



Máquinas que simulan máquinas El Homeostato como simulación de un sistema complejo

Andrés A. Ilcic^{*,*}

A better demonstration can be given by a machine, built so that we know its nature exactly and on which we can observe just what will happen in various conditions. (We can describe it either as “a machine to do our thinking for us” or, more respectfully, as “an analogue computer”). One was built and called the “Homeostat”.

– W. Ross Ashby, *Design for a brain*, p. 97.

El objetivo de este trabajo es mostrar cómo el uso de modelos por parte de la cibernética estuvo mayoritariamente acompañado por una noción de máquina cuya propiedad fundamental es la de poder simular el comportamiento de un sistema. Ross Ashby es el personaje central. Se trata de una figura un tanto descuidada en la mayoría de las reconstrucciones de la cibernética, pero sin duda se trata de una de las mentes más profundas detrás del movimiento cibernético. En una nota autobiográfica de 1962, Ashby escribió sobre Ashby, contando que “desde 1928 Ashby ha prestado la mayor parte de su atención al problema de ¿cómo puede el cerebro ser al mismo tiempo mecánico y adaptativo? Obtuvo la solución en 1941 pero no fue sino hasta 1948 que el Homeostato fue construido para encarnar el proceso especial. . . . Desde entonces ha trabajado para hacer más clara la teoría de los mecanismos semejantes al cerebro [*brainlike mechanisms*]” (Ashby, 1962, p. 452, citado por Pickering, 2010, p. 98). La pregunta fundamental de Ashby se vuelve así la pregunta por los límites de las máquinas y, en el proceso, por su capacidad de servir como herramienta de estudio para comprender sistemas excesivamente complejos como el cerebro humano.

* Universidad Nacional de Córdoba (UNC), Facultad de Filosofía y Humanidades (FFyH) Centro de Investigaciones María Saleme de Burnichon (CIFYH). Córdoba, Argentina.

* CONICET. Córdoba, Argentina.
ailcic@ffyh.unc.edu.ar

Como lo anticipa el título del primer libro de Ashby, el concepto de diseño va a ser central.¹ Esto es porque va a entender que aplicando el método cibernético al fenómeno que se pretende estudiar, se debería poder construir, material o abstractamente, una máquina que sea capaz de duplicar o simular el comportamiento de dicho fenómeno, sin que deban existir entre ellos semejanzas estructurales. Una verdadera solución al problema sólo puede, por lo tanto, aceptarse si es que en última instancia permite la construcción de un sistema artificial semejante:

Para ser consistentes con los supuestos hechos, hemos de suponer (cosa que el autor acepta) que una solución real a nuestro problema permitiría la construcción de un sistema artificial que, como el cerebro vivo, sería capaz de adaptar su comportamiento. Así, si este trabajo es exitoso, incluirá (al menos por implicación) especificaciones para la construcción de un cerebro artificial que, de manera similar, se autocordine. (Ashby, 1952b, p. 10)

Design for a brain (Ashby, 1952b) es un libro destinado enteramente a explicar con detalles un modelo mecánico particular del cerebro –o, quizás mejor aún, de alguna clase posible de cerebro– pero también es un libro que elabora las conexiones entre los modelos mecánicos y los modelos matemáticos ya que, para justificar su construcción, Ashby debe introducir al lector en numerosos detalles de la teoría de los sistemas dinámicos. De hecho, si no fuera por el título uno creería que el libro poco tiene de cerebros. Esto se debe a que primero que nada es un tratado de por qué el comportamiento a gran escala del cerebro en su entorno puede entenderse como un sistema dinámico, esto es, un sistema que evoluciona en el tiempo cambiando de estados. Es esta concepción de alto nivel, en la que los detalles físicos o estructurales del fenómeno quedan excluidos –su interpretación como una caja negra con entradas y salidas– la que le va a permitir diseñar una máquina que tenga, desde este nivel, la misma clase de comportamiento. (Ashby, 1952) es un libro en el que se pone en práctica el método cibernético para poder responder la pregunta que lo guía. La reflexión sobre el método y su justificación tienen su punto máximo en la *Introducción a la cibernética* (Ashby, 1956), un texto que es complementario a *Design for a brain* y con reflexiones mucho más profundas. Lo que me interesa rescatar de esta serie de reflexiones es la actitud frente a las máqui-

