

Ciencias de la complejidad y desarrollo tecnológico

Resumen

Este artículo discute las estrechas relaciones entre las ciencias de la complejidad y los desarrollos tecnológicos actuales más relevantes. En este se afirma que el estudio de la complejidad ha sido una especie de motor para los avances en curso de la tecnología, tal y como los encontramos hoy en día. Ahora bien, la no linealidad constituye la propia impronta de la complejidad, esto es, de la complejidad creciente. A la vez que lleva a cabo una representación de la historia reciente de las relaciones entre complejidad y progreso tecnológico, este artículo explora el significado amplio de dicha relación en términos culturales, científicos y filosóficos. Por lo tanto, se ofrece aquí una visión fresca acerca de los rasgos más destacados del mundo que estamos viviendo.

Palabras clave: no linealidad, progreso científico y tecnológico, tecnociencia, macrociencia.

Abstract

This paper discusses the intricacies between the sciences of complexity and the most relevant current technological development. It assesses that the study of complexity has been a kind of engine for the ongoing technological advances we face nowadays. The core of current technology is non-linearity, to be sure. Yet, nonlinearity is the very stamp of complexity, namely increasing complexity. While depicting the recent story of the relationship between complexity and technological progress, the paper explores the broad meaning of such a relation in cultural, scientific and philosophical terms. As a consequence it provides a fresh overlook of one of the most interesting and salient features of our world as we live it.

Keywords: Non-linearity, scientific and technological progress, techno-science, big science.

Introducción

El estudio de fenómenos, sistemas y comportamientos caracterizados por no linealidad, emergencia, autoorganización y sinergias, y que es conocido como ciencias de la complejidad, tiene una relación fuerte e intrínseca con el desarrollo tecnológico de finales de buena parte de la segunda mitad del siglo XX y comienzos del siglo XXI. La razón es doble: por un lado, las ciencias de la complejidad se fundan en el desarrollo de la computación y, en general, de los sistemas informacionales, gracias al hecho de que el desarrollo del computador permitió por primera vez en la historia de la humanidad no solamente ver (literalmente), sino también, por ello mismo, trabajar con la no linealidad y trabajar sobre ella. Por el otro, en varios sentidos y planos, el propio desarrollo de las ciencias de la complejidad se erige como un importante factor catalizador de desarrollos tecnológicos.

Con este texto me propongo presentar brevemente —puesto que la bibliografía al respecto ya es amplia— la historia de la forma como existe una fuerte imbricación recíproca entre complejidad y tecnología —en rigor, la denominadas *nuevas tecnologías*—; pero, al mismo tiempo y de manera principal, me propongo señalar los ejes filosóficos, científicos y tecnológicos sobre cómo el estudio de la complejidad ha incidido positivamente en los recientes desarrollos tecnológicos.

Sin embargo, también me propongo estudiar el significado de esta imbricación, un tema que desborda el plano meramente histórico y que se con-

centra en la reflexión más amplia y profunda sobre las relaciones ciencia-tecnología, en el marco de las ciencias dedicadas a los sistemas de complejidad creciente. De esta forma, la mirada puede dirigirse, ulteriormente, hacia el futuro inmediato de las relaciones entre la tecnología y la ciencia en el marco cultural que supera, de manera cada vez más contundente, la antigua escisión entre ciencia y humanidades.

Complejidad, computación y matemáticas

El estudio de la complejidad está directamente ligado a la computación, y por derivación, a las matemáticas. Esta doble relación merece una consideración detallada que nos conduce a unos de los orígenes de la complejidad (Maldonado, 2009). En el Congreso de Matemáticas, realizado en París en agosto de 1900, David Hilbert planteó 23 problemas que, según él, habrían de marcar el desarrollo de las matemáticas de los próximos cien años.

En esencia, lo que planteaba Hilbert no era más que la continuación del sueño de Euclides, por así decirlo, consistente en elaborar un sistema deductivo de todos los números naturales. Si el propósito de Hilbert podía llevarse a cabo, los matemáticos estarían ad portas de elaborar un sistema deductivo de prácticamente todas las matemáticas, puesto que todas se fundan en o se derivan de los números naturales. “Dios creó los números naturales (*integers*,

en inglés); lo demás lo creó [sic] los hombres”, es una clásica expresión de los matemáticos.

