



Director de la colección

Marco Raúl Mejía



Ediciones
desde abajo

Introducción al pensamiento científico de punta, hoy
Carlos Eduardo Maldonado

Octubre 2015

Ediciones desde abajo
www.desdeabajo.info

ISBN: 978-958-8926-08-7

Diseño y diagramación: Difundir Ltda.
Transv. 22A N°53D-42, int.102, telf.: 345 18 08 / 217 89 92
Bogotá, D.C. - Colombia

El conocimiento es un bien de la humanidad. Todos los seres humanos deben acceder al saber, cultivarlo es responsabilidad de todos.

Se permite la copia, de uno o más artículos completos de esta obra o del conjunto de la edición, en cualquier formato, mecánico o digital, siempre y cuando no se modifique el contenido de los textos, se respete su autoría y esta nota se mantenga.

Introducción al pensamiento científico de punta, hoy

Carlos Eduardo Maldonado

Índice

Introducción	7
I. De la pequeña a la gran ciencia	11
II. La cienciometría.....	15
III. Sociología del conocimiento.....	19
IV. Ciencia como análisis y como síntesis.....	25
V. Nuevas ciencias, nuevos programas.....	29
VI. El trabajo con la distinción de las clases de problemas	37
VII. Mapas de conocimiento, redes de investigación.....	45

VIII. Big data, big science.....	51
IX. Ciencia como síntesis: ejemplos menos conocidos.....	59
X. También en las ciencias sociales, humanas y las humanidades.....	87
XI. Revolución científica, revolución social y cultural.....	91
A manera de conclusión.....	97
Addenda.....	101
Referencias bibliográficas.....	103

Introducción

Que existen “revoluciones científicas”, es ya una idea, un lugar común, entre legos y expertos. Son numerosos los indicativos, amplios los análisis, acertados los estudios, y abundantes las pruebas y demostraciones: manifiestamente nos encontramos en medio de una revolución científica de gran calado. Pero, dada la importancia de la ciencia y la tecnología en el mundo actual, sin ambages, cabe decir que nos encontramos, entonces, exactamente en medio de una revolución social, cultural y política.

Quiero aquí hacer una invitación a reflexionar el pensamiento científico de mundo en los actuales momentos. Para ello, en las páginas que siguen presento una visión de conjunto como un estudio vectorial –esto es, de tendencias–, a la vez que la ilustración puntual de la ciencia que está en producción alrededor del mundo, hoy por hoy.

Sin embargo, una observación importante se impone. No existe y no es posible una visión única sobre la ciencia. Contra todas las apa-

riencias, y las visiones ideológicas, existen numerosas comprensiones acerca de ella, y no existe un único sendero o una única expresión de lo que ésta sea. Cualquier afirmación en sentido contrario es tanto desconocimiento como manipulación social y de ideas.

Lo cierto es que la ciencia y la tecnología tienen en los tiempos que corren una importancia social, política y cultural como jamás la había tenido. Los más fundamentales y acuciosos problemas que enfrenta hoy la humanidad han sido planteados por científicos. Y un hecho cultural importante: por primera vez en la historia, dichos retos y problemas no han sido formulados por filósofos o teólogos, como en el pasado.

Aspectos tan sensibles como las esperanzas y las expectativas de vida, las soluciones al calentamiento global, la contaminación y la polución, la exploración del espacio extraterrestre con todas sus implicaciones y consecuencias, el estudio del origen y el destino del universo, los temas y problemas de equidad –por ejemplo, son todos asunto de la comunidad científica– en el sentido preciso de la palabra. En fin, de-

bemos poder comprender el sentido, la estructura, las dinámicas y opciones de la ciencia si queremos comprender bien las posibilidades de la vida hacia delante, en el tiempo.

I. De la pequeña a la gran ciencia

La imagen del filósofo o científico –acaso genio y solitario, acaso cínico o escéptico, quizás crítico y cuestionador, en fin, el observador y teórico–, son, como tales, imaginarios que quedan en el pasado. De acuerdo con un autor destacado (De Solla Price, 1986) cabe distinguir la “pequeña ciencia” (*little science*) de la “gran ciencia” (*big science*). Aquella es la empresa de estudio e investigación de un científico –o para el caso, un filósofo–, solitario, encerrado en su laboratorio o estudio, rodeado de instrumentos y equipos o de libros y papeles, investigando lo que puede y le interesa. En contraste, la “gran ciencia” –llamada en ocasiones también “macrociencia”– se caracteriza por el trabajo mancomunado de numerosos científicos, conjuntamente con ingenieros y personas procedentes de diferentes disciplinas, soportadas por grandes equipos administrativos y financieros. En estos grandes equipos es notable, adicionalmente, la participación de los militares, el sector privado, la sociedad civil, y sectores gubernamentales, naturalmente, con motivaciones distintas. Muy específicamente,

la gran ciencia comporta una parte importante del PIB de un país.

Ejemplos de la gran ciencia son, entre otros, el proyecto genoma humano (PGH) y sus derivaciones –la proteómica, la genómica, y demás–, el *Brain Initiative* (que corresponde a *Brain research through advancing innovative neurotechnologies* – Investigación del cerebro mediante avances innovativos en las neurotecnologías); la exploración y eventual conquista del espacio extraterrestre; la exploración del fondo submarino, la búsqueda de energías alternativas, la investigación con el gran colisionador de partículas (LHC), y varios más. En la transición de la pequeña a la gran ciencia, la cienciometría desempeña un papel protagónico en la estructuración y dinámicas de la investigación misma.

Así, puede decirse sin ambigüedad que el grado y modo de desarrollo de un país se corresponde, hoy por hoy, al apoyo que el Estado, y el sector privado, le otorgan a la investigación en grandes programas. Los casos recientes de China, Rusia y la India, y algo más atrás, Brasil, son relevantes en la comunidad científica y en los estudios acerca de las políticas de ciencia y

tecnología; y ello para no mencionar los casos destacados y conocidos de E.U., Europa, y Japón. Comparativamente, los países en vías de desarrollo esencialmente promueven (aún) a la pequeña ciencia.

En cualquier caso, es claro que no en última instancia, a los desarrollos y dinámicas de ciencia y tecnología les corresponden políticas agresivas de apoyo a la educación y la investigación científicas y de ingeniería, de información y socialización del conocimiento.

Una expresión puntual de la investigación en gran escala es el trabajo en torno a las tecnologías convergentes, y no ya simple y principalmente a las TICs. Son tecnologías convergentes las NBIC+S, y que corresponde a las (N)nanotecnologías, la (B)biotecnología, las (I)tecnologías de la información, las (C)tecnologías del conocimiento, y (S)la dimensión social de la tecnología. Huelga mencionar que la imbricación entre las NBIC+S es fuerte y recíproca. Propiamente hablando, las TICs corresponden a tecnologías de los años 70 del siglo anterior, en tanto que, a la fecha, las nuevas y mejores tecnologías son las NBIC+S.

Como puede apreciarse, el tránsito de la pequeña a la gran ciencia corresponde, en rigor, a formas de organización de la sociedad —en torno al conocimiento—, tanto como en formas de organización del conocimiento mismo. No en vano, la gran ciencia va acompañada por la creación y apoyo público y privado a centros e institutos de investigación.

II. La cienciometría

El tránsito de la pequeña a la gran ciencia va acompañada de estructuras y dinámicas que jamás habían existido en la historia de la humanidad. El título que compendia esas dinámicas y estructuras es la cienciometría.

Propiamente hablando, la cienciometría es ciencia de segundo orden; esto es, literalmente, ciencia de la ciencia. La cienciometría se encarga de estudiar la producción científica, la tecnología y la innovación, sus modos y estructuras, los medios, el impacto y la calidad de la investigación misma. Los capítulos constitutivos de la cienciometría están en construcción, de manera gradual, a partir del Manual de Frascati –propuesto por la Oede a partir de 1963–, y complementados gradualmente por los Manuales de Camberra (1992), Oslo (1997), y el de Bogotá (2001).

Un aspecto fundamental de la cienciometría – literalmente: medición de la actividad y la producción científica– es la creación de indicadores y el trabajo con los mismos. Indicadores de pro-

ducción, de equipos humanos, de equipos técnicos, administrativos y financieros de apoyo a la ciencia, la tecnología y la innovación, en toda la línea de la palabra.

De manera concomitante, la cienciometría se articuló en otros capítulos y extensiones, entre los más destacados de estos la infometría, la bibliometría, y la epistometría. En cada uno de los cuales se trata del estudio y discusión sobre cómo se produce la información y qué tipo de ésta es relevante; cuáles son las bibliotecas, libros, revistas y redes con que trabajan los científicos y, finalmente, el estudio de cómo saben los científicos aquello que saben (y no otra cosa).

Recientemente, la cienciometría ha producido, expresándolo al mismo tiempo –particularmente ante la sociedad y la comunidad de Estados–, en aspectos como la elaboración de rankings; esto es, escalafones, que al mismo tiempo que miden, producen impacto. Así, muy notablemente, ha elaborado hasta el momento, rankings de universidades, centros e institutos de investigación, programas y carreras académicos e, incluso, rankings de profesores y científ-

cos. De otra parte, cabe mencionar igualmente los rankings de centros de pensamiento (*Think Tanks*).

