950, 325-326) señalan algunos criterios que deben tenerse en cuenta para distinguir entre el comportamiento teleológico y el no-teleológico. De ellos podrían destacarse especialmente que: a) el sistema analizado debe estar enmarcado en un sistema más amplio, debe estar acoplado a un ambiente, y por ende, sería esperable que los cambios en éste último tengan algún impacto en su comportamiento; b) el sistema tiene que ser capaz de recibir mensajes del ambiente, con el fin de ajustar su conducta a la consecución de una meta; c) las respuestas del sistema deben ser analizadas en diferentes condiciones iniciales, para así poder reconocer hacia qué tipo de relación con el medio el objeto tiende a aproximarse con sus respuestas. Como indica Scheffler (1959, 267), la conducta del sistema en cuestión es controlada por las señales que recibe del exterior, y así, mantiene un comportamiento que tiende a un estado relativamente uniforme partiendo de diversas condiciones iniciales.

3 La información como medida del grado de organización de un sistema en su intento por resistir la tendencia al aumento de la entropía

Los criterios mencionados anteriormente permiten comprender otro aspecto que destaca Wiener (1988, 22-25) para consolidar la analogía entre las máquinas y los organismos vivos: ambos casos representan, en un universo gobernado por una tendencia al aumento de la entropía global¹, enclaves locales que parecen tender hacia una dirección opuesta, en donde el proceso se orienta, al menos por un período de tiempo, a mantener un determinado patrón de organización. Incluso en algunos casos, tal patrón puede llegar a aumentar su grado de complejidad (como el caso del proceso de desarrollo en los organismos vivos). Tanto las máquinas como los organismos cuentan con dispositivos especiales que registran cambios en el medio ambiente a niveles bajos de energía que les permiten responder con algún tipo de conducta que permita frenar la tendencia hacia la desorganización, o, en otras palabras, a provocar una inversión temporal de la dirección de la entropía. En todo caso, lo primordial es que la estructura organizada se perpetúe en el tiempo (90).

Así, siguiendo a Åström y Murray (2008, 4), resulta necesario para que una entidad pueda mantener su organización durante un determinado plazo de tiempo que cuente con miembros motores que permitan la producción de respuestas, y dispositivos que puedan registrar tanto los cambios ambientales como los efectos de las propias respuestas motoras del sistema, equipados a su vez con un modelo que les permita comparar el estado actual del sistema en función de un determinado estado final u objetivo deseado, a fin de calcular acciones que tiendan a aminorar la diferencia entre ambos estados. Por este motivo, Wiener destacará la necesidad de que, en estos sistemas, además de un flujo de materia y energía, deba existir un flujo de información.

Una de las primeras especulaciones sobre cómo podría compatibilizarse la termodinámica con el carácter organizado de un sistema a lo largo del tiempo fue la invención de Maxwell de un ser puramente imaginario que podría revertir la tendencia natural hacia la disipación.

Suponiendo dos recipientes llenos de gas a temperatura uniforme unidos por una válvula, de todos modos, algunas de las moléculas de gas se moverán más rápidamente que otras. Ahora bien, si existiera un ser capaz de conocer las velocidades de cada una de las moléculas, y fuera capaz de abrir y cerrar la válvula para permitir el paso de las moléculas más rápidas a uno de los recipientes, y simultáneamente, permitir el paso solamente de las más lentas hacia el otro recipiente, observaríamos que una parte del sistema progresivamente se calentaría (el recipiente que recibe sólo las moléculas rápidas), mientras que la otra parte se enfriaría (el recipiente que recibe sólo las moléculas lentas). De este modo, este ser imaginario, que Thompson apodará "demonio", sería capaz de revertir la entropía valiéndose solamente de su inteligencia y meticulosidad. De no ser por la acción del "demonio", lo que debería esperarse para el caso de dos sistemas termodinámicos interactuantes aislados de otras influencias externas es que ambos progresen hacia un valor máximo de entropía.