Pues bien, el programa de Hilbert —que así se llamó— sufrió un doble golpe mortal, primero con el trabajo de Kurt Gödel, en 1924, acerca del teorema de la incompletud, y posteriormente, en 1932, con el trabajo de Alan Turing, en torno a la existencia de programas indecidibles. La idea de incompletud y la de indecidibilidad hacían prácticamente imposible el sueño de elaborar un sistema deductivo como el que pensaba Hilbert y que era, en rigor, la mejor tradición de todo el pensamiento deductivo o hipotético-deductivo iniciado en el siglo III antes de nuestra era (a. n. e.) con los Elementos, de Euclides. Sin embargo, como lo precisa G. Chaitin (xyz), el triunfo de Hilbert tendría lugar (un tiempo después) no por vía de las matemáticas, sino de la computación.

En efecto, el formalismo hilbertiano triunfó por el camino del desarrollo de programas rigurosamente formales sintácticamente y que constituyen la base de todos los lenguajes de programación. Condicionados lógicamente gracias a los trabajos de A. Church y de Turing, la computación supone en su base —a partir de la configuración de un lenguaje binario que codifica todos los símbolos posibles en el universo— la existencia de un lenguaje altamente formalizado y de tipo deductivo. Este lenguaje no es más que el sistema binario que da lugar al *software* o a los *logiciels*.

Pero, ¿qué son las matemáticas? Pensar en matemáticas no es, simple y llanamente, otra cosa que pensar en estructuras y conceptos, según si estas estructuras se conservan o cambian. Así, pensar en matemáticas coincide, punto por punto, con la idea clásica de la filosofía, de tal suerte que filosofía y matemáticas se identifican por completo. En otras palabras, las matemáticas no son fórmulas o ecuaciones, y ambas sólo cumplen una función eminentemente económica, a saber: expresar de manera condensada lo que normalmente tomaría mucho más tiempo expresar en un lenguaje normal. Pero aquello que contienen o que expresan las fórmulas

y las expresiones son, sencillamente, conceptos y estructuras; no más.

Pero, ¿qué es la computación? Esta pregunta nos conduce de manera directa e inmediata a la complejidad. Si, por un lado, una “ecuación” no es otra cosa que un “problema”; así mismo, el objeto de la computación no es nada más ni nada menos que el trabajo, o mejor, el tiempo necesario para resolver un problema determinado. Correspondientemente, se hablará de un tiempo de computación y de complejidad computacional, que es el tiempo requerido por un programa para resolver un problema. Más adelante volveré sobre esta idea.

Dicho de una manera general, la ingeniería de sistemas no tiene nada que ver con lo que habitualmente se ha entendido, a saber con computadores y lenguajes de programación, sino, más auténtica y originariamente, el estudio de las dinámicas de sistemas, por ejemplo, si estos sistemas son cerrados, aislados o abiertos, y qué es lo que sucede en cada caso con el sistema, tanto con los elementos que lo componen como con las relaciones entre el sistema considerado y otro(s).

La ciencia contemporánea, y por derivación toda la cultura y el mundo contemporáneo, se fundan por completo y cada vez más en los sistemas informacionales y computacionales. Pues bien, el mundo contemporáneo se funda enteramente en la idea de “sistema”, y ello en relación genérica con la caracterización presentada. Los sistemas son fenómenos que tienen uno o varios problemas por resolver y que los resuelven, quizás, en función de un tiempo y de unos algoritmos determinados. Por derivación, toda la ciencia y la tecnología contemporánea se encuentran en la base de las acciones y de las comprensiones y lenguajes del mundo contemporáneo.

Complejidad y posibilidad

El trabajo con computación no es, estrictamente hablando (únicamente), un trabajo con espacios reales o empíricos; además (y principalmente), es el trabajo con espacios de posibilidades, espacios ima-

ginarios o espacios de soluciones. A fin de comprender esta idea, vale recabar que el computador es una herramienta *conceptual* —que posee sintaxis, semántica, memoria y reglas lógicas, a partir de las cuales, o con las cuales se llevan a cabo modelamientos y simulaciones—.

En verdad, mientras que toda la ciencia occidental —y por derivación o por conexión toda la técnica y la tecnología, tanto como la filosofía occidental— trabajó siempre con espacios reales o empíricos, con aplicaciones y experimentaciones reales, el desarrollo del computador y de la computación hizo posible, por primera vez en gran escala, trabajar con espacios posibles o imaginarios. Así, literalmente, la complejidad de los problemas con los que trabajan los científicos, tecnólogos e investigadores aumentó de manera magnífica —siempre, claro, en correspondencia con un marco o resorte cultural, en el sentido más amplio y profundo de la palabra—.