Estos rankings tienen diversos significados e impacto, así: al mismo tiempo que constituyen motivos de orgullo y prestigio —y cuando no, de desdén y escepticismo—, son adicionalmente, formas de conseguir mayor apoyo financiero, humano y administrativo en la dirección a la que apuntan los escalafones. Así, para decirlo lapidariamente, “el rico se torna más rico, y el pobre más pobre”. Es decir, quienes están en los mejores lugares de los escalafones atraen mayores preferencias y ventajas de diversa índole, y quienes no, continúan rezagados.

Mientras que la ciencia, en cualquier acepción de la palabra, lo es de primer orden —esto es, ciencia que se ocupa de temas y problemas reales en cada caso, que formula y resuelve problemas, en términos de investigación básica, experimental y aplicada—, la cienciometría es el resultado de los procesos de complejización del conocimiento, y de la gestión misma del conocimiento; asunto que nos conduce a un tema apasionante: la sociología del conocimiento, hoy.

III. Sociología del conocimiento

Nuestra época es única en un sentido muy específico, particularmente si la miramos con el prisma del conocimiento. En verdad, jamás había existido tantos académicos, científicos, investigadores, técnicos e ingenieros en la historia de la humanidad como en nuestros días. Es más, al sumar todos los científicos, filósofos, y demás con que ha contado la humanidad en toda su historia, su número es ínfimo con respecto a la cantidad —y en numerosas ocasiones la calidad— de los investigadores que existen hoy en día. Vivimos, literalmente, una edad de luz, en el sentido de una edad de información y conocimiento como jamás había existido en la historia de las civilizaciones humanas.

Ciertamente que hay factores que explican de manera fácil, aunque externa, esta circunstancia. Está el enorme crecimiento demográfico de la humanidad, la masificación de la educación, la importancia sin igual de la tecnología y, con ella, esa expresión puntual que es internet; la creciente igualdad de género entre hombres y mujeres, la democratización

de la sociedad y del conocimiento que permite y reconoce investigadores y científicos con diversas orientaciones sexuales, por ejemplo. Como quiera que sea, es evidente que vivimos un momento de más y mejor información, de más y mejor conocimiento, que lo nunca antes conocido, vivido ni gozado.

De manera concomitante, jamás habíamos sabido tanto sobre la realidad, la naturaleza, el universo y los propios seres humanos, como en nuestros días. Hay campos del conocimiento en los que hoy sabemos infinitamente más de lo que jamás supimos, en parte gracias a la especialización del conocimiento tanto como a los diálogos y cruces entre ciencias, disciplinas, prácticas y saberes. Es más, en la casi totalidad de los campos del conocimiento, al sumar todo lo que anteriormente jamás se supo, y se lo compara con lo que hoy hemos llegado a explicar, comprender y saber, siendo generosos, todo lo anterior suma máximo el 2 por ciento de lo que hoy sabemos sobre el universo y sobre nosotros mismos. Por lo demás, hay numerosos campos que han surgido como resultado de la complejización misma de la ciencia —y del mundo—, que jamás habían existido en la historia de la humanidad. Los ejemplos

son profusos, y la lista se tornaría casi interminable. Sólo para brindar una idea somera, valga mencionar: la topología, las matemáticas de sistema discretos, la microbiología y la virología, las ingenierías en general, las relaciones internacionales, las finanzas, y la inmensa gama de especializaciones y sub-especializaciones en medicina, por ejemplo.

En el pasado, el conocimiento en general, la educación y la información en particular, eran del dominio de grupos cerrados, elitistas, excluyentes. Al conocimiento sólo era posible acceder después de pasar diversas pruebas de distinta índole: pruebas de conocimiento, de idoneidad, de confianza, de pericia y otras. Más exactamente, el conocimiento estaba preservado de la sociedad, y había que llegar a él. Hoy, por el contrario, el conocimiento está abierto a la sociedad¹.

1 Por ejemplo: las más prestigiosas universidades del mundo cuelgan en internet sus programas y currículos; las revistas tienden rápida y de manera consolidada al *open Access* (acceso libre y gratuito a sus artículos); los grandes foros mundiales –Davos, por ejemplo–, hacen públicos sus intereses y miembros integrantes; las agendas de numerosos eventos importantes en el mundo se hacen públicas, antes o después de una gran reunión, pública o privada, y muchos otros casos. Es suficiente con un buen espíritu de búsqueda y un cierto sentido de hacktivismo.

En contraste, en nuestros días, en principio cualquiera puede tener acceso a lo mejor de la educación, la información y el conocimiento, supuestas capacidades básicas de autodisciplina, inteligencia, pasión, gusto, y otras características semejantes. Nuestra época, literalmente, se caracteriza por que, por primera vez en la historia del universo, el conocimiento no es de nadie en particular y es un bien común, accesible a todos y cada uno. Pues bien, estas son características de una auténtica revolución en el conocimiento. Parodiando a Th. Kuhn, vivimos, hoy en día, en medio de una verdadera revolución científica, y toda revolución científica es en realidad un hecho político y cultural.

Y como en toda revolución, algunos, con las razones equivocadas, se encuentran en el bando correcto; otros, con las razones correctas, se encuentran en el bando equivocado. Debe ser posible que todos se encuentren, idealmente, con las razones correctas en el bando correcto. Pues bien, tal es justamente la primera tarea de la información, de la educación y de la divulgación científica, para mencionar tan sólo los tres escalones básicos en el desarrollo de un individuo y

una sociedad –hoy, de cara a la sociedad de la información y del conocimiento.

IV. Ciencia como análisis y como síntesis

Nuevas formas de pensar, nuevas estructuras de pensamiento, nuevos lenguajes, nuevas metodologías, en fin, nuevas formas de organización y acción están emergiendo y son posibles.

Algo semejante aconteció en tres momentos fundamentales de la historia humana: primero, alrededor del año 3000 a.e.v.: luego, en el nacimiento de la Grecia clásica, y con ella, de la civilización occidental; posteriormente, hacia el año 500 a.e.v., en el Renacimiento, un proceso que en realidad abarca desde el siglo XII hasta el *Quattrocento*, propiamente dicho. Y en nuestros días. Cada uno de estos momentos ha sido un verdadero jalón, o una auténtica inflexión en el proceso civilizatorio de la humanidad.

En el pasado predominó un tipo de pensamiento absolutamente fundamental: el análisis. Tal es exactamente el primero y más importante de todos los rasgos y características del modo de pensar de esa civilización que se denomina a sí misma como “Occidente”. La historia comienza

exactamente con Platón y Aristóteles y se proyectó, digamos, hasta esta mañana.

Analizar significa literalmente, dividir, fragmentar, segmentar, compartimentar. El análisis es la forma fundamental de pensamiento de Occidente, que, consiguientemente, va acompañada o entraña, jerarquizaciones, clasificaciones, rangos de conocimientos, clasificaciones que entrañan, no muy lejos en el trasfondo, divisiones entre los seres humanos. No muy lejos resuena Maquiavelo: “divide y vencerás”.

La historia de la civilización occidental es exactamente la historia de un alto refinamiento y capacidad de dividir, partir, cercenar, fragmentar. Como lo expresaron en alguna ocasión, fuimos genios en dividir, pero pésimos a la hora de reunir, de unificar, de integrar los elementos divididos. El lenguaje común y corriente y el científico y académico mismo de esa tradición es claro al respecto: “elementos”, “fundamento(s)”, “fundamental”, y otros, expresan exactamente esa historia de compartimentación y análisis. Tal es, exactamente, la historia del pasado; y del presente en términos de la corriente principal de pensamiento –y de vida– (*mainstream*

science). Un presente que, queremos decirlo, se hunde irremediablemente en el pasado, confundándose con él.

En contraste, como un aspecto constitutivo de la ciencia de punta hoy en día, cabe resaltar que estamos comenzando a hacer el aprendizaje de otra forma de pensamiento perfectamente distinta al análisis. Se trata de la síntesis.

Una forma genérica de acercarse a esta nueva manera de pensar es como interdisciplinariedad. Pensar —¡y vivir!, por tanto, como síntesis—, es un fenómeno para el cual la educación no estuvo preparada en el pasado, para nada. Actualmente, en los niveles más básicos apenas sí comienza a notar el contraste.

Propiamente hablando, el pensar como síntesis sucede alrededor de la emergencia de nuevas ciencias y programas de investigación científicos, una expresión puntual y aguda de la revolución en curso.

V. Nuevas ciencias, nuevos programas

Recientemente, en especial a partir de los años 1960, y hasta la fecha, han surgido nuevos grupos de ciencia. Estas, notablemente, son:

- Las ciencias cognitivas
- Las ciencias de la tierra
- La ciencias de la vida
- Las ciencias de la salud
- Las ciencias de materiales
- Las ciencias del espacio
- Las ciencias de la complejidad
- La(s) ciencia(s) de grandes datos

Se trata de una magnífica eclosión, casi contemporánea, casi paralela, de ciencias –¡en plural!–, que surgen y se fundan a partir de problemas de frontera. En cada uno de los casos, conocimiento, vida, salud, y demás, no son objetos de trabajo. Por el contrario, se trata de verdaderos problemas de frontera. Pues bien, un problema se dice que es de frontera cuando convoca a varias ciencias y disciplinas, o bien cuando en él confluyen diversas tradiciones,

lenguajes, metodologías y enfoques científicos y disciplinares.