¹ La segunda edición del libro de 1960 se tradujo al español como *Proyecto para un cerebro: El origen del comportamiento adaptativo* (Ashby, 1960/1965).

nas como modelos de los fenómenos de la naturaleza que encarna Ashby y que reflejan el ideal de la cibernética, detrás de los cuales se encuentra la necesidad de simular un comportamiento mediante una máquina, entendida ésta última en sentido amplio. Son las máquinas, entonces, las que le van a permitir a la cibernética *poner a prueba* sus modelos. Esto es, van a ser el recurso empleado para determinar que un modelo de un sistema complejo no está eliminando mediante sus idealizaciones el conjunto de elementos cuya interacción se puede decir compleja y que es la causa del fenómeno que se pretende estudiar. Aquí yace una tensión del modelado ya que precisamente hay que *modelar* la complejidad (*i.e.* simplificarla de alguna manera) sin perderla del todo. Esto lleva a que la cibernética reconozca a la complejidad como un fenómeno en sí mismo, que debe ser estudiado científicamente y a postularse ella misma como uno de los métodos para poder estudiar dicha complejidad:

En el estudio de algunos sistemas, sin embargo, la complejidad no puede evadirse completamente. . . . Pero la ciencia actual está dando los primeros pasos en el estudio de la “complejidad” encarada como tema autónomo. La cibernética se destaca entre los métodos para lidiar con la complejidad. Rechaza las ideas vagamente intuitivas que adquirimos al emplear máquinas tan simples como el reloj despertado y la bicicleta, y se presta a construir una disciplina rigurosa sobre lo complejo. . . . La cibernética ofrece la esperanza de proporcionar métodos efectivos para el estudio y el control de sistemas que son intrínseca y extremadamente complejos. (Ashby, 1956, p. 5-6)

Aquí Ashby señala dos aspectos muy importantes. El primero, y sobre el que elaboro más adelante, es que la complejidad es siempre relativa a un sistema (en oposición a un objeto). El segundo es la interpretación clásica de las máquinas y sus limitaciones que recién con la aparición de la cibernética puede ponerse completamente en cuestión dado que se puede comenzar a pensar una clase diferente de máquina, cuyo funcionamiento no esté atado a un propósito “de bajo nivel” y, por lo tanto, que dicho funcionamiento no esté limitado por las intenciones del diseñador y los órganos que le dotó a la misma durante su fabricación. Uso el término “órgano” en el sentido cartesiano ya que debemos a Descartes una de las mejores formulaciones sobre la interpretación clásica de las máquinas. Esta concepción cartesiana de máquina es la que opera detrás de lo que Turing (1950) llamó la “objección de Ada Lovelace” a la posibilidad de “inteligencia maquina”, ya que cuando Lovelace describía el motor analítico de Babbage dejaba en claro que el motor no podía inventar ni descubrir nada “nuevo”:

El Motor Analítico no tiene pretensión alguna de *originar* algo. Puede realizar cualquier cosa que *sepamos cómo ordenarle* que la realice. Puede seguir el análisis; mas no tiene poder alguno de *anticipar* ninguna relación o verdad analíticas. Su lugar es el de asistirnos en hacernos *disponible* aquello con lo que ya estamos familiarizados. (Lovell, 1843, p. 689. Énfasis en el original)