Dicho en lenguaje más técnico, el trabajo posible con el computador es principalmente el trabajo con espacios de fase, que es donde tienen lugar transiciones de fase; traducido al lenguaje de las matemáticas, se trata del trabajo con espacios de Hilbert (y que se escriben técnicamente como *H*).

Así, mientras que el espacio físico “real”, empírico, es un espacio de tres dimensiones, gracias a la computación podemos trabajar con espacios de más de tres dimensiones y con fenómenos y sistemas de una amplia complejidad estructural o también dinámica. Con ello, al mismo tiempo, se expande de manera extraordinaria el horizonte de tiempo con los que es posible trabajar, y se alcanza a trabajar con tiempos geológicos, de ecosistemas, planetarios, galácticos y otros, en contraste con las escalas y densidades temporales con las cuales la civilización occidental estaba habituada, a partir de sus orígenes alrededor del siglo V a. n. e., en la Grecia antigua.

De esta suerte, la historia de la ciencia contemporánea es exactamente la historia mediante la cual los seres humanos hemos llegado a relacionarnos con fenómenos, estructuras y procesos alta y cre-

cientemente contraintuitivos. La ciencia contemporánea es alta y crecientemente contraintuitiva. Algunos ejemplos son: “relatividad”, “fenómenos cuánticos”, “genómica”, “teoría informacional”, “espectros visibles distintos a la luz solar”, “ecuaciones de Kaluza-Klein”, “supercuerdas”, “branas”, o también, en otro espectro, “sostenibilidad”, “calidad de vida”, “felicidad”, “derechos humanos de tercera y de cuarta generación” y muchos otros.

Gracias a esa herramienta conceptual que es el computador se hace manifiesto y más evidente en qué consiste la ciencia en general y el trabajo de los científicos. Dicho en un lenguaje que oscila entre la filosofía y un sentido general, la ciencia consiste en hacer visible lo invisible. Pues bien, el mérito del computador no es, simple llanamente, otro que el de hacernos visibles, por vía del trabajo con espacios imaginarios posibles, gracias a los lenguajes de programación, procesos, fenómenos, sistemas y dinámicas, que de otra forma serían invisibles —como se puede constatar retrospectivamente, cuando se mira la historia de la ciencia y de la tecnología hasta los orígenes de la humanidad—.

Complejidad y grados de libertad

Es posible decir, sin ambages, que toda la ciencia —en el sentido más amplio e incluyente de la palabra— occidental ha sido ciencia de control, predicción y manipulación. En consecuencia, la cultura y las sociedades basadas en esa ciencia han sido sociedades y cultura de manipulación, predicción y control. No en vano el concepto de poder permea buena parte de la historia occidental.

La forma como la ciencia actúa en el mundo es a través de la tecnología¹. Pues bien, como es sabido, el ámbito de la tecnología es, en general, el de la ingeniería. Dicho de otra manera, la ingeniería es la forma como la ciencia contemporánea actúa en el mundo. Como es sabido, el tema del control permea o marca de un extremo al otro a toda la ingeniería en general —independientemente incluso de las distinciones que se puedan hacer, como es efectivamente el caso, en el interior de la ingeniería—.

1 Dejo aquí de lado cualquier referencia a la técnica, y por tanto también a las diferencias entre técnica y tecnología. La razón estriba en el hecho de que cualquier consideración al respecto no modifica para nada los planteamientos y los análisis de este texto.

Existen, por lo tanto, dos o tres clases de ingeniería: la ingeniería convencional, la ingeniería no convencional y la ingeniería de sistemas complejos. El plano que permite distinguir claramente a la primera de las dos últimas es que el fundamento de la ingeniería convencional es la física en el sentido clásico de la palabra; es decir, la mecánica clásica, y que remite a la obra de Galileo, Kepler, Copérnico y Newton. Traducido al lenguaje de la historia de la técnica y de la economía, se trata de la ingeniería que hizo posible a la Revolución Industrial, e incluso, parcialmente, a la Revolución Postindustrial.