Cabe resumir los tres grandes momentos de la ciencia en la siguiente tabla:

Pasado	Presente	Futuro
Ciencia	Interdisciplinariedad	Complejidad
Objeto	Áreas, Campos	Problemas

Elaboración propia

La tabla 1 significa lo siguiente: en el pasado, muy específicamente la ciencia clásica, tenía objetos y se definía a sí misma por objetos. De esta suerte, la economía tenía un objeto de trabajo, lo mismo la física, y así sucesivamente. Posteriormente, hacia los años 1960 y 1970, surge la interdisciplinariedad –en rigor, la inter, trans, y multidisciplinariedad, pero sus diferencias no son aquí relevantes–, y con ella los estudios de área, y los estudios de campo. En consecuencia, la ciencia deja de trabajar sobre objetos y vuelca su atención, esta vez en diálogo con otras ciencias y disciplinas, sobre campos y áreas. En lo que queremos llamar el futuro –que ya comenzó y se encuentra, incipientemente,

entre nosotros—, las nuevas ciencias como síntesis se definen a sí mismas en términos de, y trabajan activamente con, problemas. De este modo, “vida”, “complejidad”, “tierra” no son propiamente objetos de trabajo, sino *problemas*.

En otras palabras, de lo que se trata de estudiar es si, por ejemplo, existen otros planetas como la Tierra —llamados exoplanetas—, o si se enferman no solamente los seres humanos y los animales, sino, incluso, las plantas, y más allá, los materiales mismos; o bien, en otras palabras, si los materiales son los que provee la naturaleza o los que encontramos en el espacio exterior o, incluso, aquellos que podemos producir de forma sintética: materiales artificiales.

Existen aquí cruces muy sugestivos y productivos, por ejemplo, con las tecnologías convergentes. El fullereno, el grafeno, el alcohol oélico, los nanotubos de carbono, las nanofibras, son algunos de los nuevos materiales que tienen que ver con la nanotecnología y la nanociencia.

Dicho de otra manera, en la actualidad nadie puede llamarse a sí mismo(a) como científico(a) si no trabaja con y a partir de problemas: su

identificación, la especificación de sus diversos tipos, en fin, resolución de problemas. La investigación científica contemporánea ya no habla de objetos, campos o áreas, a menos que sea en un sentido laxo, como indicación; sino, metodológica, lógica y epistemológicamente, se define a partir de, y se articula con, problemas.

Hay un rasgo importante en la emergencia de las nuevas ciencias –de éstas como síntesis–. Se trata del hecho de que las ciencias clásicas –por ejemplo, la física, la química, la economía, la política, y demás–, no aparecen en primer plano cuando se observa a los nuevos grupos de ciencias mencionados. ¿Qué sucede? Dicho de manera genérica, una parte, digamos, de la física, entra en una de las ciencias como síntesis, otra parte entra en otra, y hay una parte que se queda por fuera. Lo mismo acontece en el caso, digamos, de la sociología, o de la antropología, y demás.

Para decirlo de manera puntual: la ciencia clásica era individualizada y diferente de las demás. Las nuevas ciencias como síntesis, por el contrario, implican diálogo, aprendizaje recíproco, interacción, en fin, justamente eso: síntesis.

Correspondientemente a la emergencia de nuevas ciencias han surgido, además, nuevos programas de investigación. Algunos ejemplos de estos nuevos programas son la exploración del fondo submarino, la exploración del espacio exterior, la búsqueda de energías alternativas, el Proyecto genoma humano (PGH) y su fase siguiente, la proteómica, en fin, muy recientemente, la iniciativa Brain o Investigación del cerebro a través de las neurotecnologías innovativas (más) avanzadas.

Todos estos son programas de investigación de gran calado, que involucran grandes equipos de investigadores, muchas veces provenientes de numerosas disciplinas, y que para los países participantes implican un componente importante de su PIB. Veamos por un instante los dos más recientes programas mencionados.

El PGH se articuló en dos fases: la primera, la identificación del mapa del genoma humano. En realidad, el mapa de los sistemas vivos en el Planeta. La segunda etapa, la proteómica, es bastante más ambiciosa, y consiste no ya simplemente en leer el mapa genético, sino en la capacidad de escribir sobre él. De lejos, las

áreas más prometedoras son las ciencias de la salud y de la vida, en toda la extensión de la palabra. Valga recordar que cuando fue presentado el PGH en el año 2000 participó un panel destacado de científicos presididos en ese entonces por el presidente de E.U. Bill Clinton y el Primer Ministro inglés Tony Blair. No hay que llamarse a engaños con respecto al significado de dicho acto: el PGH es un programa del mayor interés estratégico para las dos potencias mencionadas, y fue completado en su primera fase en el año 2003. El mapa entero del genoma humano fue publicado completamente en internet, tal y como se había propuesto originalmente.

Más recientemente, a finales del año 2013, el presidente Obama lanzó la iniciativa Brain (Cerebro), la que está financiada por tres grandes agencias de los E.U.: en primer lugar la Darpa (Defense Advanced Research Projects Agency: Agencia de proyectos de Investigación Avanzados en Defensa), que aporta la suma de cincuenta millones de dólares anuales; los Institutos Nacionales de Salud (NHI) con el aporte de cuarenta millones, La oficina de Administración de Drogas y Alimentos (FDA), y

la muy prestigiosa National Science Foundation (Fundación Nacional para La Ciencia). Asimismo, el sector privado participa a la par, en especial la industria fotónica (con un aporte de 30 millones), la transnacional farmacéutica inglesa Glaxonsmithkline (con un aporte de 5 millones) y, finalmente, el sector académico, así: la Universidad de Pittsburgh (dona 65 millones), la Universidad de California, Berkeley y la sección de microscopía de Carl Zeiss (con 40 millones), la Simons Foundation (participa con 62 millones), el Allen Institute for Brain Science (60 millones), el Howard Hughes Medical Institute (con una donación de 70 millones), y la Kavli Foundation (con 40 millones). Como se observa con facilidad, se trata de un programa de investigación de interés estratégico en la política del Estado de los E.U.

Tenemos, así, una visión sucinta de los nuevos programas de investigación, y con ellos de la gran ciencia y de ésta como síntesis: tres manera de caracterizar las nuevas estructuras y procesos de investigación en el mundo, al lado de los cuales, permanece, en otra dimensión, la pequeña ciencia. Esto es, la que adelantan grupos interdisciplinarios en torno a líneas de

investigación, haciendo acaso, cada quien lo suyo.

Un lugar aparte merece la investigación que adelantan en el CERN (*Centre Européen de Recherches Nucleaires*: Centro Europeo de Investigación Nuclear), situado en la frontera entre Francia y Suiza en torno a la estructura fundamental de la materia: la partícula de Higgs, el campo de Higgs, la exploración de la antimateria. Manifiestamente se trata de la física de altas energías que trabajan en unidades magníficas de electrovoltios de diez, doce, catorce teraelectrovoltios (TeV) y petaelectrovoltios (PeV)². Más de cincuenta países participan en él, la inmensa mayoría son físicos de partículas, y en un máquina formidable que es el Gran Colisionador de Hadrones (LHC, por sus siglas en inglés), crean y destruyen continuamente partículas atómicas a velocidades increíbles para la escala humana, proceso que ha permitido arrojar luces novedosas y refrescantes acerca de la estructura de la materia y, por consiguiente, acerca de la estructura del universo y el origen del mismo. Hemos avanzado mucho en la elucidación de este último interrogante.

2 Un electrovoltio es igual a 1.783×10^{-36} Kg.

VI. El trabajo con la distinción de las clases de problemas

Los científicos actuales no se definen a partir de objetos de trabajo ni en la identificación de las áreas y campos en que trabajan. Más exacta y radicalmente, se definen en función de los problemas sobre los que trabajan; esto es, literalmente, de los problemas que identifican, de los problemas que formulan de los problemas que resuelven. Y aún así, esta idea no es aún suficiente ni exacta.

Dicho aún con mayor rigor, no es suficiente identificar y formular problemas. Más aún, es indispensable identificar *la(s) clase(s) de problema(s)* sobre los que investigan. Pues bien, el trabajo con la clase de problemas se conoce (técnicamente) como complejidad computacional.

El tema se remonta a 1971-73, y los padres del mismo son S. Cook, L. Levin y R. M Karp. Y el modo genérico consiste en identificar el mejor algoritmo posible para resolver un problema y/o –en realidad en contraste con lo que técni-

camente se conoce como— la solución bruta a un problema.

