

PAISAJE VIRTUAL DE LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Carlos Eduardo Maldonado

Introducción

Los ritmos del desarrollo del conocimiento son ciertamente vertiginosos. Más exactamente, podemos decir que los ritmos son globalmente hiperbólicos. Hubo, en efecto, una época cuando fueron ritmos geométricos. La más reciente expresión del crecimiento exponencial del conocimiento fue la llamada Ley de Moore y expresa el progreso de los procesadores y la consideración de su eventual estancamiento, todo lo cual se encuentra bien estudiado (Kurzweil, 1999).

Como punto de partida para las consideraciones de este texto, se hace uso de una síntesis, pues se trata de entender las dos circunstancias que conforman el *ethos* de nuestra época: las revoluciones científicas y las revoluciones industriales. La tabla 1 presenta una síntesis. En ella varias observaciones puntuales se imponen. Por un lado, una revolución científica es una revolución en la cosmovisión del mundo y de la realidad. La ciencia clásica introduce una visión de la naturaleza dualista y mecanicista. Esta imagen del mundo y de la realidad se rompe en mil pedazos con las revoluciones que le siguen. Por el otro, una revolución industrial es una revolución en el trabajo y en las formas de organización del trabajo en la sociedad.

Como se observa, no existe una relación uno a uno entre las revoluciones científicas y las revoluciones industriales. Actualmente vivimos los empujes, expresiones y avatares de la segunda y la tercera revolución científica. Frente a estas, la primera revolución, la ciencia clásica, es propiamente la *ciencia normal* (en el sentido en el que lo expresa Kuhn). En los ámbitos sociales y culturales impera aún la ciencia moderna, pero en el conocimiento y la investigación de vanguardia ocurre un desplazamiento vertiginoso hacia la segunda y la tercera revolución científicas.

Tabla 1. Síntesis de las revoluciones industriales y las revoluciones científicas

| | Revoluciones científicas | Revoluciones industriales |
|---------|--|---|
| Primera | <p>Es la revolución de la ciencia clásica o de la modernidad. Desde otro punto de vista, es la ciencia normal. Esta primera revolución abarca desde R. Bacon y F. Bacon hasta 1905, el <i>anno mirabilis</i> de Einstein.</p> | <p>La primera revolución industrial fue la revolución de las máquinas de vapor. Está ejemplificada por las hilanderías en Manchester, el ferrocarril o el automóvil. Socialmente se expresa en el movimiento de los Luditas, y científicamente se expresa en la termodinámica (Joule, Carnot, Boltzmann y Thomson, principalmente).</p> |
| Segunda | <p>La segunda revolución científica comprende la teoría cuántica. Por tanto, los capítulos más destacados son la física cuántica, la química cuántica, la biología cuántica, todas las tecnologías basadas en principios y comportamientos cuánticos, y las ciencias sociales cuánticas. Históricamente, esta segunda revolución científica va desde el famoso <i>paper</i> de M. Planck en noviembre de 1900 hasta la fecha actual.</p> | <p>La segunda revolución industrial está tipificada por la producción en serie y el nacimiento de la llamada “administración científica”. Se funda en los trabajos de Ford, Taylor, Fayol y Forrester. El trabajo en serie y la organización en cubículos, por ejemplo, expresan y condensan esta revolución.</p> |
| Tercera | <p>La tercera revolución científica es la revolución de la información y el procesamiento de la información. Por consiguiente, se trata de la contribución de la computación a numerosas ciencias, además de investigaciones acerca de los modos de procesamiento de la información. Puede decirse que comienza con el trabajo de Shannon y Weaver (1949) y se proyecta hasta la fecha.</p> | <p>La tercera revolución industrial fue proclamada gracias a J. Rifkin en el 2006. Se trata de la revolución de internet, específicamente de la web 1.0 y sus desarrollos posteriores en la web 2.0 y 3.0. Actualmente, ya es conocido el desarrollo en el futuro inmediato hacia la web 4.0 y con ella la “internet de las cosas” (<i>Internet of Things</i> o IoT). Las expresiones sociales, culturales y artísticas son cada vez más numerosas.</p> |
| Cuarta | | <p>La cuarta revolución industrial es anunciada en el año 2016. De manera puntual, se trata de la síntesis entre la dimensión física, la biológica y la digital.</p> |

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, social y culturalmente el mundo cotidiano se desarrolla en la interface entre la primera y la segunda revolución industrial. Ese es el mundo que predomina y prevalece. En contraste, en las fronteras del conocimiento asistimos a la emergencia de la tercera y la cuarta revolución industrial. En la actualidad, existen lugares en el planeta que carecen de servicio de electricidad; la división digital es, sin lugar a dudas, el principal problema a nivel social, económico y político en numerosos países alrededor del mundo (Eberhard et al., 2017; Stancioiu, 2017; Kuruczleki, Pelle, Laczi y Fekete, 2016).

En este texto me propongo formular una tesis, a saber: la cuarta revolución industrial (llamada igualmente como revolución 4.0) consiste en una virtualización del mundo y de la realidad, con toda la fuerza de dicha palabra. Con base en el principio de que las revoluciones son procesos radicales, estructurales e irreversibles, la virtualización de la realidad y el universo es, consiguientemente, un fenómeno irreversible. Así, la flecha del tiempo desempeña un papel fundamental y asistimos a una dinámica de complejidad creciente.

Esta tesis será presentada a través de cuatro secciones, estructuradas de la siguiente manera: en primer lugar, se hace una presentación crítica del significado de la cuarta revolución industrial. Esta presentación tiene la finalidad de poner de manifiesto que asistimos a la constitución de un paisaje virtual de amplio espectro, de un modo nunca antes visto en la historia. La segunda sección se ocupa de las relaciones entre la revolución 4.0 y la segunda y tercera revolución científica. Si bien es verdad que no existe una relación uno a uno entre revoluciones industriales y científicas, sí existen varios puentes entre ellas. La idea aquí presentada pone en evidencia la forma en la cual la teoría cuántica y la de la información y el procesamiento de información contribuyen al paisaje virtual en curso. La tercera sección se ocupa de los alcances mismos de los paisajes virtuales. Se estudia el concepto mismo de paisaje virtual y sus posibilidades y connotaciones. Sobre esta base, la cuarta sección se concentra en la dimensión histórica de los paisajes virtuales en formación. Cada sección constituye un argumento propio. Para terminar, se extraen algunas conclusiones.