La ingeniería convencional ha sido identificada en numerosas ocasiones con la ingeniería de sistemas complejos, y su padre es Yaneer Bar-Yam. El rasgo más destacado con respecto a los temas de control, predicción y manipulación es el de que la ingeniería no convencional trabaja con un concepto perfectamente distinto, a saber: control difuso, control descentralizado, autoorganización y emergencias. Con ello, como se aprecia fácilmente, el modelo ya no es físico o fisicalista, sino, mejor aún, se trata del trabajo con sistemas vivos y, en general, de la ingeniería que se lleva a cabo de cara a la biología y a la ecología.

Los sistemas vivos son, manifiestamente, los de mayor complejidad conocida —en cualquier acepción de la palabra: complejidad estructural, complejidad dinámica, complejidad algorítmica, complejidad computacional, complejidad termodinámica, por ejemplo—. De este modo, la tecnología y la ciencia contemporánea se caracterizan por que se refieren directamente o, por lo menos, implican o suponen, la existencia de fenómenos, dinámicas y procesos vivos. Con ello, la ciencia y la tecnología contemporáneas son —cada vez más— tecnología y ciencia que se definen en función de los grados de libertad del sistema o del fenómeno estudiado, de tal suerte que, a mayores grados de libertad mayor complejidad, y viceversa.

Puntualmente dicho, la ciencia y la tecnología que se encuentran en la base del estudio de las ciencias de la complejidad o del estudio de los siste-

mas de complejidad creciente son tecnología y ciencia que afirman o que crean números crecientes de grados de libertad de los sistemas. La complejidad del mundo y de los problemas tratados no puede ser mayor, relativamente a la historia de los últimos 2.500 años. El tipo de sociedad de que tratan la ciencia y la tecnología actuales es, consiguientemente, la sociedad y la cultura de la información y del conocimiento —en contraste con las sociedades industriales, postindustriales y anteriores—.

Complejidad y no linealidad

La complejidad y no linealidad es una característica esencial a los sistemas complejos —cuyo epitome es la vida— que no pueden ser comprendidos por vía del análisis, puesto que la descomposición y desagregación de un sistema vivo (o complejo) termina por eliminar físicamente al fenómeno estudiado. En consecuencia, el modo de trabajo preferencialmente adoptado en el estudio de la complejidad es la síntesis. Pues bien, gracias a ello, es posible comprender de manera expedita que los sistemas complejos son no lineales e implican, intrínseca o necesariamente, la no linealidad.

En efecto, un problema se dice que es lineal cuando existe una y solamente una solución, independientemente del carácter o el tipo de solución. Por el contrario, cuando un problema admite más de una solución posible se dice que dicho problema es no lineal. Es fundamental reconocer explícitamente que cuando un problema admite o exige más de una solución posible es obligación del investigador trabajar con el n número de soluciones posibles *contemporánea* o *simultáneamente*, sin que sea posible, en absoluto, desagregar, priorizar o maximizar alguna(s) de las solución(es) posible(s).

Vivimos un mundo no lineal precisamente debido a los procesos crecientes y cada vez más sólidos de integración, y que se expresa en sensibilidades a gran escala entre dimensiones y espacios distintos, en interdependencia creciente en múltiples planos. En este proceso en marcha no solamente la tecnología desempeña un papel protagónico, sino, ade-

más, ella misma —a través de los canales presentados en este texto— nos sitúa irremisiblemente en medio de un mundo no lineal. Cada vez más, la no linealidad es la regla, y debemos aprender a pensar y a actuar en correspondencia. Para ello, sin lugar a dudas, las ciencias de la complejidad constituyen, por así decirlo, una estupenda batería de herramientas.

En matemáticas hablamos de dos clases de problemas, y cualquier problema se inscribe en uno de ellos. Por un lado, hablamos de problemas P —que designa: problemas polinomiales—. Se trata de aquellos problemas que pueden ser abordados descomponiendo el problema en los términos o los componentes mismos que lo constituyen. Así mismo, un problema P es aquel que puede ser planteado y resuelto en un tiempo polinomial. En general, la inmensa mayoría de problemas que son de este tipo son lineales. Los problemas de esta clase se dice en matemáticas que son *irrelevantes*, porque pueden resolverse y porque su solución consiste en una única solución.

Al mismo tiempo, hablamos de problemas $N-P$ (que significa problemas no polinomiales). En contraste con los primeros, se trata de todos aquellos problemas que no pueden ser planteados y mucho menos resueltos descomponiéndolos en los elementos o los términos de que se compone o que los articulan. Consiguientemente, no pueden ser resueltos en un tiempo polinomial. Esta clase de problemas se designan en matemáticas como problemas *relevantes*.