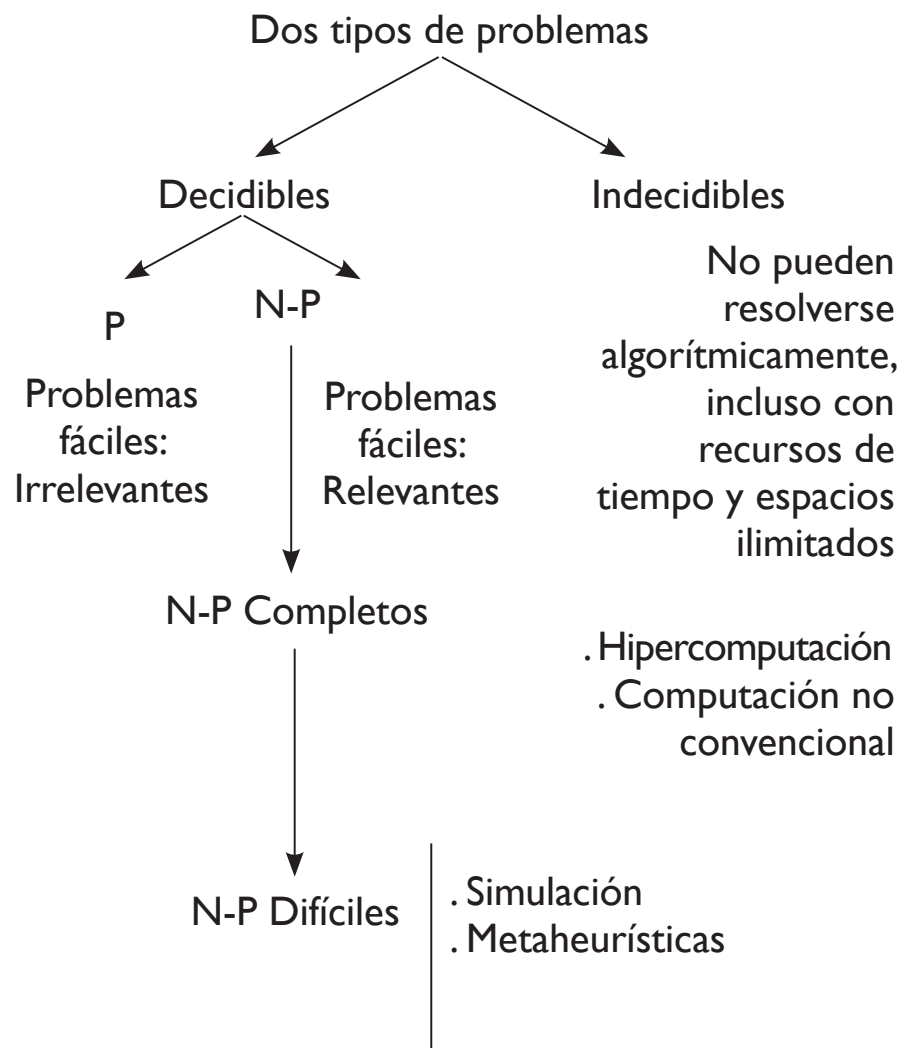
Los temas y problemas de complejidad computacional pueden ser identificados, sin dificultad alguna, como la columna vertebral de todos los temas y problemas relativos a complejidad en el sentido al mismo tiempo más amplio y preciso de la palabra.

De manera puntual, la complejidad computacional de un problema consiste en la búsqueda de la mínima extensión del programa más largo para resolver un problema. En otras palabras, se trata de identificar el tiempo mínimo y máximo y los recursos máximos y mínimos de resolución de problemas.

El esquema N° 1 ilustra en qué consiste el trabajo de distinción con las clases de problemas:

Esquema N° 1. Clases de problemas, o complejidad computacional

Complejidad computacional



Fuente: Maldonado y Gómez (2011)

El esquema significa lo siguiente: desde cualquier punto de vista es posible identificar todos los problemas –de la ciencia o de la vida misma– en dos grupos. De un lado, están aquellos que se dicen *indecidibles*. Un problema indecidible³ es igualmente un problema incompresible. Se trata de la clase de problemas en los que, aún si se asume que existe un tiempo, un espacio, y recursos ilimitados, aún así no será, en absoluto, posible establecer: a) si, b) si sí cómo, y c) cuándo, un problema será resuelto o, lo que es equivalente, cuándo un programa se detendrá. Esta clase de problemas son, de lejos, en cualquier dominio de la existencia, del mundo o del universo, los más importantes. Su abordaje conduce a los temas de hipercomputación y computación no-conventional y computación cuántica.

De otra parte, cabe identificar los problemas que son decidibles. Estos, a su vez, se dividen en problemas P y NP. Un problema P es todo aquel que es posible abordar y resolver descomponiendo el problema en los términos que lo componen o articulan, y ello en un tiempo determinista polinomial. Para los seres humanos,

3 El concepto nada tiene que ver con el hecho de que un problema se pueda *decir*, o sobre el que se pueda *decidir* tal y cual cosa.

en el planeta, un tiempo polinomial coincide, plano por plano, con los ciclos circadianos. En consecuencia, unidades del tiempo polinomial son: el minuto, la hora, el día, la semana, el mes, el año, etc.

En matemáticas, en lógica, en complejidad y en ciencias de la complejidad un problema que se resuelve o que se puede resolver se dice que es fácil, y por ello mismo *trivial*. En otras palabras, siempre será posible encontrar una solución a cualquier problema. La dificultad enorme estriba en demostrar que la solución encontrada es la correcta. A esto se refieren los problemas NP.

Un problema NP es no polinomial, y su núcleo consiste en demostrar que la solución encontrada a un problema es la mejor —o más eficiente— que otras. DE manera correspondiente, en matemáticas, en ciencias de la complejidad, en lógica y en ciencia de la complejidad se dice que los problemas NP son difíciles. Y por esta misma razón, *relevantes*.

Ahora bien, ¿puede afirmarse que en el mundo, como en la vida, existen más problemas fáciles

que difíciles? ¿O bien, que son perfectamente distintos los problemas fáciles y los problemas difíciles? Esto es:

$$¿P = NP?$$

O bien,

$$¿P \neq NP?$$

Dicho de otra forma, dilucidar cualquiera de los dos problemas formulados es lo que constituye exactamente a los problemas NP completos. Por su parte, los problemas NP-difíciles (*Hard NP problems*) son, para decirlo de manera breve, todos los que pueden ser resueltos por lo menos como un problema NP.

Como se aprecia, en síntesis, el tema consiste en lo siguiente: no es suficiente con trabajar con problemas –identificarlos, resolverlos–. La dificultad estriba en establecer si el problema a la mano es fácil o difícil. Intuitiva o pragmáticamente alguien podría decir sin más que x problema es fácil o difícil. El reto consiste en que la pragmática o la intuición en ocasiones son útiles y necesarios en la vida como en la

ciencia, pero no son suficientes. Es indispensable demostrar que x o y son un problema fácil o difícil. Lo cual está muy lejos de ser evidente. Precisamente por ello la necesidad, mínimamente, de identificar una solución a un problema y demostrar que esa solución era la justa, conveniente, necesaria o lo que sea. El hilo conductor, así, consiste en la identificación y el trabajo con la extensión más corta del programa más largo para resolver a x o a y .

Los problemas P versus NP han sido llamados como uno de los problemas del milenio y constituye quizás el más importante y difícil problema en el que confluyen matemáticas, lógica, computación y complejidad. Precisamente por ello, este puede ser llamado el núcleo mitocondrial de todos los problemas relativos a la heurística en general. Como quiera que sea, la idea de base es que es indispensable identificar la(s) clase(s) de problema(s) con que se trabaja, y ello constituye el corazón de los temas y problemas relativos a la complejidad computacional.

VII. Mapas de conocimiento, redes de investigación

Asistimos a una época de un verdadero entramado del conocimiento. Queda atrás –aunque es aún prevaleciente en los marcos de la educación y de la ciencia *normal*– las clasificaciones de origen griego, medieval o moderno acerca de la ciencia. De los griegos, queda atrás la idea de jerarquías de conocimiento; del medioevo, la división del conocimiento en Facultades; y de la modernidad, el encerramiento del conocimiento en las Academias. Estas fueron tres formas de organización del conocimiento y de su organización social que en su momento desempeñaron un papel fecundo. Hoy en día, *à la lettre*, resultan en instituciones arcaicas, aunque aún altamente poderosas o influyentes o prestigiosas en diferentes lugares del mundo.

Lo cierto es que las dinámicas del conocimiento son, hoy por hoy, las que determinan y explican sus estructuras. Estas dinámicas se articulan como mapas de conocimiento y alrededor de redes de investigación.

Un mapa de conocimiento es, sencillamente el reconocimiento de que no existen ya centros ni jerarquías, sino horizontalidad, cruces y reforzamientos recíprocos. Los mapas expresan aprendizajes recíprocos, movimientos y dinámicas, tendencias y proyecciones, antes que estados de conocimiento. Pues bien, los mapas de conocimiento corresponden exactamente a los procesos en curso en la ciencia de punta hoy en día alrededor del mundo. El gráfico N° 1 ilustra una red de conocimiento.