La revolución 4.0: significados y significantes

El interés central de campos como la historia y filosofía de la ciencia, la sociología de la ciencia y en los estudios culturales sobre ciencia y tecnología ha sido por las revoluciones científicas. Existe, al fin y al cabo, una amplia y bien consolidada bibliografía al respecto. Por el contrario, la idea de revoluciones industriales es más reciente y la atención sobre las mismas es motivada por intereses provenientes de las políticas públicas sobre ciencia, tecnología, innovación y emprendimiento y, por tanto, el foco de la mirada se concentra en sus aplicaciones a áreas como la tecnología, la administración o la economía, principalmente. Dicho en términos teóricos, la revolución 4.0 dirige la mirada hacia la filosofía de la tecnología, teniendo en cuenta que la propia comprensión de la tecnología ha cambiado radicalmente en los tránsitos de las etapas de las revoluciones presentadas en la tabla 1.

En el marco del foro económico de Davos, su presidente K. Schwab anunció la llegada de la cuarta revolución industrial en el año 2016 (Schwab, 2016). El *motto* del anuncio fue el de promover la “síntesis entre la dimensión física, la biológica y la digital”. El resto fue la ilustración, acaso casuística, de los modos y caminos de la revolución 4.0. A partir de ese momento, diferentes autores y centros de investigación alrededor del mundo se han ocupado de estudiar temas tales como las consecuencias, los modos, las expresiones y los alcances de la cuarta revolución industrial.

Ahora bien, antes de proseguir, cabe hacer puntuales los tres aspectos de la síntesis de la siguiente manera:

La física. La física que caracteriza a la revolución 4.0 poco o nada tiene que ver con la física clásica, esto es, con la mecánica clásica. A fin de aclarar esta idea se impone una precisión ilustrada por la tabla 2.

Mientras que la TR es ampliamente intuitiva, la FC y la FN son alta y crecientemente contraintuitivas (lo cual se expresa de manera más acen- tuada en el primer caso que en el segundo).

Tabla 2. Esquema de la física hoy

| Teoría de la relatividad (TR) | Física cuántica (FC) | Física nuclear (FN) |
|--|---|---|
| <p>Ha sido llamada la física del universo macroscópico. En realidad, se trata de la mecánica clásica incorporada en un modelo más amplio y robusto que la comprende y la sobrepasa. La TR comprende cuatro dimensiones (tres espaciales y la del tiempo) y pone de manifiesto que las deformaciones del espacio son también cambios en el tiempo. Esta se funda en la importancia del observador, haciéndola esencialmente relativista. La TR es idónea para explicar el estado actual del universo y su evolución, pero no su origen.</p> | <p>La física cuántica comprende dos momentos: el primero, que va desde 1900 hasta 1933, cuando se sientan las bases de la mecánica cuántica y parcialmente de la mecánica de ondas; el segundo, que va desde 1953 hasta la fecha, comprende además de los dos anteriores, el estudio del entrelazamiento cuántico. Esta es la física del universo microscópico, aunque podría llamarse la física de los tiempos microscópicos, los cuales son magníficamente vertiginosos. Esta física permitiría entender el origen del universo, pero no su evolución, dado que el tiempo no existe en la FC.</p> | <p>La física atómica, que cobija todo el trabajo que se adelanta en el CERN, da lugar a y descansa en el Modelo Estándar. Esta física tiene el mérito de explicar la naturaleza del universo, fundada esencialmente en materia bariátrica. Recientemente, gracias al experimento LIGO, se ha avanzado enormemente en la explicación de la antimateria y la energía oscura. Algunos de los apasionantes problemas de la cosmología, astronomía y astrofísica pueden ser verosímilmente explicados por la FN.</p> |

Fuente: elaboración propia.

Dicho esquemáticamente, mientras que la TR, análogamente a la FA se basa en el concepto de masa (materia), y de energía, la FC se funda, además, en el concepto de información. La información es un concepto físico inmaterial, que se caracteriza por su capacidad de ser producida, acumulada y distribuida, además de carecer de peso, y exponía de manera más completa aquello que explicaba el concepto de masa en el siglo XVIII y el de energía en el siglo XIX. Bajo esta perspectiva, las cosas son esencialmente información y el universo es un sistema de procesamiento de información. La siguiente ecuación (Maldonado, 2018) resume esta idea y se lee de la siguiente manera: la materia está contenida en la energía, la cual explica mejor aquello que explicaba el concepto de masa; de manera análoga, la energía está contenida, a su vez, en la información, haciendo

que esta última explique mejor los procesos físicos que antes se entendían con el concepto de materia. La ecuación 1 sintetiza estas ideas.

Ecuación 1:

$$M \in E \in I$$

El concepto de información constituye pues el mínimo común denominador de la segunda y a la tercera revolución científica. Dicho de manera técnica y puntual, la función de onda es conocimiento (o información), de un modo tal que la física no se ocupa ya de establecer qué es el universo y la realidad, sino qué tanto sabemos sobre la realidad y la naturaleza. En una palabra, la física de la revolución 4.0 es información (mucho más que materia o energía).

La biología. La historia tradicional consistió en los retos y desafíos que la cultura le planteó a la biología. Esta es la historia de las técnicas y la tecnología. Es indudable que la cultura le puso retos a la biología para los cuales ella no estaba preparada. Sin embargo, esa es historia del pasado. Lo cierto es que la biología no solamente se ha adaptado a las exigencias, ritmos y necesidades de la cultura, sino, de manera más radicalmente, le ha enseñado lecciones valiosas a las tecnociencias y a la cultura. Hablamos entonces de la biología sintética, acaso el más reciente capítulo de la biología, al cual cabe denominar igualmente enfoque Eco-Evo-Devo; se trata de dos maneras diferentes de designar un mismo fenómeno. En efecto, recientemente ha aparecido una constelación de enfoques, disciplinas y métodos basados en la biología: ingeniería bio-inspirada, biología computacional y computación biológica y, en general, toda una gama de campos tales como el biodiseño, la bioeconomía, la biopolítica, el bio-derecho, las matemáticas de sistemas vivos, entre otros. Culturalmente hablando, la centralidad de la biología queda fuera de duda y, con ella, la centralidad de la naturaleza, por encima de los tradicionales enfoques antropomórficos, antropológicos, y antropocéntricos.

De manera puntual, ha quedado en claro que la biología es una red de redes. El nombre global para esta comprensión es *biología de sistemas*. La figura 1 ilustra en qué consiste la biología de sistemas.