Pues bien, los problemas que caracterizan a los sistemas no lineales, es decir, los fenómenos, sistemas y comportamientos de complejidad creciente, son particularmente del tipo $N-P$ —existen también los problemas $N-P$ duros (o difíciles) y los problemas $N-P$ completos. Para efectos de la comprensión aquí me permito omitirlos, provisionalmente—.

En términos generales, podemos caracterizar la complejidad como aquella clase de fenómenos, sistemas o comportamientos que carecen (absolutamente) de solución o bien no tienen (una) solución

porque poseen más de una (no linealidad). Con absoluta seguridad, la inmensa mayoría de los retos, problemas y desafíos más importantes del mundo contemporáneo son de este tipo. Sólo a título ilustrativo podemos pensar en temas como el cuidado del medioambiente, la pobreza, los temas y problemas de equidad, la distribución de la riqueza nacional y mundial, la búsqueda de vida y de inteligencia extraterrestre, en fin, la búsqueda e incorporación de energías alternativas.

Dicho de manera propedéutica, el trabajo con complejidad consiste en el tránsito del trabajo con problemas P hacia problemas $N-P$. Otra cosa, bastante más complicada, es la de si los problemas P forman parte o son completamente distintos de los problemas $N-P$. Hasta la fecha, no existe ninguna solución definitiva en ninguno de estos sentidos. La heurística, las metaheurísticas y los métodos de modelamiento y simulación se erigen como herramientas (tecnológicas, lógicas y conceptuales) que pueden contribuir, posiblemente, en el futuro, a una solución al respecto.

Complejidad, tecnología y problemas de punta

Morris ha señalado con precisión que los tres problemas de punta de la ciencia contemporánea —incluso, si se quiere, los tres problemas “últimos” de la investigación contemporánea— son el esclarecimiento de la estructura de la materia, la clarificación del origen de la vida y los temas y problemas relativos a las relaciones mente-cerebro. Los tres problemas, desde luego, se encuentran estrechamente entrelazados.

Pues bien, en el marco de las relaciones entre las ciencias de la complejidad y el desarrollo tecnológico de punta en el mundo, los tres problemas mencionados pueden ser traducidos (o especificados) como los trabajos en torno a la ciencia de materiales, los estudios sobre vida artificial e inteligencia colectiva (*swarm intelligence*) y la interfase cerebro-chip, respectivamente.

En el primer caso, los problemas consisten en el estudio de, y las relaciones entre, materia y an-

timateria, energía y energía oscura. Respecto al horizonte que se avizora, nos encontramos apenas en las primeras etapas, si bien, visto retrospectivamente en la historia de la ciencia y de la humanidad, hemos ganado bastante terreno. El área en general compete a la teoría cuántica y todo el horizonte subcuántico (teoría M, branas, supercuerdas, ecuaciones o dimensiones de Kaluza-Klein, por ejemplo), y no es ajeno a los temas acerca de la existencia de universos paralelos y la pluralidad de mundos.

En el segundo caso, el estudio de la vida artificial y de la inteligencia colectiva es un programa de investigación propio que contribuye inmensamente al propio esclarecimiento de los sistemas biológicos. Así, hemos aprendido que al lado de la biología en general hablamos también de biología húmeda y seca, exobiología, biología computacional, terraformación incluso y el enfoque Evo-Devo, y la teoría de los sistemas del desarrollo (TSD).

Finalmente, la interfase cerebro-chip es conocida como la próxima singularidad tecnológica. Respecto a ello existen dos posturas en la comunidad de científicos y tecnólogos: los más pesimistas creen que la próxima singularidad tecnológica sí se alcanzará, pero sitúan el espacio en el que se logrará alrededor de los próximos cincuenta años. Por el contrario, los más optimistas coinciden en que también se alcanzará, pero lo lograremos alrededor de los próximos 20 años.

Como se aprecia sin dificultad, las imbricaciones entre complejidad y desarrollo tecnológico son más estrechas que nunca. Y ellas no solamente están transformando la propia estructura de la ciencia en general, sino la naturaleza misma de la realidad, de la naturaleza y de nosotros mismos. Vivimos, con seguridad, tiempos estupendos y altamente promisorios. La condición, sin embargo, para comprender y vivir activamente en este mundo en curso es la del conocimiento, el estudio, el trabajo y la investigación con ciencia compleja —en el sentido más amplio y fuerte de la palabra—. Esta observación merece una consideración puntual.