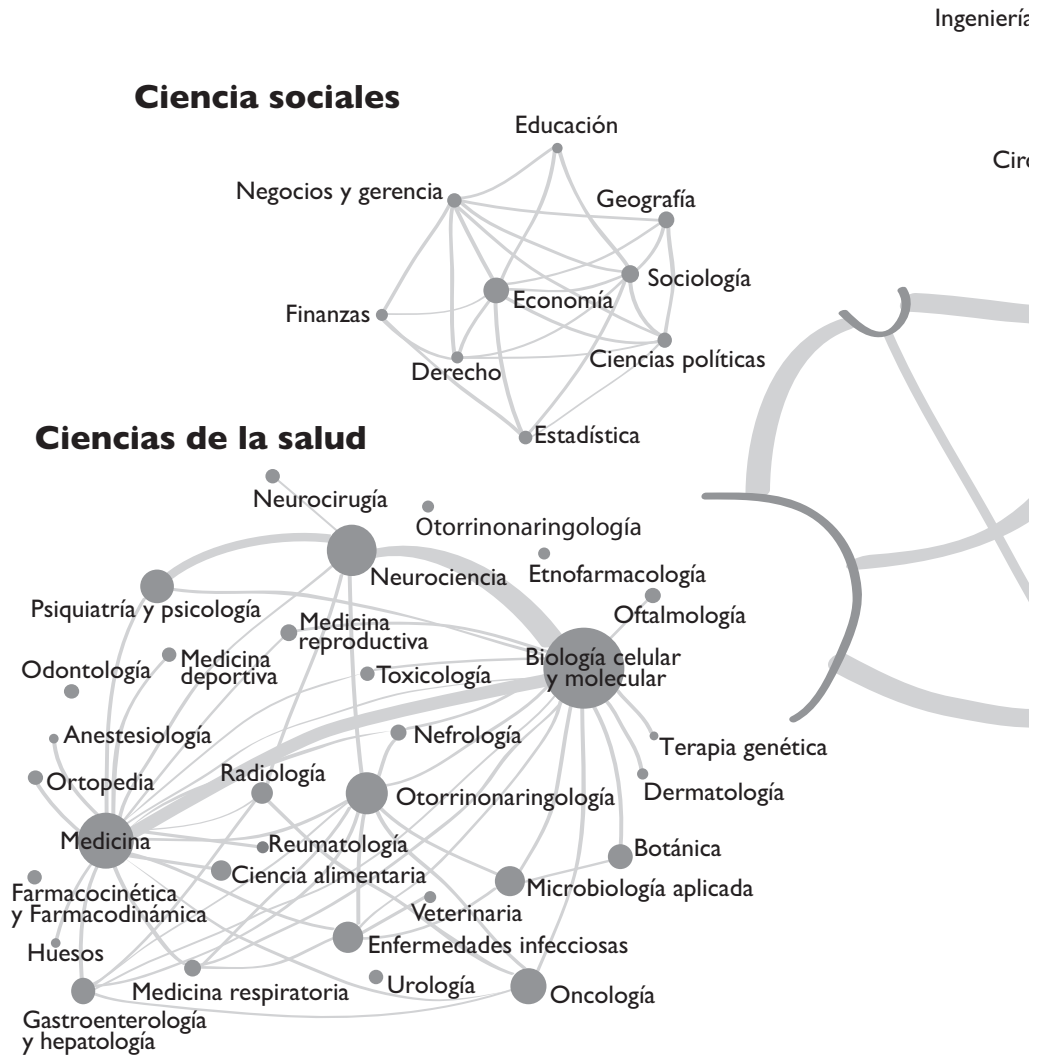
Asimismo, la forma de las dinámicas de investigación acontecen cada vez más en términos de redes. Estas redes tienen varios significados y alcances, así: de un lado, es la participación de investigadores de un campo en otras áreas de su formación gracias a la experticia o al reconocimiento logrado. Deja así de reinar recelo y división, especialización y confinamiento de cada ciencia o disciplina sobre sí misma. Esta última idea puede apreciarse fácilmente por vía de contraste con lo que clásicamente fueron las academias y las actividades de los científicos. Así, por ejemplo, de manera atávica, los economistas se reúnen en congresos de economía hablan de ésta y publican en revistas de

economía. Y así, sucesivamente, para los físicos, los matemáticos y demás. Las redes de conocimiento implican, por el contrario, horizontalidad y, por tanto, estructuras abiertas.

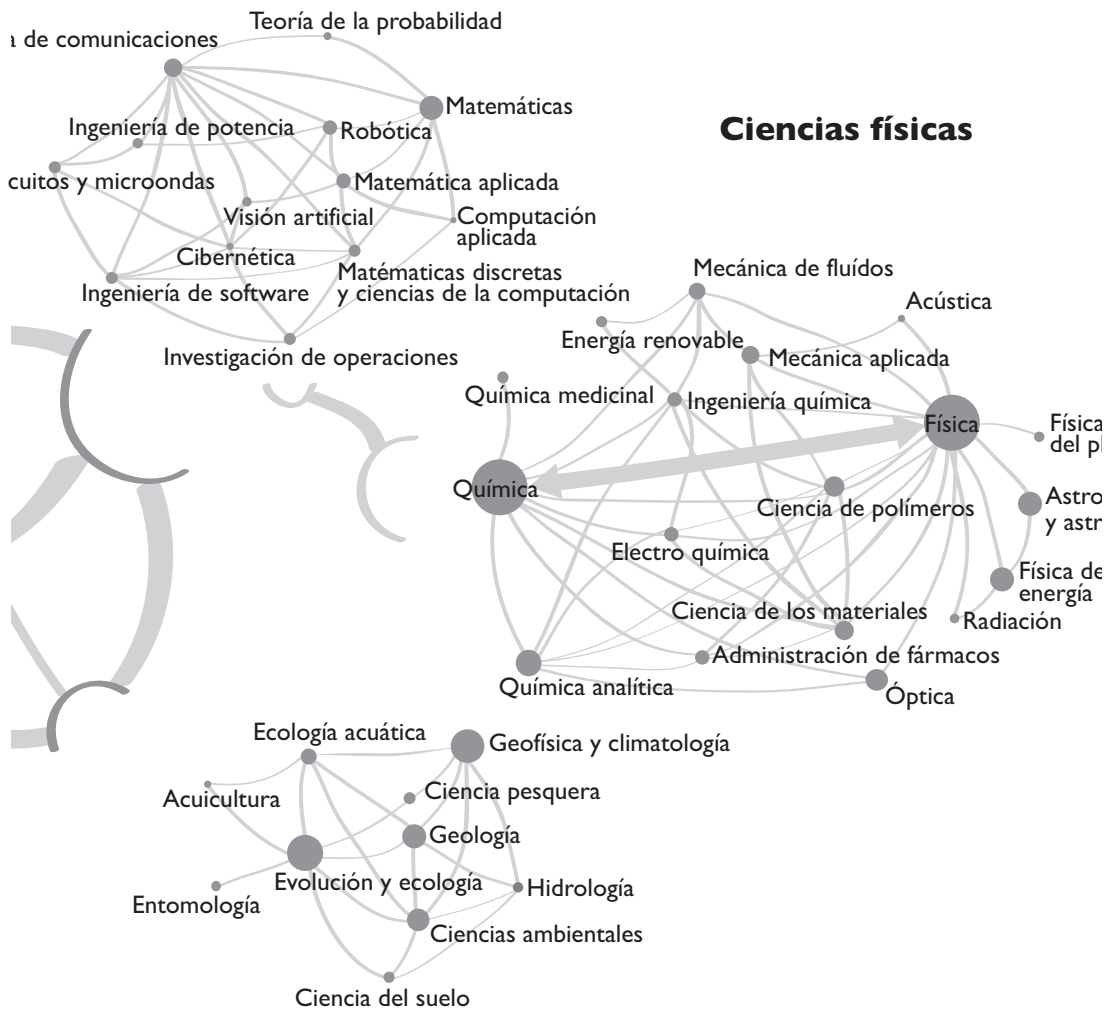
De otra parte, las redes son la expresión puntual de la vitalidad misma al interior de un campo o un problema determinados. Existen circuitos de conferencias alrededor del mundo, perfectamente organizados y periódicos, y en ellas los investigadores o las redes presentan y discuten los avances o los productos de la investigación. Igualmente, se organizan con frecuencia, pero de manera creciente, congresos, seminarios, coloquios, o conferencias que permiten no solamente cruzar avances de investigación, sino, lo más importante, establecer contacto personal con investigadores, académicos, científicos del área de interés propio o bien de otras áreas.

En fin, adicionalmente, las redes de conocimiento ponen de manifiesto un hecho fundamental. Se trata del reconocimiento explícito de que la ciencia y la investigación son procesos abiertos. Hoy en día ningún investigador serio dirá: “así son las cosas, y así son conclusiva y

Gráfico N° I. Mapa de conocimiento



Fuente: internet (pública)



definitivamente”. Por el contrario, emitirá afirmaciones del tipo: “Hasta donde sabemos...”, “Creemos que...”, “Hemos llegado a descubrir pero...”, y así sucesivamente. Para decirlo en una palabra, por primera vez en la historia de la humanidad, la ciencia ya no pontifica.

VIII. Big data, big science

Es un hecho reconocido que nuestra época, literalmente, nada en información. Internet es una realidad social estupenda que ha cambiado radicalmente la vida de los individuos, las comunidades, las sociedades y los pueblos. Desde luego que hay quienes pretenden controlar la información, pero como ha sido suficientemente puesto de manifiesto en varias ocasiones por parte de científicos y activistas de internet, es imposible que la red pueda llegar a ser controlada alguna vez. A lo sumo se lograrán, como de hecho ya es el caso, identificar patrones de comportamiento —gustos, visitas, compras, etcétera—, pero la información se ha convertido en un bien común para la humanidad, a lo que contribuye, manifiestamente, el papel altamente democrático que cumplen, por un lado los desarrolladores de software libre y de todo tipo de construcción de programas y producción/multiplicación de diverso tipo de información de acceso libre, así como el movimiento de hacktivistas en la red, con aportes invaluable, con todo y los riesgos asumidos⁴.

4 Entre los casos más conocidos se encuentran Wikileaks, Anonymous, toda al red de Open Source, e incluye a personajes co-

Pues bien, en correspondencia con los flujos de información creciente alrededor nuestro, muy recientemente ha nacido una nueva ciencia encargada justamente del estudio de grandes datos: se trata de la ciencia de datos, o también, ciencia de grandes datos: *Data science*, o también, *Big data science*, un concepto que aparece por primera vez en 1997-8.