Como suele ocurrir algunas veces, la “solución” a este problema o límite de las máquinas apareció poco tiempo después de esta afirmación, de la mano de la biología. La teoría de la selección natural, de hecho, puede leerse como una solución al problema de la originalidad por medios meramente mecánicos. Ahora bien, incorporar el método de la selección natural al diseño de las máquinas es algo que debió esperar casi cien años más. Ashby y Turing llegan a conclusiones similares aproximadamente al mismo tiempo y los dos ven a las máquinas como el recurso ideal para comprender los procesos naturales. Para Ashby, el cerebro humano debe realizar una tarea análoga a la de la selección natural para producir comportamiento adaptativo y no hay razón lógica alguna por la que dicho método no pueda implementarse mecánicamente:

espero mostrar que un sistema puede ser de naturaleza mecánica y pese a eso puede dar origen a un comportamiento que sea adaptativo. Pretendo mostrar también que la diferencia esencial entre el cerebro y cualquiera de las máquinas hasta ahora construidas no es otra que en que el cerebro hace considerable uso de un método que hasta el momento se utilizando muy poco en las máquinas. Espero mostrar que mediante dicho método podemos hacer que el comportamiento de una máquina sea tan adaptativo como queramos, y que es posible que con el mismo método pueda explicarse incluso la adaptabilidad humana. (Ashby, 1952b, p. 1)

La carga de la prueba estará, claro, en nuestra capacidad de crear máquinas que utilicen un proceso semejante al de la evolución, pudiendo utilizar una regla simple para generar “más diseño y adaptación que la regla usada para generarla” (Ashby, 1952a, p. 50). En el proceso de crear dicha máquina, Ashby da una interpretación de la teoría de la evolución en términos de sistemas dinámicos, la que le permite ver a los dos procesos como análogos. La máquina que logra fabricar Ashby en 1948 para implementar físicamente lo que ya había imaginado a principio de esa década fue bautizada con el nombre de “Homeostato” ya que su comportamiento se puede describir, parafraseando a Proust, como el de una “búsqueda de la homeostasis perdida”.

Desde el punto de vista técnico, el Homeostato es una máquina bastante simple cuya novedad radica en su diseño y, fundamentalmente, en el comportamiento que puede lograr pese a su simplicidad.² Estrictamente el Homeostato no es una máquina sino cuatro máquinas idénticas (llamadas unidades) conectadas entre sí, de manera tal que el estado de cada una de ellas afecta al estado de las otras. Cada una de las unidades es una pequeña torre metálica, arriba de la cual hay un imán suspendido, que es el foco de atención del dispositivo. El comportamiento del imán está afectado por el campo magnético que generan cuatro bobinas que se encuentran a su alrededor. La corriente de las bobinas proviene de cada una de las unidades, incluyendo una bobina conectada a la misma unidad que se puede entender como de auto-alimentación. Al frente de cada imán hay una pequeña cuba de agua en cuyos extremos hay un electrodo, uno a -2 V y en el otro extremo a -15 V, creando un diferencial. El imán está suspendido de una pequeña aguja, sobre la que pivotea un alambre. Uno de sus extremos se hunde en la cuba de agua, tomando el potencial de acuerdo al lugar en la cuba en el que se encuentre, mientras que el otro extremo del alambre está conectado a un triodo, de donde cada unidad emite su corriente de salida; así la intensidad de dicha corriente depende de la posición del alambre que depende, a su vez, del movimiento del imán. Una resistencia conectada al triodo asegura que cuando el imán esté justo en la posición central la corriente de salida sea nula. Por la forma en la que las unidades están conectadas, esta corriente de salida funciona como una de las entradas de cada una de las otras tres unidades. Esto hace que cada vez que la máquina es encendida los imanes se muevan por las corrientes de las unidades, pero el movimiento de los imanes causa diferencias en las corrientes, por lo que constantemente se generan nuevos movimientos.

Las unidades tienen distintos elementos con los que se pueden modificar las “reacciones” del aparato. Por ejemplo, la polaridad de la corriente de entrada a cada una de las bobinas puede ser invertida mediante un interruptor, mientras que, a su vez, cada una de las bobinas cuenta con un potenciómetro por el que se puede regular qué fracción de la corriente de entrada total llega finalmente a la bobina correspondiente. Algunas de las

² Este es otro *insight* de la cibernética, que está atado a corregir el sesgo detrás de la concepción cartesiana de que sólo lo infinitamente complejo puede crear algo infinitamente complejo. En realidad, un sistema extremadamente simple puede producir un comportamiento increíblemente complejo a tal punto que no se pueda reconstruir (esto es, modelar) el sistema original a partir de la observación del comportamiento.

configuraciones posibles llevan al sistema a un estado de equilibrio, en el que todos los imanes quedan en la posición central, lo que representa un equilibrio activo o dinámico ya que el sistema está en constante funcionamiento para permanecer en dicho estado y si se lo perturba de alguna manera busca volver a dicho estado. Otras de las configuraciones iniciales son completamente inestables, por lo que los imanes nunca quedan fijos en su lugar central.