Con absoluta seguridad, la característica cultural determinante de toda la historia de la humanidad occidental es la escisión entre dos culturas —para emplear

una expresión afortunada y ya clásica de xyz—: la de las ciencias y la de las humanidades. Los orígenes de esta escisión se remontan a la Grecia clásica y a la obra de las escuelas platónica y aristotélica. De acuerdo con esta dúplice tradición, no solamente existen ciencias, saberes, prácticas y disciplinas perfectamente separados y distintos, sino que por ese mismo camino existe una jerarquía de ciencias y saberes sobre otros. Para Platón, en el cénit de la ciencia se encontraba la geometría (las matemáticas, digamos), para Aristóteles lo era la física y la biología, en la Edad Media se trataba de la teología y en la modernidad, en general, las ciencias llamadas duras, positivas o naturales.

Esta historia y sus consecuencias han sido suficientemente estudiadas y criticadas, y sus consecuencias han sido siempre nefastas. Con seguridad, el mejor intento o logro de superación de este dualismo son las ciencias de la complejidad, y las implicaciones en el marco cultural, social, científico y tecnológico que han implicado.

Pero, ¿qué es tecnología?

La tecnología desempeña un papel protagónico en los destinos del mundo actual. No obstante, en rigor, hay que decir que no es la tecnología, por ejemplo, al lado de la ciencia. Hay una categoría reciente que no ha sido suficientemente incorporada y explotada, que permite comprender que no hay dos cosas: ciencia y tecnología, sino que son una sola. Se trata del concepto de *tecnociencia*, acuñado por primera vez en 1982, por Gilbert Hottois.

Esta idea, sin embargo, exige una consideración importante. Contra la comprensión vulgar de tecnología que la identifica con instrumentos, herramientas y aparatos modernos y recientes, hay que decir que la tecnología no consiste, de manera alguna, en el aparato, sino en el conocimiento que crea al instrumento o aparato y la innovación que es el aparato mismo. Así, la tecnología es, simple y llanamente, conocimiento encarnado en técnica.

La tecnología no es exclusiva o distintivamente humana. De acuerdo con la bióloga Lynn Margulis, la tecnología es tan antigua como las bacterias, a par-

tir de la división entre células eucariotas y procariontas. Más exactamente, la tecnología es una realidad de los sistemas vivos a partir de las colonias bacteriales. Sin embargo, la primera tecnología en el mundo es el lenguaje; desde entonces, la producción de tecnología ha acompañado a la propia evolución de la vida en el planeta desde hace cerca de 4.500 millones de años.

Sobre la base de esta elucidación, una vez introducido el concepto de tecnociencia, es necesaria precisar que contribuye a fortalecer los nexos entre complejidad y tecnología en el sentido aquí elaborado. Propiamente hablando, tanto en la filosofía de la ciencia como en los estudios sobre políticas de ciencia y tecnología existe una triple distinción:

- Se trata del concepto de ciencia y del de tecnología, como distintos y separados. Históricamente, se trata de los desarrollos que tuvieron lugar en la alta Edad Media, que nos lanzan por el *Quattrocento* e inauguran la modernidad. Este es, con seguridad, el período más largo.
- Emerge el concepto de tecnociencia que históricamente se sitúa en el último cuarto del siglo XX, centrado en el desarrollo de las nuevas tecnologías y promovido por las grandes empresas y corporaciones.
- En fechas mucho más recientes, se ha acuñado el concepto de macrociencia (*big science*), que se refiere a los grandes programas de investigación científica en la que confluyen con intereses y fortalezas diferentes científicos, ingenieros, empresarios, militares, financistas, hombres de

Estado y de Gobierno y grandes empresarios.