Una manera afortunada de presentar a esta ciencia es por vía de contraste con la ciencia clásica. En ésta, era –y aún lo es– habitual hablar de variables, y a lo sumo de análisis multivariado y factores de múltiples variables. Sin embargo, la verdad es que el juego clásico de variables –y multivariantes– se queda bastante cojo a la hora de estudiar la complejidad del mundo actual, en cualquier escala o dimensión. Hoy en día, estrictamente hablando, una “variable” es un *dato*, y la verdad es que son numerosos los datos (“variables”) que marcan o determinan o caracterizan a un fenómeno de-

nocidos como R. Stallman, J. Assange, el teniente Ch. Manning, E. Snowden. Sin embargo, la verdad es que por debajo, o al lado, de estos grandes nombres, como se prefiera, existe una verdadera legión de equipos anónimos de hacktivistas conectados alrededor del mundo de múltiples maneras. Todos ellos son una muestra de los “herejes” de nuestros tiempos.

terminado. Literalmente, muchos fenómenos en el mundo y en la naturaleza implican millones de datos.

Pues bien, justamente por esta razón, la ciencia de datos trabaja con teorías y técnicas provenientes de diversas ciencias y disciplinas. Así, notablemente, trabaja y se alimenta desde las matemáticas, la estadística, las tecnologías de la información, las ciencias de la computación, la minería de datos, la visualización, el aprendizaje de máquinas, la inteligencia artificial, y no en última instancia también la vida artificial.

Algunas de las herramientas habituales con que trabaja, y que a la vez produce, son infografías, diversos gráficos, cartogramas, percepción visual, y otros. La complejidad del mundo actual se corresponde exactamente con la complejidad misma de la información. Y para ello, es preciso combinar fortalezas, conocimientos, aprendizajes diversos: método científico y matemáticas, estadística y computación avanzada, visualización y mentalidad de hacker, experticia en dominios de internet y datos e ingeniería de datos. Como puede deducirse, estamos ante temas que no son precisamente del

dominio público de todos los días. Y sin embargo, son las formas como se trabaja y se gestiona en términos de datos enormes. La complejidad de nuestra época es magnífica y a todas luces, apasionante.

El crecimiento de la información es verdaderamente formidable. Este punto se corresponde perfectamente con los aspectos mencionados al comienzo de este libro acerca del enorme número de científicos, ingenieros e investigadores existentes hoy día, y al hecho de que en el presente que vivimos sabemos mucho más que todo lo sabido durante los anteriores siglos de historia humana.

De manera específica, el manejo de datos es exactamente el manejo de los componentes de la realidad y del mundo. Y la sociedad debe poder prepararse para estas nuevas realidades y circunstancias. El gráfico N° 2 ilustra el crecimiento, más que exponencial, hiperbólico de la información.

En términos cotidianos, los seres humanos entienden y se mueven en gigabytes. Incluso, algunos, algo más especializados, pueden tra-

bajar con terabytes y hasta petabytes. Pero la punta del conocimiento en este campo incorpora escalas bastante mayores: los exabytes (10^{18}), los zettabytes (10^{21}), los yottabytes (10^{24}), y los brontobytes (10^{27}). Como se aprecia, la unidad de información del universo digital a la fecha se mide en yottabytes. Previsiblemente, el universo digital del futuro se medirá en brontobytes. A título especulativo pero marginal, es en este último nivel en donde entra la computación cuántica, un tema que merece por sí mismo otro estudio aparte pero que, desafortunadamente, por razones de espacio debemos dejar aquí de lado.

Gráfico N° 2.**Crecimiento y unidades de la información****Información de Internet de las cosas****Hemos ido más allá del sistema decimal**

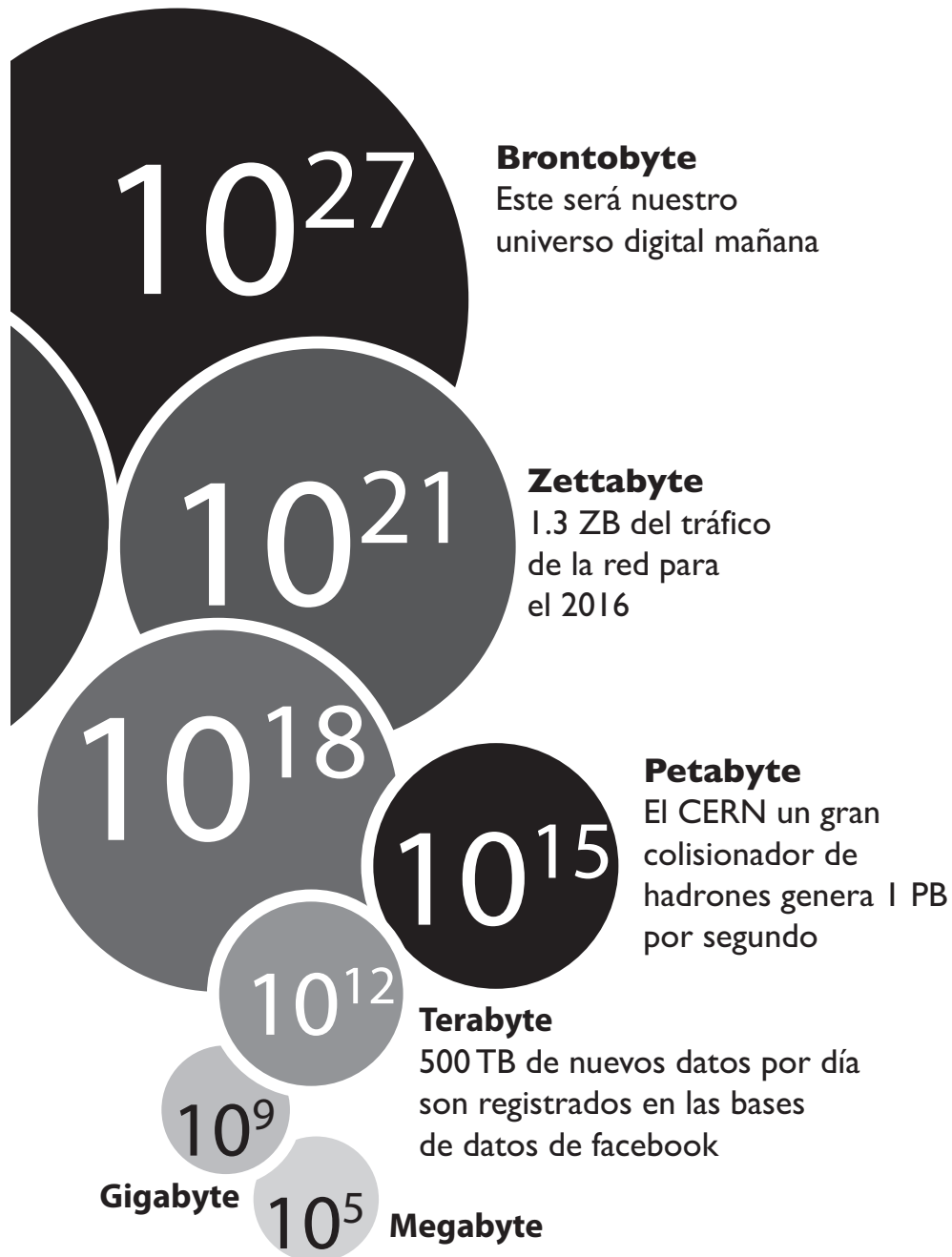
En un futuro cercano, Brontobyte será la medida para describir el tipo de datos de los sensores que se generará a partir del Internet de las cosas

Yottabyte

Este es nuestro universo digital hoy
=250 trillones de DVDs

**10²⁴****Exabyte**

1 EB es creado en internet cada día
= 250 Millones de DVDs es el valor
de la información. La propuesta de un kilómetro
cuadrado de telescopios generarán
un EB de datos por día



IX. Ciencia como síntesis: ejemplos menos conocidos

Quedan mencionadas algunas de las ciencias más novedosas en la historia reciente de la humanidad, así como los más notables ejemplos de programas de investigación científica. Sin embargo, la verdad es que el panorama de desarrollo del conocimiento y la ciencia en el sentido considerado en este breve libro es bastante más rico y diverso. Desafortunadamente no podemos ser exhaustivos con los ejemplos y los casos, debido a limitaciones de espacio.

Ello no obstante, hay tres casos importantes que bien vale la pena tener en cuenta, debido a la importancia esencial que tienen con respecto a la revolución en curso en la que nos encontramos y sus consecuencias para la (comprensión de la) existencia misma. Estos tres casos son, respectivamente la biología y la comprensión de los sistemas vivos, la lógica y su significado para las posibilidades del pensar, y los sistemas artificiales y computacionales y su incidencia en la vida científica y cotidiana de los seres humanos.