La facultad de retornar al estado de equilibrio (que fue fijado “a mano” mediante la configuración inicial) tras recibir una perturbación es una propiedad interesante del aparato, pero no es la central. El comportamiento más interesante del Homeostato se da cuando su configuración no está fijada por los controles manuales, sino que está sujeta a la posición de un uniselector disponible en cada una de las unidades. Un uniselector es una clase de telerruptor o interruptor de paso (también conocido como relé paso a paso). Estos dispositivos electromecánicos permiten que una corriente de entrada sea realizada o direccionada a una de muchas posibles conexiones de salida, cuyo control está regulado por una serie de pulsos eléctricos, aunque también puede ser controlado por un motor rotario.³ El uniselector de Ashby tiene 25 posiciones que fueron seleccionadas al azar, con los valores numéricos procedentes de un libro de números al azar, como los que se podían comprar en esa época. El patrón de la retroalimentación de las unidades está determinado por el valor de salida de los uniselectores de cada una de las unidades, lo que deja al Homeostato con un total de 390.626 combinaciones posibles. La bobina que acciona el uniselector sólo se activa cuando la corriente de salida de la unidad excede el nivel de umbral del relé al que está conectado. Cuando el Homeostato está regido solamente por los uniselectores, emerge un nuevo comportamiento del sistema ya que cada vez que el comportamiento en una configuración dada es inestable (lo que equivale a decir que el imán está lejos de la posición central), el uniselector varía su estado. Se puede decir que el sistema empieza a buscar su estado de equilibrio probando las distintas configuraciones posibles. Esta es la manera en la que Ashby describe el funcionamiento del Homeostato bajo este modo automático de operación:

³ Este era el caso de los uniselectores utilizados por la “Bombe”, la computadora electromecánica de uso específico diseñada por Alan Turing para descifrar los mensajes que los alemanes codificaban mediante la máquina Enigma. Quizás el uso más popular de esta clase de relés fue en las viejas centrales telefónicas.

En otras palabras, la máquina empieza a cazar una combinación de configuraciones de los uniselectores que dan un sistema estable, esto es, que dan las retroalimentaciones internas correctas. Cuando encuentra una combinación con las retroalimentaciones correctas, la mantiene y demuestra que ha armado el sistema de retroalimentación que resulta en un mantenimiento coordinado de sus variables en un valor óptimo, como un ser vivo. El punto importante es que encuentra su propia disposición [*arrangement*] de retroalimentación, el diseñador meramente se limitó a proveerle de mucha variedad. (Ashby, 1949, p. 78)

Dicho mantenimiento de las variables del sistema dentro de un rango determinado es la forma en la que Ashby entiende a la homeostasis y, la noción propia de variable es esencial para la cibernética, ya que va a ser el recurso usado para determinar el sistema que está bajo estudio. Algo interesante que puede simularse en el Homeostato es la adaptación a un determinado ambiente, ya que se puede establecer la configuración de una o dos unidades manualmente y dejar que los otros dos sean controlados por el uniselector. Una vez encontrado un equilibrio, cualquier modificación manual de los valores puede ser visto como un cambio en el ambiente, al cual el sistema nuevamente debe adaptarse. Las desestabilizaciones también pueden ser no diseñadas o previstas, ya que se puede intervenir el aparato, por ejemplo, moviendo el imán manualmente, conectando mecánicamente dos imanes para que se muevan en conjunto, cambiarle el recorrido dentro de la cuba, etc. Bajo cualquier intervención no destructiva, el sistema vuelve a explorar el espacio de configuraciones disponibles hasta lograr un estado de equilibrio.