Ahora bien, como señala Wiener (1988, 28-29), Maxwell no problematizó el gasto de energía que implica la acción del demonio. Si el demonio posee algún tipo de ojo microscópico, entonces debe considerarse la luz que incide tanto en el ojo del demonio como en la partícula que éste observa. Por ende, se trata de un sistema que no comprende solamente gas, sino que se trata de un sistema de gas y luz. Para que el demonio pueda actuar, este sistema no puede estar en equilibrio. Así, aunque el demonio pueda invertir temporalmente la dirección de la entropía, a la larga quedará ciego si no llega luz adicional desde una fuente externa al sistema. Esto es lo que sucede con los organismos vivos que habitan la Tierra, que

1. Aquí se debe recordar que la interpretación estadística de la segunda ley de la termodinámica, que asocia la entropía con el desorden, vincula el estado macroscópico de un sistema con sus posibles estados microscópicos compatibles, estableciendo así una tendencia. En este caso, al considerar el sistema conformado por el organismo y el medio, el organismo tiende a la pérdida de su organización, es decir, a su descomposición.

no se encuentran en equilibrio al recibir la luz que proviene del sol.

Los distintos mecanismos de regulación, comunicación e intercambio con el medio exterior para combatir la tendencia al aumento de la entropía que exhiben tanto los seres vivos como las máquinas es propiamente hablando el problema al que se aboca la cibernética. Así, se entenderá por información en este contexto al contenido de los intercambios con el medio exterior, que le permiten al sistema ajustarse a las contingencias del medio en función de preservar su configuración estructural, al tiempo que modifica ese medio para actuar de una manera más efectiva (Wiener 1988, 16-17). En este sentido, la información en un sentido global puede concebirse como una medida del carácter organizado del sistema, y los mensajes que se reciben del entorno, en la medida que el sistema los capte como señales para ajustar su comportamiento y mantener su organización, como el reverso o el negativo de la entropía (21).

Ahora bien, quien proveerá a este concepto de una formulación matemática precisa será Claude Shannon, proveniente del campo de la ingeniería de la comunicación. Durante la Segunda Guerra Mundial, su investigación se centró en criptografía. Al final de la guerra, en septiembre de 1945, preparó un documento clasificado para los Laboratorios Bell titulado *A Mathematical Theory of Cryptography*. Este trabajo, una vez desclasificado, se publicó en 1949 como el documento *Communication Theory of Secrecy Systems*, que ya incorporaba muchos de los conceptos y formulaciones matemáticas del artículo de 1948 que se convertiría el texto de referencia de la teoría, *A Mathematical Theory of Communication*. De hecho, la investigación de Shannon sobre sistemas de cifrado inspiró su teoría de la información cuando se percató de que, así como los códigos protegen la información del espionaje, los códigos también pueden proteger la información del ruido indeseable (Shannon y Weaver 1971, 25; Gleick 2012, 206; Lombardi 2020, 39).

Como señala Weaver (Shannon y Weaver 1971, 3-4), Shannon considera el término “comunicación” de un modo amplio, en busca de una teoría general de la comunicación que no se limite a las tecnologías diseñadas específicamente para transmitir mensajes. Así, incluye cualquier proceso a través del cual una mente pueda afectar a otra, o un mecanismo puede afectar a otro mecanismo. De este modo, cualquier aspecto de la conducta humana, como ser el discurso oral, escrito, el baile, la música y hasta el teatro, podría ser analizado, así como un dispositivo diseñado para predecir las posiciones futuras de un avión, y guiar a un misil hacia su localización. Como afirma acertadamente Aspray (1985, 122), la definición es tan general que no tendría problemas para incluir a los organismos vivos no humanos. En el mismo sentido, Rodríguez (2019, 91) destaca que este carácter “inmaterial” de la información hará posible adjudicar a diferentes entidades materiales, como ser una molécula de ADN, una neurona, un linfocito o un gesto, la capacidad de “portar” información.