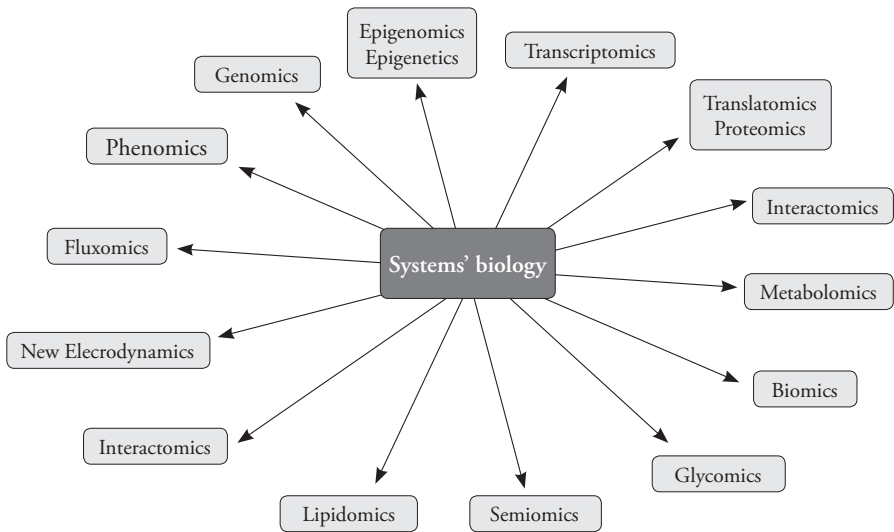


Figura 1. La biología de sistemas

Fuente: elaboración propia.

De manera significativa, la idea de la biología como un sistema de redes, en cualquiera de las denominaciones presentadas, nos permite, por primera vez, comprender que en la historia de la ciencia no existen jerarquías en la naturaleza de ninguna índole. Lo anterior no niega la existencia de niveles en la naturaleza, es más, y precisamente por ello se introduce la idea de *multiescalaridad*, propia de las ciencias de la complejidad.

La biología ha puesto de manifiesto que no existen diferencias de naturaleza en el mundo o en el universo, sino, a lo sumo, diferencias de grados o de formas de organización. Estamos aprendiendo a escuchar a la biología, a la naturaleza y los avances han sido vertiginosos. *La dimensión digital*. Asistimos, en sentido cultural e histórico, al tránsito de un mundo análogo a un mundo digital. En esta transición el computador y la computación desempeñan un papel protagónico. Ahora bien, ya no es enteramente cierto que la arquitectura del computador sea la de Von Neumann, ni tampoco que el computador sea asimilable, sin más, a una máquina de Turing (MT). Nuevas formas de computación han emergido y nuevas formas de arquitectura con estas (*clusters, hubs, computación cuántica, etc.*).

A nivel ontológico y epistemológico se ha llegado a comprender que la realidad y la naturaleza son sistemas discretos (no sistemas continuos),

lo cual implica un lenguaje, unas matemáticas y una comprensión diferentes a las que se han establecido en la historia. La computación le ha enseñado a la sociedad a pensar en términos de posibilidades y a trabajar consecuentemente. La era digital es, ante todo, un encuentro y un trabajo con posibilidades, más que con simples realidades fácticas o empíricas. El computador, que es una herramienta conceptual literalmente se ha convertido en un instrumento cultural de la máxima importancia, hasta el punto de modificar desde la comprensión que los seres tienen de sí mismos, hasta su manera de acercarse al universo. La combinación entre ingeniería de *hardware* e ingeniería de *software* ha catapultado a niveles antes imposibles los modos y grados del conocimiento.

Pues bien, a partir del año 2016, se puede decir que la sociedad ha cobrado conciencia, a través de K. Schwab, del hecho de que el trabajo, y, por consiguiente, la organización de la sociedad, han entrado en una nueva etapa. Cronológicamente hablando, se trata de la cuarta revolución industrial; si bien sus alcances y consecuencias comienzan a vislumbrarse y a ser tematizadas, aún falta mucho terreno, tanto en la comprensión como en la efectuación misma de la revolución 4.0. Sin embargo, vale la pena subrayar una idea, que aparece en el lenguaje del institucionalismo económico y sociológico: se trata de una revolución en el trabajo, no en el capital. Esta revolución produce la síntesis entre la sociedad de la información, la sociedad del conocimiento y la sociedad de redes. El eco de los estudios de M. Castells (2005) suena con claridad.

El foco de la atención en la organización del trabajo se ha desplazado de la materia y la energía, esto es, de la estructura masiva, serial y jerárquica del trabajo, hacia la información, el conocimiento, la constitución de redes y el trabajo con posibilidades. La digitalización de la sociedad no es una metáfora: esta se ha convertido, literalmente, en la punta de todas las dinámicas de la sociedad. El bienestar social, la calidad de la vida, la propia dignidad de la vida atraviesa, medularmente, por la virtualización de los individuos, la sociedad, el conocimiento y la realidad. Virtualidad tiene aquí la forma de la dimensión entera de las posibilidades.

Más exactamente, la realidad, que antes era la totalidad de lo existente, se ha convertido en una parte o un momento de la dimensión de lo posible y uno de los modos de lo posible es lo imposible mismo (Barrow, 1998). La ecuación 2 condensa este conjunto de relaciones.

Ecuación 2:

$$\text{Real} \in \text{Posible} \ni \text{Imposible}$$

Revolución industrial y revoluciones científicas

Una revolución científica es una revolución de un modelo de la cosmovisión de una época. Históricamente, el mejor ejemplo es el del surgimiento del modelo heliocéntrico, inaugurado por Galileo y Copérnico, que derrumbó el modelo geocéntrico imperante hasta el momento desde la Grecia antigua, Roma y el Medioevo.

Hoy en día asistimos a la emergencia de un nuevo modelo del universo. En física los desafíos al modelo estándar son cada vez más numerosos y fuertes; la confluencia entre física, cosmología y astronomía ha modificado estructuralmente el cuadro del universo y de la realidad. Las propias matemáticas —por ejemplo, los estudios sobre simetría y la teoría de grupos— contribuyen activamente al cisma del modelo heredado de la primera mitad del siglo XX.

La revolución cuántica se caracteriza, ya a partir del experimento sobre la doble ranura de Young en 1801, por fenómenos y comportamientos cuánticos que son contraintuitivos. R. Feynman insistió en que nadie puede pretender comprender la realidad cuántica, una idea que ha sido repetida por muchos académicos e investigadores. El carácter contraintuitivo de la teoría cuántica hace referencia a las limitaciones de la percepción natural a la hora de explicar los fenómenos y comportamientos cuánticos. De hecho, las mismas ideas fundacionales, llamadas de manera arbitraria “principios”, expresan el carácter revolucionario de la teoría cuántica con respecto a toda la historia anterior de la humanidad, a saber, los principios de superposición, de no-localidad, de incertidumbre, entre otros.