Ashby se pregunta si el Homeostato es un cerebro y responde que no lo es, que claramente está muy lejos de *ser* un cerebro. El principal punto en contra en la comparación con el cerebro de un mamífero es que el Homeostato no tiene forma de guardar una configuración a la que volver después frente a un estímulo; su falta de memoria le obliga a descartar toda adaptación para poder adaptarse a las nuevas condiciones que el medio ambiente le impone. Ahora bien, ya para Ashby a finales de los años 1940, la dificultad es menor ya que se puede solucionar con más unidades y pequeñas alteraciones en las conexiones. De todas formas, el Homeostato nunca pretendió *ser* un cerebro sino simplemente servir como un prototipo de una clase diferente de máquinas, para mostrar que uno de los comportamientos más indicativos de un cerebro –su adaptabilidad– es posible de realizarse mediante procesos meramente mecánicos. Es pre-

cisamente en esta adaptabilidad en la que Ashby ve el medio para lograr cualquier clase de *imitación* de un comportamiento inteligente:

La creación de un cerebro sintético requiere ahora poco más que tiempo y trabajo. Pero hay un punto que debe quedar muy en claro: un cerebro sintético adecuado debe desarrollar *su propia* inteligencia [*cleverness*] –no debe ser un mero loro. Sin importar qué tan sorprendente sea el comportamiento, siempre debemos preguntar qué tanto de dicho comportamiento ha sido forzado por el diseñador y qué tanto es contribuido por la máquina misma. (Ashby, 1949, p. 79. Énfasis en el original.)

Si bien el homeostato no es un cerebro, sí es una “prueba de concepto” de que una de las características principales del cerebro puede ser entendida maquinicamente, siempre y cuando se extienda la categoría de máquina para integrar esta nueva *clase* de máquinas, que van más allá de las máquinas clásicas o cartesianas porque no se limitan a llevar a cabo un procedimiento específico que heredan del diseñador, sino que pueden aprender y cambiar su configuración. Si no fuera por la mención del Homeostato, la frase siguiente pareciera estar hablando de un modelo de aprendizaje maquínico o automatizado [*machine learning*] contemporáneo, describiendo a grandes rasgos lo que se conoce como aprendizaje supervisado:

La otra clase de máquina, el Homeostato, está basado en principios diferentes. No necesita instrucciones detalladas, sólo necesita algún método por el que se le informe de la ocurrencia de movimientos no legales y de los jaques mates. Cómo debe hacer la máquina para evitar estas informaciones (retroalimentación) se deja que ella misma lo averigüe. (Las adaptaciones ya demostradas por el homeostato fomentan la confianza de que con sólo desarrollos menores la máquina va a tener éxito). (Ashby, 1949, p. 79)

Esto permite ver al Homeostato y al cerebro como instancias de una misma *clase de máquina* dentro del conjunto máquinas posibles, conjunto que no se agota en las dos categorías descritas hasta aquí, aunque sí lo hace para la cibernética temprana. Una máquina está en la misma clase si puede usarse para *simular* o *imitar* el comportamiento de una máquina que ya esté en esa clase, lo que vuelve a poner en escena al concepto de comportamiento y el de caja negra, ya que no se presume los detalles específicos de la estructura interna, sino que se entiende a la máquina abstraída de tales detalles (cf. Rosenblueth & Wiener, 1945). Esto es importante porque no sólo señala que debe usarse un método para estudiar al comportamiento

de las máquinas abstractas, el núcleo de la cibernética, sino que también deben considerarse la forma mínima en la que una máquina abstracta debe estar configurada, para lograr su comportamiento, lo que hace a su ubicación en la clase de máquina. Ahí yace el balance a lograr entre las explicaciones de alto nivel o comportamentales/funcionales y las de bajo nivel o estructurales, no en sentido específico, sino más bien amplio. Aquí también se puede observar parte de la razón por la que cibernética es la primera ciencia de la computación en sentido amplio, ya que, si bien al comienzo no trató específicamente de sistemas computacionales directamente, los recursos que desarrolló para el estudio de las clases de máquinas sirvieron de base para el estudio teórico de la computación. Esta manera de entender la relación entre una máquina y un fenómeno a estudiar también puede ser usada para iluminar algunos aspectos del debate filosófico contemporáneo sobre el uso de las simulaciones computacionales y de los modelos en ciencia, tema que escapa a las limitaciones de este trabajo.