Para Shannon (Shannon y Weaver 1971, 33-35), todo sistema de comunicación consta de cinco partes:

- Una fuente S , que genera el mensaje que se recibirá en el destino.
- Un transmisor T , que convierte el mensaje generado por la fuente en una señal apta para la transmisión. En los casos en que la información se codifica, este sistema también implementa la codificación.
- Un canal CH , que representa el medio utilizado para transmitir la señal del transmisor al receptor.
- Un receptor R , que reconstruye el mensaje a partir de la señal.
- Un destino D , que recibe el mensaje ya reconstruido.

Además, afirma de forma explícita que en su aproximación a la noción de información los aspectos semánticos de la comunicación son completamente irrelevantes (31). Por ende, sería conveniente considerar que el concepto de información así utilizado, antes de aplicarse a mensajes tomados aisladamente, suponen una elección entre un conjunto de mensajes posibles.

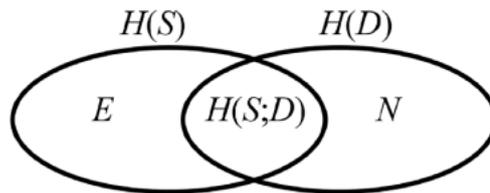


Figura 1: Diagrama extraído de Lombardi (2020, 41)

Así, la información es concebida como una medida de la libertad de elección a la hora de seleccionar un símbolo. Por tal motivo, utiliza el logaritmo en base 2 para asignar como unidad para la medida de la información a un interruptor que puede adoptar dos posiciones. Entonces, una cantidad N de interruptores con dos posiciones son capaces de almacenar una cantidad N de *bits* (dígitos binarios de información), dado que el número total de estados es 2^N , y el $\log_2 2^N$ es igual a N [Shannon y Weaver (1971), 31]².

Ahora bien, si la probabilidad de que los interruptores adoptasen una u otra posición fuese equiprobable (es decir, todos los resultados posibles son igualmente probables), la cantidad de información podría representarse directamente por $\log_2 N$. Sin embargo, Shannon generaliza esta ecuación para una situación en la que no todos los resultados sean equiprobables (49). Por tal motivo, la fórmula para calcular la cantidad de información H resulta en:

$$H = -\{p_1 \log_2 p_1 + \dots + p_n \log_2 p_n\}$$

Asumiendo que cada uno de los resultados $p_1 \dots p_n$, tiene asignado un determinado valor de probabilidad.

Esta fórmula, como reconoce Shannon (1971, 50-51), se relaciona estrechamente con el concepto físico de entropía, dado que la medida de la información sirve también como medida del grado de orden del canal de comunicación. Esto permite inferir que, si del conjunto de posibles estados de la fuente, todos salvo uno poseen una probabilidad de cero, y el estado restante tiene una probabilidad de 1, el valor de H es 0. Por el contrario, si todos los diferentes estados son igualmente probables, el valor de H es máximo. Así, el valor de H resulta un indicador para el grado de incertidumbre de la situación.

Siguiendo a Lombardi (2020, 40-41), para comprender esta afirmación, hay que remarcar que la fuente S es un sistema con un rango de posibles estados $s_1 \dots s_n$, generalmente llamados letras, cuyas probabilidades de ocurrencia son $p(s_1) \dots p(s_n)$, respectivamente. Un mensaje es una secuencia de estos estados. Análogamente, el destino D es un sistema con un rango de estados posibles $d_1 \dots d_m$, con probabilidades $p(d_1) \dots p(d_m)$ respectivamente. Así, Shannon define la entropía de la fuente S como $H(S)$, y la entropía del destino D como $H(D)$. Por el modo en que son definidas, las entropías de la fuente $H(S)$ y del destino $H(D)$ denotan cantidades medias de información por letra generada en la fuente y recibida en el destino (Shannon y Weaver 1971, 52-53). La relación entre ambas puede representarse con el siguiente diagrama:

En este esquema, $H(S;D)$ es la información mutua, es decir, la cantidad media de información generada en la fuente S y recibida en el destino D , E representa la equivocidad, la cantidad media de información generada en S pero no recibida en D , y finalmente, N es el ruido, la cantidad media de información recibida en D pero no generada en S (Holik 2016, 5; López y Lombardi 2015, 147-149).