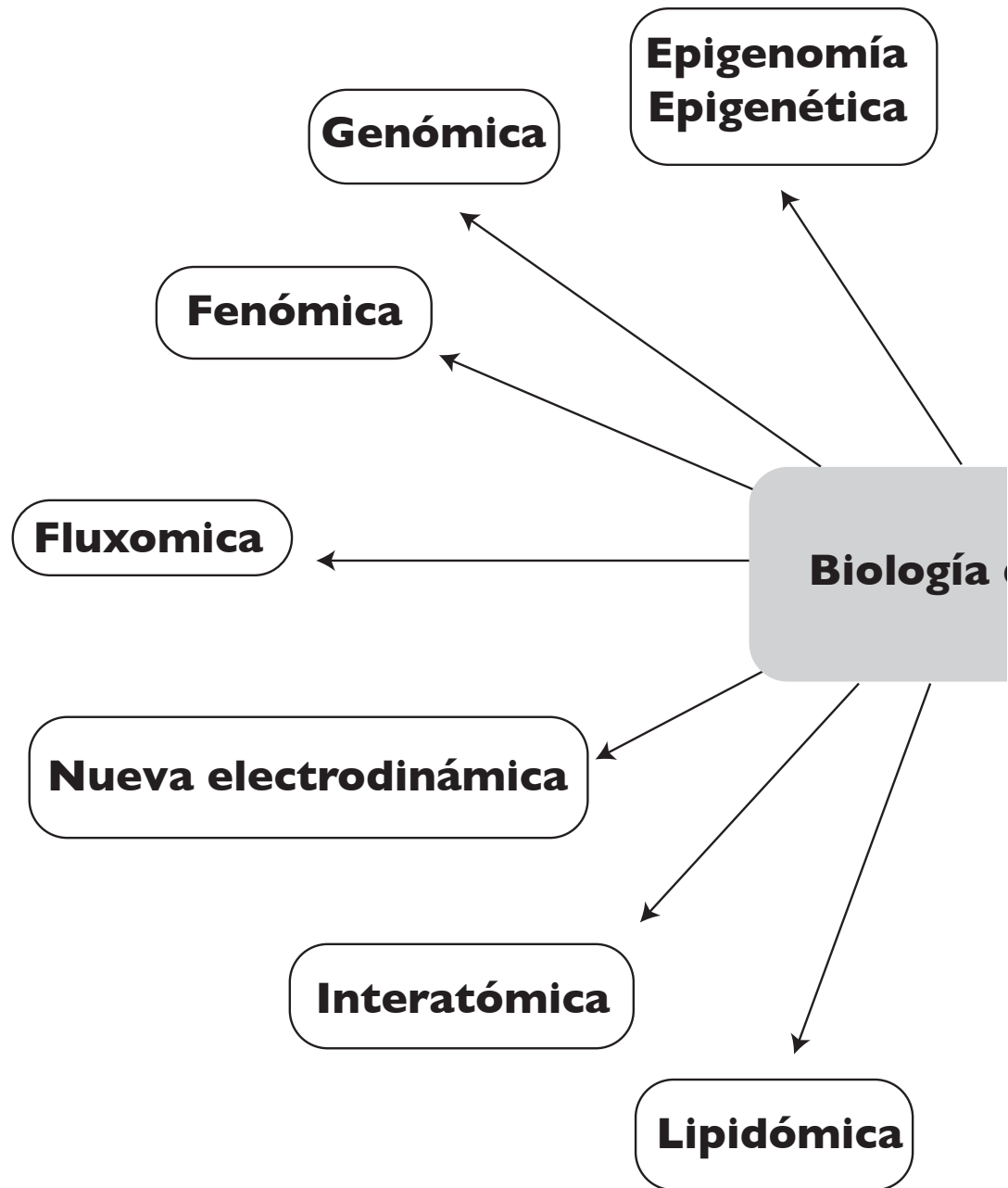
a) *La biología sintética*

En primer lugar, la biología ha sufrido una transformación radical. Para quienes están enterados, bien podríamos hacer referencia al enfoque evo-devo que integra la perspectiva del desarrollo biológico —esto es, la biología del organismo—, conjuntamente con la dimensión evolutiva —que es la de las especies, y las relaciones entre estas y su medioambiente—. Sin embargo, la comprensión de los sistemas vivos ha sufrido una transformación aún más amplia y radical. Se trata de la biología de sistemas, la cual no tiene absolutamente nada que ver con el pensamiento sistémico. Por el contrario, el término ha sido acuñado para designar el hecho de que el estudio de la vida en general, consiste en la incorporación de herramientas de modelamiento y simulación y en el trabajo con redes y mapas. En otras palabras, es ciencia como síntesis. El gráfico N° 3 ilustra un mapa general de la biología de sistemas.

De acuerdo con este gráfico, los componentes o articulaciones de la biología de sistemas son la metabolómica, la biómica, la genómica, la transcriptómica, y otras áreas, cada una de las

cuales, a su vez es un mapa de otras relaciones. Asimismo, cada uno de los “satélites”, digamos, de la biología de sistemas tiene diversos tipos de relaciones con otros, conformando así un entramado sugerente y complejo. Una visión más sucinta de la biología de sistemas aparece en el gráfico N° 4.

Como se aprecia a partir del gráfico 4, los capítulos o escalas de la biología de sistemas son (el orden no importa) la biología sintética, la biología de sistemas, la biología computacional, la computación biológica y la biología de redes. Es exactamente en estas escalas que se estudian y se entrecruzan los “satélites” del gráfico N° 3. Como quiera que sea, la idea de base es que la comprensión de los sistemas vivos ha avanzado hoy en día a la integración de nuevas ciencias y disciplinas, concordes con las nuevas herramientas y enfoques desarrollados, todos los cuales han llegado a brindarnos luces nuevas y refrescantes acerca de problemas esenciales tales como: el origen de la vida, las lógicas de los sistemas vivientes, en fin, la cadena y la trama de la vida como la conocemos, y tal y como podría ser posible.