Einstein peleó toda su vida contra la idea de no-localidad, acaso la más radical de todas. Pero es que Einstein es la voz que expresa a toda la tradición occidental fundada en la causalidad y en la localidad. El científico judío explota cada vez que piensa en esa: *spooky action*, que echaba por lo demás al traste la constante de la velocidad de la luz: no puede haber comportamientos más rápidos que la velocidad de la luz, sostenía.

La segunda revolución científica consiste esencialmente en tres momentos, a saber, la mecánica cuántica, que explica el comportamiento de las partículas; la mecánica de ondas, que da cuenta de los comportamientos de

ondas, a partir de diversas expresiones de la ecuación de Schrödinger; y, por último, el entrelazamiento cuántico, una idea adelantada originariamente por J. Bell, pero que ha sido desplegada en la práctica con inmenso éxito hasta la fecha. Es el entrelazamiento cuántico el que pone de manifiesto que el universo y la realidad no están constituidos por individualidades, sino por redes de fenómenos.

Pues bien, los tres niveles fundamentales —mecánica cuántica, mecánica de ondas y entrelazamiento—, dan lugar a los temas y problemas relativos a la computación cuántica, que no es sino una expresión particular del tema más general atinente a los modos de entrelazamiento y de procesamiento de información. En otras palabras, la computación cuántica es un modo de hipercomputación y, por consiguiente, de generación, transformación y procesamiento de información. Es exactamente en este punto que la segunda revolución se vincula con la tercera revolución científica.

En efecto, el concepto físico más importante es el de información, no lo de masa o la energía. Sin ánimos reduccionistas, puede decirse que la realidad es información, esto es, generación de información, procesamiento de información y transformación de información en más (y mejor) información. Dos puntualizaciones caben a este respecto: por un lado, un sistema complejo es un sistema no-lineal que ganan información, aunque no necesariamente memoria, por lo menos no en el sentido computacional. La complejidad creciente de un fenómeno es el proceso mediante el cual el sistema gana información, y precisamente por ello, se hace no-lineal, o bien, en el lenguaje de Prigogine, adquiere bifurcaciones.

Por otra parte, la generación y el procesamiento de información son fenómenos mediante los cuales el universo en general resuelve el principal problema que tiene: la entropía. De esta suerte, el procesamiento de información consiste en la generación de nuevo orden, ganando así en información y resolviendo, por consiguiente, la entropía del universo.

Al respecto, hay que decir que los estudios clásicos sobre entropía hacen referencia a la hipótesis de sistemas cerrados o aislados. Así, en todo sistema cerrado o aislado existe una tendencia manifiesta al aumento de la entropía, al desorden. Hoy en día el tema de trabajo es abiertamente el estudio de la entropía en sistemas abiertos, lo cual transforma radicalmente el marco de la termodinámica clásica. La información implica la existencia de sistemas abiertos y resuelve el problema de la entropía en sistemas abiertos.

La dificultad está en el procesamiento de la información. Este es el núcleo de la tercera revolución científica. Tres ideas complejas se introducen en este punto: la primera es que los sistemas vivos constituyen el modelo más adecuado para explicar la hipercomputación. Los sistemas vivos, en efecto, no procesan información de manera lineal, secuencial o jerárquica. Por el contrario, el procesamiento de la información en los sistemas vivos es distribuida. Recientemente se ha llamado la atención sobre este fenómeno a partir del estudio de las plantas (Mancuso, 2017). En términos más exactos, se puede decir que la información no existe antes que el procesamiento de la información ni tampoco después del procesamiento de la misma.

La hipercomputación, en particular la hipercomputación biológica, consiste en resolver problemas muy complejos en términos elementales (Problemas $P \neq NP$), de forma paralela, no-local y distribuida. Los sistemas vivos leen e interpretan el entorno, pero adicionalmente introducen en este algo que antes no existía: nueva información. En otras palabras, la hipercomputación biológica es análoga a la metabolización, la cual se puede entender en términos de una transformación de A en B, mediante la cual los sistemas vivos se hacen más posibles a sí mismos; esto es, ganan en grados de libertad (Maldonado, 2018).

En segunda instancia, el universo mismo puede y debe ser visto como un sistema vivo, si bien no necesariamente orgánico, esto es, fundado en el carbono. La teoría cuántica permite y despliega una concepción panteísta del universo, también llamada “hilozoísta” o “biocéntrica” (Kauffman, 2016; Rosenblum y Kuttner, 2014; Kafatos and Nadeau, 1990). Esto implica que, en el marco de las ciencias de la complejidad, la realidad, que es por definición un sistema abierto e indeterminado, consiste igualmente en un proceso incesante, inacabado de generación y transformación de información. El universo, para emplear la metáfora en boga de la ciencia de punta, es un gran computador (Lloyd, 2006).

Esto significa que el universo es un enorme sistema de procesamiento de información y que esta constituye el material (*stuff*) fundamental del universo. Así, se entiende mejor la idea originaria de A. Wheller: *it from bit, bit from qubit*.

En tercer lugar, aparece la idea de la física cuántica que más parece contradecir la intuición, a saber, que la información cuántica se genera a partir de la nada (Cassé, 2001). En efecto, la información cuántica no requiere de un agente observador externo que genere la información, de

manera análoga a como antes del procesamiento no existe información alguna. La información cuántica es el resultado de entrelazamientos y comportamientos no-lineales resultado de las mismas interacciones. En sentido cuántico, no hay nada por fuera de las interacciones y el concepto mismo de información es relacional (Bitbol, 1998).

Ahora bien, la cuarta revolución industrial es la expresión cotidiana más avanzada de la confluencia entre la segunda y la tercera revolución industrial. Para ello, hay que decir que todas las tecnologías de punta en el mundo de hoy se fundan en principios y en comportamientos cuánticos y son, *grosso modo*, el resultado del computador y de la computación.

De este modo, emergen campos que son a la vez tecnológicos, científicos y culturales: sistemas expertos, inteligencia artificial, vida artificial, robótica, la web 3.0 y el proceso aún en curso hacia la web 4.0. La internet misma se ha abierto y profundizado hacia la web profunda (*deep web*). Asistimos a una digitalización de la existencia y el mundo en toda la línea de la palabra. Si ayer los temas eran la domótica y la inmótica, hoy el tema es la internet de las cosas y, con ella, la implementación cotidiana de escenarios y paisajes virtuales. Como se aprecia, se trata de mucho más que una expresión, una metáfora o una analogía: la realidad está cambiando de manera radical e irreversible, haciéndose cada vez más compleja, esto es, ganando grados de libertad. Como se recordará, la complejidad de un fenómeno es directamente proporcional a los grados de libertad que existe, de tal suerte que, a mayor complejidad, mayores grados de libertad.