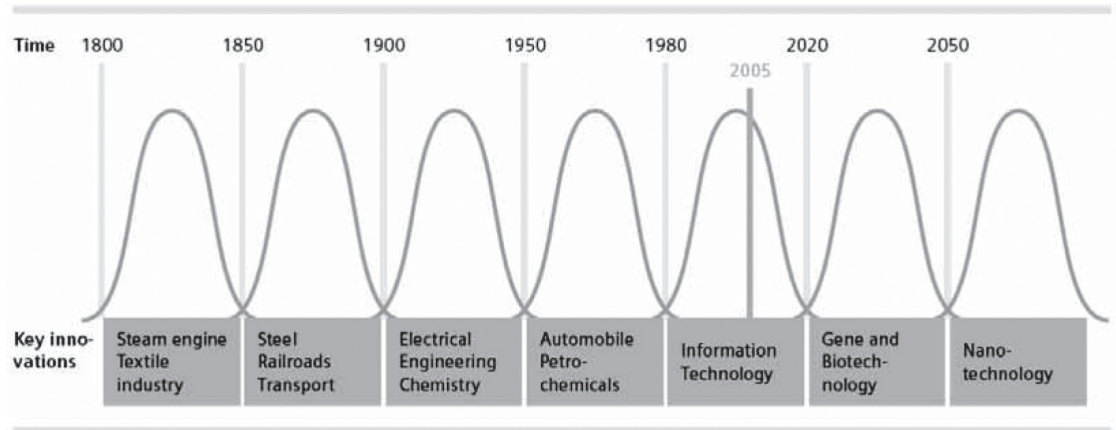
Los ejemplos más conspicuos de la macrociencia son: la conquista del espacio extraterrestre, la exploración del fondo submarino, la genómica y su etapa subsiguiente (la proteómica), la búsqueda de energías alternativas, la inteligencia artificial y la vida artificial, en fin, igualmente, las ciencias de la complejidad.

Como se aprecia sin dificultad, mientras que la ciencia puede caracterizarse por una distinción eminentemente disciplinar, y la tecnociencia, por el entrelazado entre ciencia y tecnología, la macrociencia corresponde exactamente al desarrollo de los grandes proyectos científicos de síntesis que ya no obedecen, de manera alguna, a criterios disciplinares. Sin ser exhaustivos, la historia de esta nueva ciencia es la siguiente:

- Ciencias cognitivas.
- Ciencias de la vida.
- Ciencias de la salud.
- Ciencias de la tierra.
- Ciencias del espacio.
- Ciencias de materiales.
- Ciencias de la complejidad.

El factor común a este conjunto variado de ciencias es que se trata de ciencias de frontera posibilitadas a partir de la formulación de problemas de frontera. En todas ellas el computador y la computación desempeñan un papel protagónico. Dicho de manera puntual, se trata del trabajo con modelamiento y simulación. El Gráfico 1, de las ondas de Kondratieff o mejor, de los ciclos de innovación, permite ilustrar mejor el argumento desarrollado.

Gráfico 1. Ondas de Kondratieff o ciclos de innovación



Source: Kondratieff, N. D. (1926), Neftodow, L. A. (1996)

Complejidad y sistemas vivos

Mientras el modelo conceptual, teórico, metodológico y científico de la ciencia moderna fue la física y, en general, el modelo de Descartes-Newton, que es estrictamente analítico y reduccionista, el mundo contemporáneo en general se enfrenta a un problema radicalmente distinto. Se trata del cuidado, la comprensión, la posibilidad, en fin, la exaltación y los desafíos, riesgos y peligros de la vida y de los sistemas vivos. De esta suerte, mientras el espíritu de la ciencia moderna es fisicalista e ingenieril, el de la ciencia contemporánea es la biología y la ecología.

Es posible decir, sin ambages, que de los tres problemas de punta de la investigación mencionados —la estructura de la materia, el origen de la vida y la interfase mente-chip—, el más importante está relacionado con el estudio de la lógica y el origen de la vida. La razón es que, a la vez que los sistemas vivos son sistemas físicos, la física, tal y como la conocemos, no es suficiente para determinar la naturaleza de los sistemas vivos; sin embargo, los sistemas vivos no se pueden explicar sin la física o al margen de ella.

Así mismo, los temas relativos al lenguaje, el pensamiento y el cerebro son, en realidad, casos particulares de los sistemas vivos, por cuanto el cerebro no constituye un rasgo universal de la vida, mientras la existencia de estructuras y de patrones cognitivos sí constituye, sin dudas, un elemento clave. Respecto a la centralidad o no del cerebro, basta

recordar la distinción de base que establece Rodolfo Llinás acerca de los vínculos cerebro-sistemas vivos según si estos son organismos sésiles o no.