2. Como señala Weaver (2019, 9-10), bits es la contracción de binary digits sugerida por John Tukey. Por ejemplo, una situación en la que existan 16 mensajes alternativos que podrían ser seleccionados, contiene 4 bits de información, dado que $\log_2 16 = 4$.

Dado que Shannon concibe la estructura de un mensaje como un proceso estocástico (Shannon y Weaver 1971, 11; Gleick 2012, 209), las secuencias de estados de la fuente no se producen completamente al azar, ya que poseen una determinada estructura estadística. Para clarificar este punto, tomando como ejemplo el lenguaje cotidiano, señala que no todas las letras y secuencias de letras, así como palabras, aparecen con la misma frecuencia (en inglés, la letra *e* aparece con mayor frecuencia que la *q*, y la secuencia *th* aparece con mayor frecuencia que la secuencia *xp*) (Shannon y Weaver 1971, 39-40). Por tal motivo, si se consideran diferentes textos escritos en inglés, lo suficientemente extensos, la distribución de letras y palabras tenderá a aproximarse a ciertos límites independientes de cada una de las muestras consideradas.

Esta característica de los mensajes en tanto procesos estocásticos resulta de crucial importancia para comprender la idea de redundancia. Como indica Floridi (2010, 43), la redundancia resulta útil para reducir el grado de incertidumbre del mensaje de la fuente, sometido inexorablemente a una cuota de equivocación y ruido en el proceso de transmisión a través del canal. Considerando nuevamente como ejemplo el uso de la lengua inglesa, Shannon (1971, 56) destaca que los límites que imponen las reglas sintácticas a las combinaciones de símbolos vuelve prácticamente al 50 % de los símbolos contenidos en el mensaje completamente predecibles.

4 La teoría de los autómatas replicantes de von Neumann. Los organismos como procesadores de información

El matemático húngaro John von Neumann dejará una importante huella en la teorización de las ciencias biológicas. Como señala Kay, motivado por su odio al comunismo, von Neumann fue un activo participante y colaborador de los Estados Unidos en el desarrollo de sistemas de control y estrategias militares durante la Guerra Fría. Sus trabajos condujeron al desarrollo de la primera computadora en el sentido moderno del término, siguiendo el diseño lógico de lo que se denomina usualmente “arquitectura de von Neumann” (Kay 2000, 102-103).

Ahora bien, en su teoría de los “autómatas replicantes” intentó ampliar las analogías entre las funciones que una máquina puede desempeñar y aquellas que llevan adelante los seres vivos, tratando de establecer cuál debía ser la organización lógica de una máquina capaz de reproducirse, o en otras palabras, cuál sería la forma lógica del proceso de autorreproducción (Aspray 1993, 225-226; Emmeche 1998, 63; Kay 2000, 105-106). Aunque no haya definido explícitamente el término “autómata”, según Aspray (1993, 225) podría inferirse a partir del uso que hizo del mismo que podía aplicarse a cualquier sistema que procesa información como parte de un mecanismo de regulación. Es decir, sería semejante a lo que actualmente se conoce como sistema de control.

Este problema llevó a von Neumann a interesarse por la genética, ya que, en alguna medida, esa máquina debería simular el fenómeno de la herencia. Asumiendo la teoría proteínica del gen, vigente por aquel entonces, identificó a los genes con los virus, y concibió la replicación del material genético como un mecanismo de procesamiento de información que ocurre mediante autocatálisis (reacción química en la que alguno de los productos de la reacción sirve de catalizador para que ocurra nuevamente). Dado que von Neumann era una figura influyente en las instituciones académicas y militares norteamericanas, y participó de numerosas conferencias y simposios abocados a fomentar el vínculo entre matemáticos, físicos y especialistas de las ciencias biológicas, que contaron con la presencia de Pauling, Beadle, Sturtevant, Delbrück, Luria, entre otros, resulta muy plausible suponer que contribuyó a la difusión de la jerga informacional entre los biólogos durante la década de 1940 (Kay 2000, 108-115).