La idea que se ha intentado expresar no es compleja: así como en el ámbito de las mejores tecnologías del mundo se da la coincidencia entre teoría cuántica e información y procesamiento de información, en el ámbito del trabajo, en las fronteras del conocimiento y de la producción, ocurre algo semejante. Dentro de las fronteras de las tecnociencias, es prácticamente inevitable asistir a la constelación en la que se sintetizan la física (información), la biología (procesamiento de información) y la dimensión digital (computación). Las distancias entre las tres son cada vez menores y cada una se implica con las demás de manera creciente.

Sin ambages, la ciencia y la tecnología de punta han contribuido como nunca antes a configurar una nueva imagen del universo (“imagen” es una expresión), a explicar y comprender la realidad como nunca antes había sucedido y, al mismo tiempo, tienen una incidencia sin precedentes.

No obstante, se debe partir del supuesto fundamental, a saber, que nos situamos en la punta del conocimiento. De otro modo, lo que impera ampliamente es una comprensión mecanicista de la realidad, una visión jerárquica del universo, en fin, una explicación de los fenómenos en términos de causalidad, localidad y percepción natural. La cultura en generales pre-cuántica o, en el mejor de los casos, relativista siguiendo la teoría de la relatividad de Einstein.

Para la enorme base de la sociedad alrededor del mundo, la revolución 4.0 es algo semejante a la ciencia ficción, pues la inmensa mayoría de la gente vive en la primera y la segunda revolución industriales. El costo humano y medioambiental de estas visiones de mundo es enorme y casi impagable.

Frente a este estado de cosas se puede decir que lo que el mundo necesita para ser más sostenible es más y mejor educación, ciencia, tecnología, información y conocimiento. Y entonces menos oscuridad, control a los mismos, menos opacidad.

El centro del asunto es, como se aprecia, tanto científico y filosófico, como tecnológico y político.

Los paisajes virtuales: sentidos y posibilidades

Se puede decir que el más importante de todos los instrumentos creados en la historia reciente de la humanidad es el computador y, con él, la aparición de la computación. Magníficos problemas de optimización, el modelamiento y la simulación constituyen vórtices singulares que se yerguen con voz propia. Sobre la base de la ferretería (*hardware*) el computador y la computación son esencialmente el trabajo con lenguajes de programación (*software* o *logiciels*). Gracias a los lenguajes de programación —y a que la existencia y oferta en el mercado es casi innumerable— es posible hacer modelamiento y simulación de objetos, de series y de procesos.

De manera muy precisa, es posible afirmar que los sistemas simples y lineales se pueden modelar, pero solo los sistemas complejos pueden ser simulados. La simulación es el trabajo con posibilidades—espacios de fase, espacios de Hilbert, adyacentes posibles, en fin, como se prefiera. Toda la ciencia y tecnología de punta trabaja con posibilidades antes que con realidades.

La computación ha permanecido durante muchos años, desde sus orígenes hasta la fecha, atada a la existencia de algoritmos. Han existido toda clase de algoritmos: algoritmos genéticos, de ordenamiento, de búsqueda,

adaptativos y estáticos, probabilísticos, cotidianos, de encaminamiento, heurísticos, de escalada, voraces o deterministas, entre otros. Sin embargo, es cada vez más cierto que la computación de punta avanza a pasos grandes hacia las lógicas no-algorítmicas. Es proceso se funda y emerge lo mejor y más apasionante de la virtualidad.

El proceso ha sido vertiginoso. El computador nace gracias a A. Turing, pero su origen podría remontarse hasta los trabajos pioneros de A. Lovelace y J. Babbage en el siglo XIX. La computación nace con el Eniac I y el Eniac II, y se estructura gracias a J. von Neumann. Social y culturalmente, el computador es una realidad cotidiana a partir de finales de los años 1980. En la actualidad, permea las esferas del trabajo, la producción, la organización de las empresas, independientemente de su tamaño, del gobierno y el Estado y todos los estamentos de seguridad. Sin embargo, de acuerdo con la Unesco, la principal forma de analfabetismo contemporáneo es (sigue siendo) el analfabetismo tecnológico.

En sentido estricto, la inmensa mayoría de seres humanos son pasivos frente al computador: entran en un buscador cualquiera y, aunque no lo sepan, esperan que el *machine learning* y *deep learning* hagan el trabajo por ellos. La pasividad ante el computador y la computación no es más que el hecho de que la mayoría de las personas alrededor del mundo *leen* el computador, pero muy pocos saben *escribirlo*.

Se trata de comprender el fundamento mismo de la computación, esto es, el manejo de lenguajes de programación y, más exactamente, la capacidad para escribir en código. Es allí en donde se encuentra verdaderamente la clave de la virtualidad y de la virtualización del mundo y de la realidad.

A comienzos del siglo XX, O. Spengler sostenía, con razón, que las técnicas son la extensión de los sentidos, la virtualidad es la extensión de la mente. La idea expresa una radicalidad sin igual y existen dos mecanismos indirectos para comprender su alcance: el primero es la inteligencia artificial entendida como una metodología, una heurística y una lógica (por ejemplo, basada en el cálculo lambda) que consisten en explorar la mente humana y explicarla por mecanismos alterativos a los habidos hasta la fecha, que son de carácter neurológico o psicológico, entre otros.

La inteligencia artificial ciertamente se expresa en la robótica, pero su preocupación primera es la de explicar la mente, originariamente la mente humana, pero posteriormente extendida a la mente en general, por ejemplo, la de animales, plantas o bacterias.

En virtud de todo lo anterior, se puede afirmar que la inteligencia es un programa eminentemente interdisciplinario, y mucho mejor aún ciencia de frontera basada en problemas de frontera. El problema de base es justamente la exploración del concepto de inteligencia. Pues bien, en la ciencia, una manera de resolver un problema consiste en desplazar su foco. Así, este se desplaza de los ámbitos típicamente antropológicos hacia los computacionales. Lo artificial de la inteligencia artificial estriba en su constitución física, a saber, no ya el carbono, sino el silicio. De manera más reciente, los desarrollos tecnológicos han producido un desplazamiento del silicio hacia el grafeno.

En estrecha relación con la inteligencia artificial, el segundo mecanismo de acercamiento a la elucidación de lo que es la mente es la vida artificial. Si, como se ha dicho hasta la saciedad, la inteligencia artificial implica un abordaje *top-down*, y la vida artificial *bottom-up* —una distinción que, en un comienzo, fue importante pero que hoy es cada vez menos rígida y más difusa—. Lo cierto es que el estudio de la mente es una sola y misma cosa con el estudio de las características o propiedades de los sistemas-vidas. Vida y mente, cabe decir, son una sola y misma cosa, con una observación fundamental: el cerebro es importante tan solo para una minoría de sistemas vivos. La mente no necesita del cerebro, como sucede de manera extendida en la naturaleza.