Conclusiones

Creo que no es exagerado decir que el Homeostato encarna la contribución filosófica más importante de la cibernética en tanto logra mostrar cómo la teoría de la selección natural, el gran avance de la biología del siglo XIX, puede tener lugar en el mundo de las máquinas, no sólo en el sentido de que los seres humanos inventan distintas máquinas entre las cuales los mejores diseños son seleccionados para ser usados y mejorados, sino también en el sentido en que la misma operación básica de la máquina, a su misma escala, puede hacer uso de un análogo de la selección natural para inventar su propio propósito –y método– de acción. Así, efectivamente, se pueden crear máquinas que simulan haber sido diseñadas y tener un propósito particular pese a que, estrictamente, fueron diseñadas para *no* tener un propósito, sino para buscarlo. La dinámica interna, abstractamente concebida, le da un rol fundamental al tiempo, otra característica de los procesos computacionales, que heredan de nuestra concepción de los sistemas dinámicos. Norbert Wiener utiliza el término “transitorio” para referirse a la falta de propósito de estas “máquinas darwinianas”, otro término que acuñó y que recomendó a Ashby para etiquetar a la clase de máquinas como el cerebro y el homeostato:

Así resulta que en la máquina de Ashby, como en la naturaleza de Darwin, aparece un propósito en un sistema que no fue construido para que lo tuviera, simplemente por ser transitoria la carencia de finalidad de acuerdo con su misma naturaleza. A la larga, el gran propósito trivial de la entropía máxima parecerá ser el más duradero de todos. Pero en las etapas intermedias un organismo o una sociedad de ellos tenderá a permanecer más tiempo en aquellos modos de actividad en los que las diferentes partes funcionan conjuntamente, según una estructura [*pattern*] que tendrá más o menos sentido. (Wiener 1954/1969, p. 36)

La clave está en que dicho “patrón significativo” de acuerdo al cual las partes se comportan para mantenerse alejado del propósito final de cualquier sistema, el estado de máxima entropía al que todo está condenado, no tiene que estar incorporado en el diseño, sino que puede ser creado por la misma operación de la máquina, pudiendo encontrar así otras formas de configuración para mantenerse en ese “equilibrio dinámico” lejos del estado de equilibrio termodinámico. Wiener nota, que la clase de máquinas que sugiere el Homeostato de Ashby es una contribución filosófica fundamental, no sólo porque cambia totalmente la concepción limitada de las máquinas que era propia de la época sino porque al hacerlo abre la puerta a una infinidad de nuevas posibilidades para la automatización de las tareas de la humanidad:

Creo que la brillante idea de Ashby del mecanismo arbitrario sin propósito que busca uno propio mediante un proceso de aprendizaje es no sólo una de las más valiosas contribuciones de nuestra época a la filosofía, sino además algo que conducirá a progresos sumamente útiles en la automatización. No sólo podemos introducir un propósito en las máquinas, sino que, en la inmensa mayoría de los casos, la máquina diseñada para evitar determinadas fallas de funcionamiento buscará por sí misma un propósito que puede llevar a cabo. (Wiener 1954/1969, p. 36)

El mismo Ashby ya había considerado la posibilidad de que estas máquinas puedan ser utilizadas para controlar aquellos sistemas que son extremadamente difíciles de predecir y controlar debido a que su naturaleza escapa a la comprensión de la humanidad en un determinado momento, lo que implica que dentro de las capacidades de la máquina estaría la de encontrar leyes de la naturaleza que todavía no conocemos y que quizás sólo podamos conocer mediante dicha clase de máquinas:

La construcción de una máquina que reaccione exitosamente a situaciones más complejas que las que pueden ser manejadas actualmente por el cerebro humano transformaría mucha de nuestras dificultades y perplejidades. Una máquina semejante podría ser utilizada, en el futuro distante, no meramente para conseguir una respuesta rápida a una pregunta difícil sino también para explorar regiones de sutileza y complejidad intelectual que de momento están más allá de los poderes humanos. Por ejemplo, los problemas políticos y económicos del mundo a veces parecen involucrar complejidades que van incluso más allá de las capacidades de los expertos. Quizás a una máquina semejante se le pueda suministrar enormes tablas de estadística, cantidades de hechos científicos y otros datos, de manera tal que después de un tiempo puede llegar a emitir como resultado una amplia serie de instrucciones complicadas, un tanto sin sentido para quienes tengan que obedecerlas pero que, sin embargo, lleven de hecho a una resolución gradual de las dificultades políticas y económicas gracias a su entendimiento y uso de principios y leyes naturales que a nosotros todavía nos son oscuros. (Ashby, 1949, p. 79)

Si bien puede parecer una solución un tanto drástica a algunos problemas, soluciones semejantes se están aplicando actualmente en dominios mucho más acotados mediante el uso de modelos que sugieren decisiones, siendo sus resultados producto de la aplicación de redes neuronales artificiales cuyo funcionamiento interno no nos es transparente, ni siquiera para quienes la implementaron. Quizás lo más importante a remarcar aquí es como ya Ashby señalaba que existen ciertos dominios en los que no se puede pretender soluciones simples y elegantes, sino que dada la naturaleza intrínsecamente compleja del fenómeno que se pretende estudiar o controlar, cualquier modelo que se considere un buen modelo para tales efectos va a ser un modelo a su vez intrínsecamente complejo. Si bien es posible crear modelos más sencillos y entendibles que puedan ser usados para comprender algunos aspectos del fenómeno, es necesario reconocer cuáles son los límites del modelado. El Homeostato representa un caso prototípico de modelado de sistemas complejos, mediante el cual se puede reconstruir el comportamiento de un sistema complejo, haciendo que sus descripciones sean equivalentes sólo en determinado nivel de abstracción. Reconocer dicho nivel de abstracción y lo que se gana y se pierde al fijar el mismo es parte esencial de cualquier práctica de modelado y es de vital importancia para justificar el conocimiento que se extrae de los modelos. Esto implica también poder acomodar dicho modelo en la jerarquía de modelos y cómo los mismos están conectados entre sí (cf. Rosenblueth & Wiener, 1945). Quizás la principal lección a extraer es que la relación *mo-*

delo-modelo es al menos tan importante como la relación *modelo-mundo*, y probablemente sea aún más importante que esta última. Después de todo es establecer relaciones entre modelos es precisamente lo que permite una simulación.

Referencias

- Ashby, W. R. (1949). The electronic brain. *Radio Electronics, Special Television Number*(March), 77–80.
- Ashby, W. R. (1952a). Can a mechanical chess-player outplay its designer? *The British Journal for the Philosophy of Science*, 3(9), 44–57
- Ashby, W. R. (1952b) *Design for a brain*. London: Chapman & Hall.
- Ashby, W. R. (1956). *An introduction to cybernetics*. New York: J. Wiley.
- Ashby, W. R., (1965). *Proyecto para un cerebro: El origen del comportamiento adaptivo* (V. Sánchez de Zavala, Trad.) Madrid: Tecnos. (Obra original publicada en 1960)
- Lovelace, A. K. (1843). Notes on ‘Sketch of the analytical engine invented by Charles Babbage, by LF Menabrea, officer of the military engineers, with notes upon the memoir by the translator’. En R, Taylor (Ed.). *Scientific memoirs*, 3 (pp. 666–731). London: Richard and John E. Taylor.
- Pickering, A. (2010). *The cybernetic brain: Sketches of another future*. Chicago; London: University of Chicago Press.
- Rosenblueth, A., & Wiener, N. (1945). The role of models in science. *Philosophy of Science*, 12(4), 316–321. <https://doi.org/10.1086/286874>
- Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59(October), 433–60.
- Wiener, N. (1961). *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine* (2nd ed.). MIT press.
- Wiener, N. (1969) *Cybernetics y sociedad* [*The human use of human beings: Cybernetics and society* (2nd ed.)] (J. Novo Cerro, trad.). Buenos Aires: Sudamericana. (Obra original publicada en 1954)