Ahora bien, su modelo de autómatas replicantes tenía que exhibir los rasgos fundamentales de los fenómenos hereditarios con la mínima cantidad de elementos y presupuestos. Es decir, trató de entrañar cuál era la organización lógica más simple que pudiera admitirse para una entidad capaz de autorreproducirse, entendiendo por organización lógica una descripción en términos formales de una

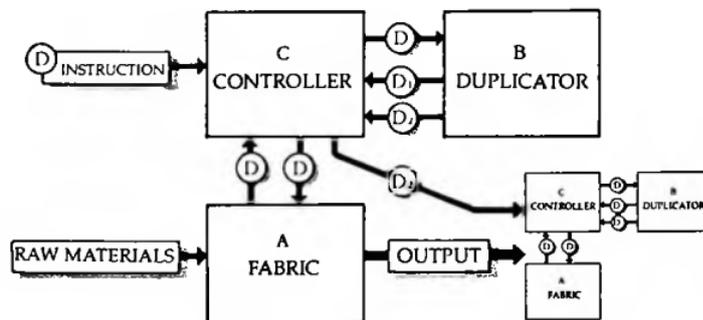


Figura 2: Extraído de (Emmeche 1998, 67)

secuencia de estados y movimientos simples, un conjunto de entradas, salidas y reglas operacionales independientes del material del que pudiera estar constituida la entidad. Entre las suposiciones que adoptó, puede contarse la teoría de la información de Shannon, utilizada como una base matemática para determinar el “grado de complicación” y la “eficiencia lógica” de los autómatas y sus procedimientos. Básicamente, el modelo de autómata consistía en una máquina universal de Turing, construida para leer una descripción y luego imitar el objeto que había sido descrito. Supuso que un conjunto específico de instrucciones podría al menos aproximadamente emular las funciones del gen, mientras que un mecanismo de copiado llevaría a cabo el acto de reproducción, el símil del proceso biológico de duplicación del material genético (von Neumann y Taub 1963, 312; Aspray 1993, 230-238; Emmeche 1998, 63-66; Kay 2000, 110-111). Como indica Hernández (2021, 76), en el diseño de su modelo von Neumann estableció una relación directa entre gen, información y entropía.

Suponiendo un medio con los componentes necesarios, el autómata debería ser capaz de incorporar elementos de este medio y transformarlos en partes de la máquina, y organizarlos para la fabricación de una nueva máquina igual de compleja. Por ese motivo, se le llamó “modelo cinemático”. En resumen, el modelo de von Neumann suponía que el autómata debía contener los componentes A, B, C y D. La unidad o componente A posee la capacidad de obtener una materia prima del entorno y producir un determinado producto “X” cuando recibe una instrucción. La unidad B es un copiator o duplicador, capaz de entregar una descripción como salida cuando recibe una instrucción. La unidad C es un controlador que entrega a A y a B instrucciones. Por último, el controlador es capaz de introducir la descripción realizada por B en el producto que ha fabricado A. La unidad D representa una descripción que habilita a la unidad A para producir réplicas de las unidades A, B y C, o A+B+C. Por ende, la autorreproducción de la máquina está contenida en D. De este modo, la autorreproducción es una propiedad que requiere la relación interna de estos componentes (von Neumann y Taub 1963, 315-317; Emmeche 1998, 66-68).

Estableciendo un paralelismo con los procesos celulares, podría decirse que el metabolismo bioquímico está representado por A, la copia del material genético corresponde a B, el control de la expresión de los genes a C, mientras que la información contenida en el material genético corresponde a D (Emmeche 1998, 68).