Filosóficamente, la mente se caracteriza por una cosa: crear mundos. Es más, la forma como la mente resuelve los problemas es a través de la creación de mundos, de posibilidades, en fin, la creación de nuevos paisajes y entornos. Correspondientemente, los sistemas vivos se hacen posibles a sí mismos de manera continua mediante la incesante transformación de los paisajes y entornos en los cuales existen. La evolución, como es sabido, es co-evolución, esto es, adaptación al medioambiente y al mismo tiempo modificación del entorno al cual se adaptan los sistemas vivos. Esta idea no tiene por qué ser diferente para los seres humanos.

Existe un vector o un fundamento en los desarrollos de la inteligencia artificial y de la vida artificial que los unifica sólidamente: se trata del reconocimiento explícito de que la mejor inteligencia o vida tiene lugar en la naturaleza y no necesariamente en el ámbito humano. Así, los métodos bio-inspirados permean de un extremo al otro las investigaciones sobre ambos campos, vida e inteligencia. Es sobre esta base que quiero adelantar la siguiente: la virtualidad (= realidad virtual, si se quiere) no es

sino una expresión de un problema más básico, a saber, la constitución incesante de posibilidades, por parte de la mente o de la vida.

Los sistemas vivos son incesantemente adaptativos, siempre y cuando estos exploren sin límites el mundo circundante. Es, en efecto, explorando que crean nuevos mundos. Por ejemplo, mediante la creación de nichos, al introducir nuevas tecnologías o al transformar entornos ya existentes para nuevas necesidades y posibilidades. Los sistemas vivos no saben de tiempo ni de espacio, tan solo de posibilidades, horizontes, exploración.

En el lenguaje corriente se dice que los sistemas vivos arriesgan, juegan, desafían o crean, entre otros. Esta idea quiere expresar el hecho de que la realidad es tan solo una parcela de un horizonte esencialmente abierto, indefinido e indeterminado: la dimensión de lo posible, o de la virtualidad.

Dicho de manera puntual: el mundo físico es para la mente y la vida y vivir consiste en procesar incesantemente información. La cuarta revolución industrial es el resultado de un mundo inmensamente rico en información. Recuérdese que la ciencia de grandes bases de datos —*Big Data Science*—, nace originariamente en 1998, pero empieza a desarrollarse como tal —*Data Analytics, Deep Learning, Machine Learning, web 3.0, Data Integration y Data Visualization*, y otros más—, recién hacia los años 2010. No obstante, los avances son sostenidos y vertiginosos. Literalmente, cada cifra, cada gesto, cada letra, cada movimiento, cada link constituye un dato, no ya una variable. La revolución 4.0 es tanto el resultado como la catálisis de un mundo rico en datos y, por tanto, en posibilidades, pues lo apasionante de los datos es su procesamiento.

Es exactamente aquí donde confluyen artes y economía, ciencia y tecnología, estética y filosofía, cultura y sociedad, en fin, medios técnicos de comunicación y experiencias del mundo. Nos encontramos apenas, en términos históricos, en la antesala de un mundo nuevo que es, por consiguiente, perfectamente impredecible.

Paisajes virtuales, historia e historiografía

La historia de los seres humanos, así como la historia en general del planeta está cambiando de manera profunda. Puntualmente, puede decirse que uno de los beneficios de la investigación científica es que, en general, ya no se enfoca en las causas de los fenómenos, entre otras razones, porque estas están, perfectamente identificadas en muchos dominios. En

una época rica en datos y en información existe prácticamente una “sobrediagnóstico” de muchos fenómenos. En contraste, de forma más originaria y radical, estamos apenas aprendiendo a pensar en términos de correlaciones, o si se quiere, en un plano diferente, en donde el foco se dirija cada vez más hacia las consecuencias o los efectos de los fenómenos y sistemas. Siguiendo el tono general de este trabajo, estamos pensando en posibilidades, antes que en realidades. Asistimos, actualmente, a un giro en la historia.

Asimismo, por primera vez y de manera explícita, ha quedado claro que la historia es una ciencia del presente; solo que busca en el pasado claves de comprensión y solución de los problemas del presente. La historia y la historiografía se convierten en fenómenos y sistemas de alta complejidad, continuamente creciente.

Es posible presentar los cambios en curso de dos maneras, como se presenta a continuación: por una parte, asistimos a una época que sabe, por primera vez, y que desea una mirada integral de los fenómenos, sistemas y comportamientos. Las visiones parciales, analíticas, cercenadas o fragmentarias resultan cada vez más insuficientes, para muchos puntos de vista. Epistemológicamente, se trata de una visión integradora, interdisciplinaria, si se quiere; metodológicamente, asistimos a la idea de que es posible un pluralismo metodológico, o bien, lo que es equivalente, que no existe método (científico) (Feyerabend), en el sentido de “el” método (como sí lo pretende Morin).

Estamos alcanzando en muchos dominios la visión global —*the big picture*— acerca del mundo, la naturaleza, el universo. Pero es que el *big picture* no es un cuadro totalizante o totalizador (Christian, 2004), es, ante todo y fundamentalmente, un cuadro de posibilidades, literalmente, de espacios de fase. Un cuadro en el que es la posibilidad la que confiere sentido y significación a la realidad, cualquiera que esta sea.

Aunque la inmensa mayoría de desarrollos en numerosos campos son minimalistas por técnicos, es igualmente cierto que hay cada vez más atisbos de una visión global, de gran calibre, si cabe.

Pues bien, hay un campo de la historiografía, muy reciente, que apunta exactamente en esta dirección. Se trata de la “historia total” (Morris, 2016). Un concepto formulado originariamente por P. Vilar en 1960 solo encuentra sus primeros bosquejos, sus primeras elaboraciones en trabajos del siglo XXI. La historia total corresponde a una época inmensamente

rica en datos e información, en redes y en novedades. Los detalles técnicos de la historia total deben quedar para otro espacio y momento.

Así, de manera complementaria, los cambios en curso se expresan y condensan al mismo tiempo en un segundo rasgo: se trata del llamado y la elaboración de síntesis cada vez mejores, magníficamente síntesis del conocimiento. Se da, por consiguiente, en la ruptura total de las disciplinas, las ciencias, las parcelaciones en el conocimiento y en la vida (Watson, 2017).

En campos como las matemáticas (con el programa Langlands), en física (con las numerosas teorías de unificación), en biología (con la simbiogénesis), en ciencias sociales (con diversos puentes y entrecruzamientos no disyuntos), por mencionar tan solo algunos ejemplos (Barrow, 2007; Maldonado, 2015), emergen enfoques sintéticos, cuadros generales (*big picture*), más que simplemente “holistas” o sistémicos” (un lenguaje de los años sesenta, en rigor).