En términos generales, podemos distinguir, a la luz de la investigación teórica y experimental contemporánea, dos tipos de vida: la vida resultado de la evolución natural, que es vida fundada en el carbono, cuyos cimientos son la química inorgánica; al mismo tiempo, en paralelo, cabe hablar legítimamente de la vida artificial que se funda en el silicio y cuya química son los algoritmos genéticos y, ulteriormente, la química artificial. Esta última es vida resultado de la evolución cultural.

Conclusiones

Las contribuciones de las ciencias de la complejidad al desarrollo cultural de la sociedad se dan por una doble vía: a través del desarrollo tecnológico y, concomitante y paralelamente, por medio del aporte de nuevos conceptos, enfoques, teorías, disciplinas y ciencias. Estas contribuciones operan vertical y horizontalmente.

De manera vertical, en cuanto se trata del desplazamiento del método tradicional de arriba hacia abajo, propio de la inteligencia artificial: *top-down*, hacia los enfoques más genéticos, de aprendizaje y autocorrección y autoprogramación: *bottom-up*. Estos métodos implican una transformación radical de la tecnología, en la medida en que acerca a esta hacia los enfoques y sistemas biológicos, en la acepción más amplia de la palabra.

Pero, al mismo tiempo, se trata de contribuciones horizontales, en cuanto se trata abierta y explícitamente de un trabajo inter y transdisciplinar donde la jerarquía de métodos, ciencias y lenguajes desaparece por completo. Este es, sin lugar a dudas, el inicio de una nueva forma de ciencia. Más radicalmente se trata de la emergencia de una nueva forma de racionalidad humana.

Por lo tanto, cabe destacar dos formas de complejidad en este marco: la *complejidad algorítmica*, que se refiere a la longitud del programa más breve para efectuar una computación, y la *complejidad computacional*, que se ocupa del tiempo que requie-

re un computador para solucionar un problema específico. En otros términos, se trata de reconocer que existen problemas que necesitan una cantidad geométrica (exponencial) de tiempo de computación, en tanto que, en otro plano, hay igualmente problemas que sólo requieren una cantidad aritmética (ley de probabilidades) de tiempo de computación. Los problemas más acuciantes e importantes de la humanidad se sitúan a lo largo de esta doble avenida. La capacidad de abordarlos y resolverlos satisfactoriamente dependerá de la adecuada y rigurosa investigación en torno a los sistemas de complejidad creciente.

Literatura citada

- Byers, W.** (2007). *How mathematicians think: using ambiguity, contradiction, and paradox to create mathematics*. Princeton: Princeton University Press.
- Chaitin, G.** (1998). *The limits of mathematics*. Berlín: Springer Verlag.
- Dyson, G. B.** (1997). *Darwin among the machines: the evolution of global intelligence*. Cambridge: Perseus Books.
- Echeverría, J.** (2003). *La revolución tecnocientífica*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- Gray, J. J.** (2005). *El reto de Hilbert: los 23 problemas que desafiaron a la matemática*. Barcelona: Crítica.
- Latour, B.** (2004). *Politics of nature: how to bring the sciences into democracy*. Cambridge: Harvard University Press.
- Lloyd, S.** (2004). *Programming the universe*. New York: Alfred G. Knopf.
- Maldonado, C. E.** (2009a). *¿Qué son las ciencias de la complejidad?* Inédito.
- (2009b). "Complejidad y ciencias sociales desde el aporte de las matemáticas cualitativas. *Cinta de Moebio*, 33, 153-170.
- Mitchell, M.** (2009). *Complexity: a guided tour*. Oxford: Oxford University Press.
- Morris, R.** (1999). *Artificial worlds: computers, complexity, and the riddle of life*. New York: Plenum Trade.
- Pagels, H.** (1989). *Los sueños de la razón: el ordenador y las nuevas ciencias de la complejidad*. Barcelona: Gedisa.
- Ruelle, D.** (2007). *The mathematician's brain: a personal tour through the essentials of mathematics and some of the great minds behind them*. Princeton: Princeton University Press.
- Solé, R.** (2009). *Redes complejas: del genoma a internet*. Barcelona: Tusquets.
- Taylor, M. C.** (2001). *The moment of complexity: emerging network culture*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Thacker, E.** (2006). *The global genome: biotechnology, politics, and culture*. Cambridge: The MIT Press.
- Verbeek, P.-P.** (2005). *What things do: philosophical reflections on technology, agency, and design*. University Park: The Pennsylvania State University Press.