También consideró que el análogo a una mutación podría ser una ligera modificación de alguna de las instrucciones y postuló la existencia de un umbral de complejidad por debajo del cual las mutaciones conducirían a un proceso evolutivo con decrecimiento de la complejidad, mientras que si ese umbral era superado, podría esperarse un paulatino incremento de complejidad en el proceso de reproducción o replicación (von Neumann y Taub 1963, 317-318; Aspray 1993, 230-231; Emmeche 1998, 66-69; Kay 2000, 111).

Aunque los modelos imaginados por von Neumann no tuvieron un impacto en las innovaciones

técnicas y experimentales de la biología molecular durante la década de 1950, sirvieron básicamente para transferir el discurso de la cibernética y la teoría de la información a dicho ámbito. En otras palabras, los seres vivos fueron conceptualizados cada vez más como sistemas de comunicación programados por un conjunto de instrucciones capaces de almacenar, procesar y transmitir información (Kay 2000, 114-115).

5 Conclusiones

En síntesis, aunque los intentos de aplicar los términos provenientes de la cibernética y la teoría de la información no hayan permitido desarrollar al momento de su introducción una agenda experimental que pudiera guiar de forma clara la investigación, queremos remarcar que perduró la utilización de una serie de términos en el discurso de la biología molecular (por ejemplo, información, mensaje, código, sistema cibernético, alfabeto, programa, instrucción) que, aunque se hayan vaciado del contenido que se les asignaba en su contexto de origen, operaron como potentes metáforas para legitimar el reemplazo de la concepción de especificidad química y biológica por una concepción de las interacciones moleculares como el procesamiento de un texto inscripto en la naturaleza misma (26).

Aunque evidentemente no pueda señalarse una única causa que explique la adopción de esta jerga, es destacable que durante la década del 50 se modificó la estructura del patronazgo de la biología molecular, pasando desde la Fundación Rockefeller hacia establecimientos militares mayormente, como el Departamento de Defensa, el Instituto Nacional de Salud (NIH), la Fundación Nacional de la Ciencia (NSF), e incluso la Comisión de Energía Atómica (AEC) y la Administración Aeronáutica y Espacial Nacional (NASA). Por este motivo, consideramos que en buena medida la adopción de la jerga informacional ha estado inspirada por los discursos y estrategias de representación que se gestaron durante la experiencia de la Guerra Fría desde estas instituciones, sirviendo estos como condiciones de posibilidad para la producción de ciertas formas particulares de conocimiento (Hacking 1986, 257-260). En el caso considerado, el matemático John von Neumann fue una de las figuras científicas más destacadas pertenecientes a esta red de instituciones.

Referencias

- Aspray, William F. 1985. "The Scientific Conceptualization of Information: A Survey". *Annals of the History of Computing* 7, n.º 2 (abril): 117-140. ISSN: 0164-1239. <https://doi.org/10.1109/MAHC.1985.10018>.
- . 1993. *John von Neuman y Los Orígenes de La Computación Moderna*. Barcelona: Gedisa.
- Åström, Karl J. y Richard M. Murray. 2008. *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. Princeton: Princeton University Press. ISBN: 978-0-691-13576-2.
- Bush. 1999. "Ciencia, La Frontera Sin Fin. Un Informe al Presidente, Julio de 1945". *Redes*, ISSN: 1851-7072. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3004806>.
- Castaños Alés, Enrique. 2000. "Los Orígenes Del Arte Cibernético En España : El Seminario de Generación Automática de Formas Plásticas Del Centro de Cálculo de La Universidad de Madrid : (1968-1973)". Tesis doctoral, Alicante : Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes, 2000. <https://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmc0g3j5>.
- Echeverría, Javier. 2003. *La Revolución Tecnocientífica*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- Emmeche, Claus. 1998. *Vida Simulada En El Ordenador. La Nueva Ciencia de La Vida Artificial*. Barcelona: Gedisa.