Las síntesis consisten en entrelazamientos que tienen en cuenta, al mismo tiempo, diferencias y proximidades, vacíos y contenidos implícitos, así como especificidades y complementariedades. Dicho computacionalmente, en ello estriba, si cabe decirlo así, el ABC de los sistemas de información, especialmente en la minería de datos. En este sentido, es posible afirmar que las síntesis no se elaboran únicamente a partir de la búsqueda de rasgos comunes y denominadores mínimos comunes. Existe un reconocimiento explícito de asimetrías, de ausencia de isomorfismos y homeomorfismos.

Así pues, la ciencia de punta se orienta cada vez más hacia el trabajo con posibilidades —incluyendo imposibilidades—, antes que a las meras realidades fácticas. En esto exactamente estriba la pertinencia de la investigación, hoy en día. Las dos expresiones de la ciencia de punta son la teoría cuántica y la información y el procesamiento de la misma. Ambas coinciden y se unifican en los lenguajes de programación, por tanto, en el modelamiento y en la simulación. Sin embargo, en la esfera cotidiana esta revolución se traducen un producto más acabado, a saber, la revolución 4.0.

Así, la cuarta revolución industrial no es, simple y llanamente, otra cosa que la traducción a la vida cotidiana —el hogar, el trabajo, el transporte, la diversión y la cultura—, del encuentro con posibilidades —los cuales se dicen entonces, genéricamente, como virtualidad(es)—.

Cada día emergen nuevos entornos virtuales, como, por ejemplo, en aquellos robots virtuales desarrollados con lenguajes de programación que aprenden tareas que posteriormente pueden ser incorporados en robots reales; o bien, aquellos entornos virtuales en los que las artes,

además de cruzar lenguajes y técnicas existentes, crean otros nuevos (arte computacional, arte en redes, arte y estética interactivos, por ejemplo); se da, incluso, la creación de espacios totalmente nuevos y nunca antes inexplorados como preparación para nuevos pasos y conquistas (microgravedad, terraformación, cultivo de plantas en condiciones de gravedad y muchos otros).

El futuro de la especie y de la vida en general se encuentra en el conocimiento, exploración y trabajo con posibilidades. Los límites planetarios, un tema altamente sensible, apenas formulado en el año 2010 por el Stockholm Research Center (2020), implican la anticipación de escenarios, la simulación de escenarios, la construcción de escenarios, con vistas a hacer la vida cada vez más posible, algo que no se produce por sí mismo. Los paisajes virtuales tienen un atractor extraño, digamos. En cualquier caso, jamás un atractor fijo o uno periódico. Se trata, al mismo tiempo, del juego y del trabajo de construcción de mundos imaginarios, posibles, imposibles, irreales, sorprendidos, contraintuitivos, fantasiosos e hipotéticos, con vistas a construir a partir de ellos realidades viables. Así, por primera vez en la historia de la humanidad, la posibilidad no se construye a partir de la realidad, sino, por el contrario, las realidades se piensan, se trabajan y se adelantan a partir de las posibilidades. Se trata de algo inédito en la historia de la ciencia, la filosofía, las artes y la cultura en la historia habida de la humanidad.

En la actualidad, existe tanto una literatura distópica como una filosofía posapocalíptica; el modelamiento y la simulación invaden el trabajo con datos, y cualquier canal de televisión los presenta como hechos consuetudinarios; existen verdaderos programas de investigación en astrofísica, cosmología y astronomía fundados esencialmente en simuladores, en toda la línea de la palabra. De la misma manera, la organización del trabajo se enfoca cada vez en la activación de organizaciones inteligentes y en la robotización. Tesla es un nombre o una palabra que permea cada vez más la cultura y la comunicación cotidianas. En fin, la inteligencia y la vida artificial ya no son temas de ciencia ficción y la propia ciencia ficción no es ajena a la vida artificial y a la revolución científica (Cixin, 2014).

La vida cotidiana está siendo radialmente transformada a pasos menos acelerados de lo que pareciera o de lo que se deseara. En las grandes superficies los temas, instrumentos y técnicas de “realidad virtual” son

un asunto que interpela a los más jóvenes, y con ellos, y a partir de ellos, también a los mayores. En pocas palabras: lo probable se ha vuelto posible, y lo real se ha transformado, paulatinamente, en lo posible. A su vez, lo imposible no es ya inimaginable.

Si la Modernidad —esto es, sociológicamente hablando, el mundo de la burguesía— nace de las utopías y se alimenta de ellas (Tomás Moro, Da Vinci, el Leviatán, y varios otros). Esa misma modernidad se cierra a sí misma en la forma del neopositivismo, el empirismo lógico, el pragmatismo, tres expresiones de una misma familia, aún más numerosa. Políticamente, la modernidad se clausura a sí misma con la reunión de Monte Pelegrino, el consenso de Washington, el neoliberalismo y todo el neo-institucionalismo (político, económico, sociológico), esto es, el llamado al “realismo político y económico” (plan de negocios, emprendimiento, *elevator pitch*).

Frente a este estado de cosas, imperceptiblemente, como “con pasos de paloma”, para utilizar la expresión de Nietzsche, un nuevo mundo emerge. Se trata de un mundo catapultado por una nueva clase social que no tiene los medios de producción y no necesita tenerlos, pero que es la generadora de los bienes que definen la calidad de vida y la dignidad. Hoy, esos bienes son información y conocimiento (Castells, 2005). Castells no le tiene nombre a esa nueva clase social. Y, sin embargo, desde disciplinas disímiles, como por ejemplo la sociología, U. Beck le tiene uno, Z. Bauman, uno más, e incluso S. Sassen tiene otro diferente.

Es el mundo de paisajes virtuales, de posibilidades. Recientemente, un pensador lo ha denominado con otra característica, a saber: se trata de ver y construir cisnes negros (Taleb, 2008). Lo virtual es la realidad misma.

Conclusiones

En la actualidad, asistimos a un proceso continuado y sostenido en el que el mundo se hace cada vez más complejo, lo cual genera el mismo efecto en el ámbito del conocimiento. El papel del computador y de la computación resulta indudablemente protagónico. Hace un tiempo un destacado investigador lo puso en evidencia: las ciencias de la complejidad son el resultado del desarrollo de la computación (Pagels, 1991),

pero, al mismo tiempo, las ciencias de la complejidad contribuyen al propio desarrollo de la computación.

Estas se definen a partir de dos ejes: de un lado, son un muy robusto aparato epistemológico. Por el otro, consisten en técnicas y herramientas muy refinadas. El primer eje conduce al estudio de las diferentes ciencias de la complejidad, sus numerosas disciplinas, sus lógicas y heurísticas. El segundo eje remite al modelamiento y la simulación. Así pues, sin ambages, los paisajes virtuales son el resultado de la confluencia entre ambos ejes. Precisamente por ello se habla de inteligencia artificial, vida artificial, sistemas y fenómenos de procesamiento de información, entre otros.

La virtualización ha sido comprendida de varias maneras: en primer lugar, como el encuentro y el trabajo con posibilidades. La realidad misma, en el sentido empírico de la palabra, nada sabe de virtualidad. Esta entra a través de la dimensión de lo posible. En segunda instancia, los paisajes virtuales son contraintuitivos, esto es, la percepción natural de poco y nada sirve para verlos y “experimentarlos”. La experiencia de la virtualidad es atravesada por nuevas tecnologías, las cuales tiene el beneficio de hacerla evidente.

La cuarta revolución se anuncia en el año 2016. Pero el anuncio coincide prácticamente con el nacimiento de este fenómeno, pues el libro de Schwab es en realidad un texto programático. En una primera parte, el autor formula la idea de la síntesis entre las tres dimensiones, biológica, física y digital. Las secciones que le sigue, de segunda a la cuarta, son, si cabe, la casuística de la revolución 4.0.

De manera manifiesta, en sus expresiones más generales, la tecnología, la economía y la sociedad están todas cambiando. Dejando de lado fatalismos, se puede decir que están llamadas a cambiar como resultado de la cuarta revolución industrial. Las voces acerca de cómo la revolución 4.0 va a favorecer a las economías más desarrolladas, generando así una desigualdad mayor a escala planetaria han sido numerosas¹. Como consecuencia de lo anterior, el trabajo con destrezas bajas tenderá a ser más desfavorecido y el conocimiento se convertirá en un catalizador de la vida, a nivel social e individual.

¹ Véase al respecto Schwab (2016).

De manera tradicional, la historia de la tecnología ha sido la historia misma de la creación de ventajas y desventajas, de desigualdades y esfuerzos para superarlas. Así sucedió con la rueda, la aguja de hilar, el fuego, incluso con la imprenta o de la llegada de los computadores. Los individuos y las sociedades que han logrado “subirse al tren” de la tecnología han sido los más favorecidos. La tecnología desempeña, sin más, un factor fundamental en la historia de la selección natural (Diamond, 1998).

Están emergiendo nuevos paisajes virtuales que transforman radicalmente la imagen y la comprensión misma del mundo y la realidad. Pero, con ello emergen, al mismo tiempo, nuevas posibilidades de conocimiento y acción que profundizan y amplían a la vez el espectro del conocimiento en general.

Referencias

- Barrow, J. D. (2007). *New theories of everything*. Oxford: Oxford University Press.
- Barrow, J. D. (1998). *Impossibility. The limits of science and the science of limits*. Oxford: Oxford University Press.
- Bitbol, M. (1998). *L'aveuglante proximité du réel. Anti-réalisme et quasi-réalisme en physique*. París: Flammarion
- Cassé, M. (2001). *Du vide et de la création*. París: Odile Jacob.
- Castells, M. (2005). *La era de la información. Economía, sociedad y cultura. La sociedad red* (vol. 1). Madrid: Alianza Editorial.
- Christian, D. (2004). *Mapas del tiempo. Introducción a la “gran historia”*. Barcelona: Crítica
- Cixin, L. (2014). *The Three-Body Problem*. Nueva York: Tor Books
- Diamond, J. (1998). *Armas, gérmenes y acero. ¿Por qué los pueblos de Eurasia conquistaron o diezmaron a las poblaciones autóctonas de América, Australia y África, y no a la inversa?* Madrid: Debate.
- Eberhard, B., Podio, M., Pérez Alonso, A., Radovica, E., Avotina, L., Peiseniece, L., ... Solé-Pla, J. (2017). Smart work: The transformation of the labour market due to the fourth industrial revolution (I4.0). *International Journal of Business and Economic Sciences Applied Reserach*, 10, 47-66.
- Grandy, D. A. (2010). *Everyday Quantum Reality*. Bloomington: Indiana University Press.
- Kafatos, M. y Nadeau, R. (1990). *The Conscious Universe. Part and Whole in Modern Physical Theory*. Nueva York: Springer Verlag.
- Kauffman, S. (2016). *Humanity in a Creative Universe*. Oxford: Oxford University Press
- Kuruczleki, E., Pelle, A., Laczi, R. y Fekete, B. (2016). The Readiness of the European Union to Embrace the Fourth Industrial Revolution. *Management*, 11(4), 327-347.
- Kurzweil, R. (1999). *La era de las máquinas espirituales*. Madrid: Planeta.
- Lloyd, S. (2006). *Programming the Universe. A Quantum Computer Scientist takes on the Cosmos*. Nueva York: Alfred A. Knopf.

- Maldonado, C. E. (2015). Pensar la complejidad, pensar como síntesis. *Cinta de Moebio*, 54, 313-32. Recuperado de: <http://www.cintademoebio.uchile.cl/>
- Maldonado, C. E. (2018). Biological Hypercomputation and Degrees of Freedom. En R. López-Ruiz (ed.), *Complexity in Biological and Physical Systems - Bifurcations, Solitons and Fractals* (pp. 83-93). Londres: IntechOpen.
- Mancuso, S. (2017). *El futuro es vegetal*. Barcelona: Galaxia de Gutenberg.
- Morris, I. (2016). *¿Por qué manda Occidente... Por ahora? Las pautas del pasado y lo que revelan sobre nuestro futuro*. Barcelona: Ático de los Libros.
- Pagels, H. R. (1991). *Los sueños de la razón. El ordenador y los nuevos horizontes de las ciencias de la complejidad*. Barcelona: Gedisa
- Rosenblum, B., y Kuttner, F. (2014). *El enigma cuántico. Encuentros entre la física y la conciencia*. Barcelona: Tusquets.
- Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. Barcelona: Random House.
- Stancioiu, A. (2017). The fourth industrial revolution 'Industry 4.0'. *Fiability & Durability/Fiabilitate si Durabilitate*, (1), 74-78
- Stockholm Resilience Center. (2020). *The nine planetary boundaries*. Recuperado de: <http://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries/planetary-boundaries/about-the-research/the-nine-planetary-boundaries.html>
- Taleb, N. N. (2008). *El cisne negro. El impacto de lo altamente improbable*. Barcelona: Paidós.
- Watson, P. (2017). *Convergencias. El orden subyacente en el corazón de la ciencia*. Barcelona: Crítica.