- Floridi, Luciano. 2010. *Information: A Very Short Introduction*. Oxford University Press, 25 de febrero de 2010. ISBN: 978-0-19-177734-9. <https://doi.org/10.1093/actrade/9780199551378.001.0001>.
- Galison, Peter. 1994. "The Ontology of the Enemy: Norbert Wiener and the Cybernetic Vision". *Critical Inquiry* 21, n.º 1 (octubre): 228-266. ISSN: 0093-1896. <https://doi.org/10.1086/448747>.
- Gleick, James. 2012. *The Information: A History, A Theory, A Flood*. Illustrated edition. New York: Vintage, 6 de marzo de 2012. ISBN: 978-1-4000-9623-7.
- Hacking, Ian. 1986. "Weapons Research and the Form of Scientific Knowledge". 12 (enero): 237-260. ISSN: 0229-7051, 2633-0490. <https://doi.org/10.1080/00455091.1986.10717161>.
- Hernández, Greco. 2021. *El Acertijo de La Vida*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Holik, Federico. 2016. "Teoría de La Información de Claude E. Shannon". En *Diccionario Interdisciplinar Austral*, editado por Claudia E. Vanney, Ignacio Silva y Juan F. Franck. http://dia.austral.edu.ar/Teor%C3%ADa_de_la_informaci%C3%B3n_de_Claude_E._Shannon.
- Kay, Lily E. 2000. *Who Wrote the Book of Life?: A History of the Genetic Code*. 1st edition. Stanford, Calif: Stanford University Press. ISBN: 978-0-8047-3417-2.
- Lombardi, Olimpia Iris. 2020. "Información de Shannon: Bases teóricas, articulaciones conceptuales e interpretaciones" (junio). ISSN: 2386-5326.
- López, Cristian y Olimpia Lombardi. 2015. "Información clásica e información cuántica: ¿dos tipos de información?" *Scientiae Studia* 13:143-174. ISSN: 1678-3166, 2316-8994. <https://doi.org/10.1590/S1678-31662015000100007>.
- McCulloch, Warren S. y Walter Pitts. 1943. "A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity". *The bulletin of mathematical biophysics* 5, n.º 4 (1 de diciembre de 1943): 115-133. ISSN: 1522-9602. <https://doi.org/10.1007/BF02478259>.
- Rodríguez, Pablo Manolo. 2019. *Las Palabras En Las Cosas: Saber, Poder y Subjetivación? Entre Algoritmos y Biomoléculas*. [CABA, República Argentina]: Editorial Cactus.
- Rosenblueth, Arturo y Norbert Wiener. 1950. "Purposeful and Non-Purposeful Behavior". *Philosophy of Science* 17 (4): 318-326. ISSN: 0031-8248. JSTOR: 185931. <https://www.jstor.org/stable/185931>.
- Rosenblueth, Arturo, Norbert Wiener y Julian Bigelow. 1943. "Behavior, Purpose and Teleology". *Philosophy of Science* 10 (1): 18-24. ISSN: 0031-8248. JSTOR: 184878. <https://www.jstor.org/stable/184878>.
- Scheffler, Israel. 1959. "Thoughts on Teleology". *The British Journal for the Philosophy of Science* 9 (36): 265-284. ISSN: 0007-0882. JSTOR: 685187. <https://www.jstor.org/stable/685187>.
- Shannon, Claude E. y Warren Weaver. 1971. *The Mathematical Theory of Communication*. 16th Printing edition. Urbana: The University of Illinois Press, 1 de enero de 1971. ISBN: 978-0-252-72548-7.
- Von Neumann, J. y A.H. Taub. 1963. *John von Neumann Collected Works: Volume V - Design of Computers, Theory of Automata and Numerical Analysis*. Pergamon Press.
- Wiener, Norbert. 1988. *Cibernética y Sociedad*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana.
- Wiener, Norbert, Doug Hill y Sanjoy K. Mitter. 2019. *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Reissue of the 1961 second edition. Cambridge, Massachusetts London, England: The MIT Press. ISBN: 978-0-262-53784-1.