Gráfico N° 3.**El panorama de la biología de sistemas**

Fuente: Elaboración propia

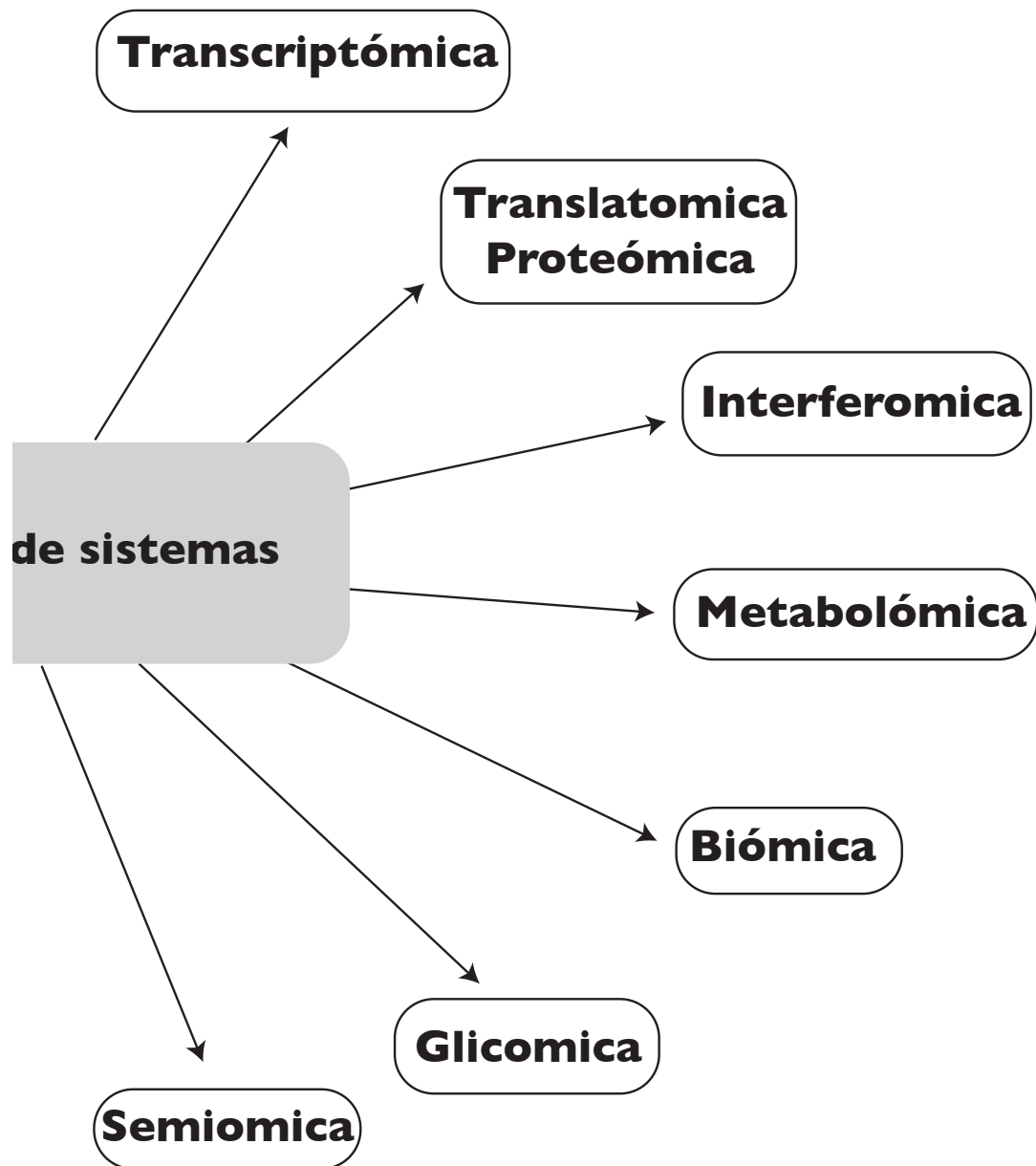
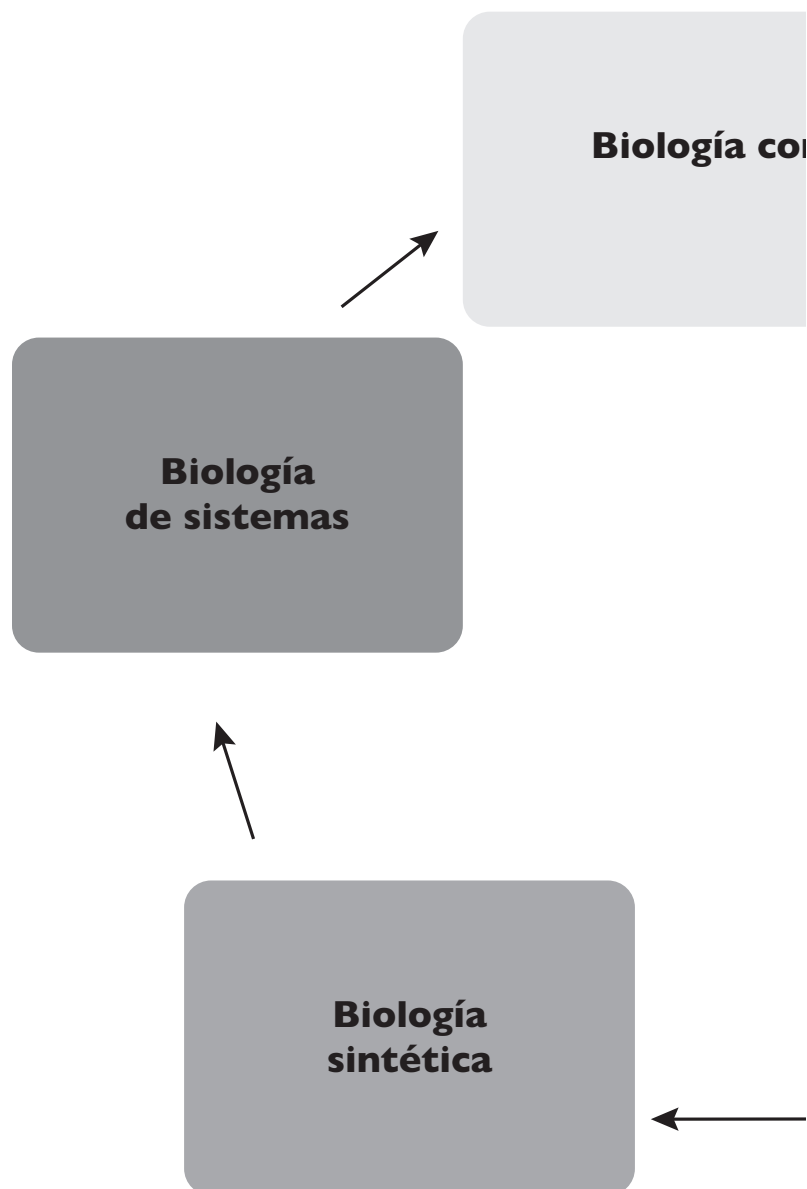
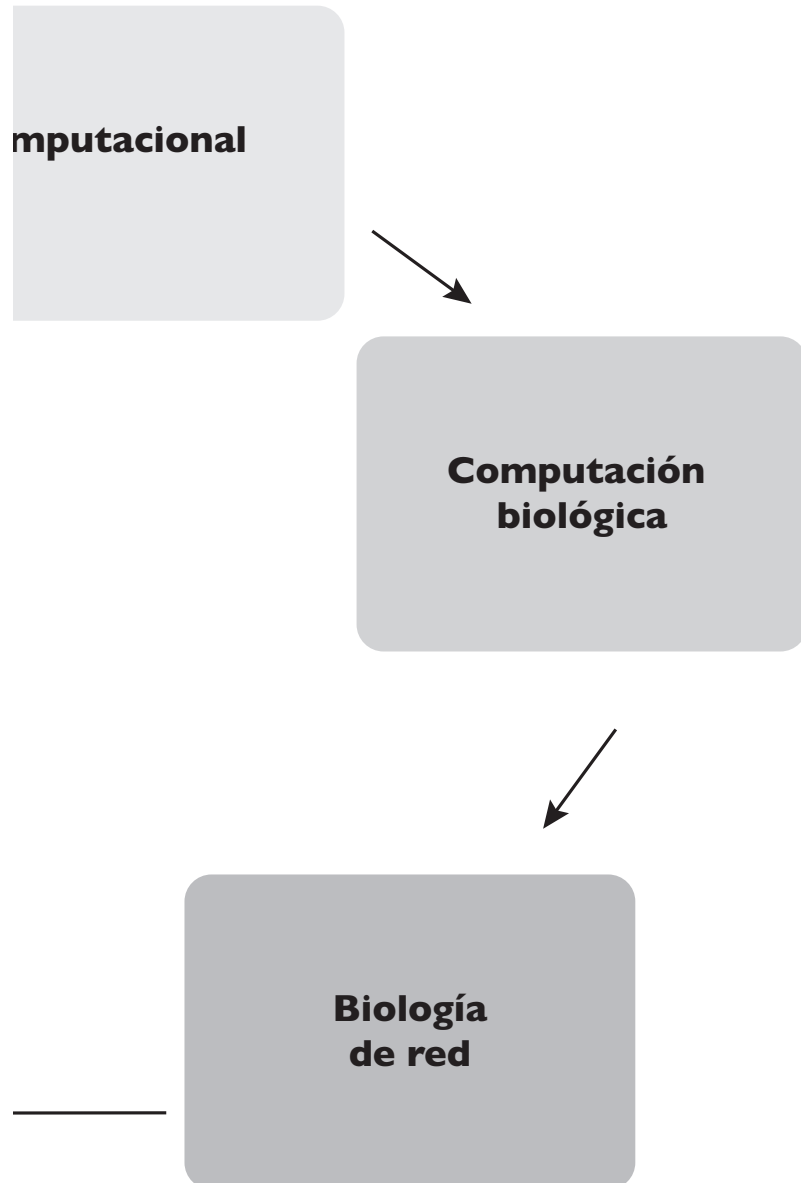


Gráfico N° 4.
Los componentes de la biología de sistemas



Fuente: elaboración propia



b) *Las lógicas no-clásicas*

En segundo lugar, cabe hacer referencia a la lógica. Esta ha sido considerada tradicionalmente como esencial para la capacidad de pensamiento y razonamiento. Históricamente, vinculada a las matemáticas, la lógica ha oscilado entre el cálculo y el razonamiento; esto es, entre el seguimiento de reglas rigurosas para extraer conclusiones, y un pensar imaginativo más libre centrado en torno a la resolución de problemas y la comprensión de las situaciones.

Pues bien, también la lógica ha sufrido una revolución sin parangones en la historia de la humanidad. Primero, se independizó de la filosofía —dejando así de ser un “organon” para el conocimiento—. Así, literalmente, fue posible una lógica sin metafísica, multiplicándose de manera magnífica, mostrando así que la lógica formal clásica era, en realidad, algo artificioso. La revolución en lógica ha consistido en un pluralismo cuyo modo genérico es el de llamarse, todas, conjuntamente, como lógicas no-clásicas. Hasta la fecha, la discusión central al respecto es si éstas son complementarias o alternativas a la lógica formal clásica. Hay sólidos argumen-

tos a favor de ambos bandos. Dejamos aquí de lado nuestra propia posición.

En cualquier caso, podemos comprender a las lógicas no-clásicas de varias maneras, algunas de ellas un tanto técnicas. Así, por ejemplo, se trata del desarrollo y existencia de sistemas multideductivos. Esto quiere decir, que ha dejado de existir la idea de un único sistema deductivo, con todo y las consecuencias y traducciones que ello implica. Asimismo, han emergido sistemas alternativos de notación que son al mismo tiempo, según el caso, más rigurosos y más flexibles que el sistema de notación de la lógica formal clásica. De manera muy radical, las lógicas no-clásicas comportan la idea de que ya no existe una única verdad, sino, por el contrario, múltiples verdades. Sin embargo, la idea de multiplicidad o diversidad de (sistemas de) verdad en absoluto debe ser asimilada a un relativismo. Esto quiere decir: no es cierto, en manera alguna, que cualquier verdad dé lo mismo.

Un rasgo importante que quisiera resaltar aquí es el reconocimiento explícito de que la semántica de las lógicas no-clásica no es ya el mundo

real –“lo que es”, “lo que acontece”– o, incluso, el mundo en general (*überhaupt*) sino, por el contrario, y mucho mejor, una semántica de mundos posibles. Esto quiere decir que el tema de base en las lógicas no-clásicas es el estudio, comprensión y exploración de posibilidades, literalmente: de tantas posibilidades como quepa imaginar. Este es un rasgo a todas luces crucial en la historia del pensamiento humano, pues tradicionalmente la preocupación principal de los científicos, filósofos, ingenieros y lógicos, fue por la realidad: el ser, la naturaleza, lo que es, lo que hay, y así sucesivamente. La dimensión de lo posible –en toda la acepción de la palabra– fue relegada a las artes, y en el ámbito del pensamiento, a la utopía. Y las valoraciones de la ciencia sobre la utopía no siempre fueron elogiosos; asimismo, las relaciones de las ciencias y las artes no siempre fueron las más cordiales.

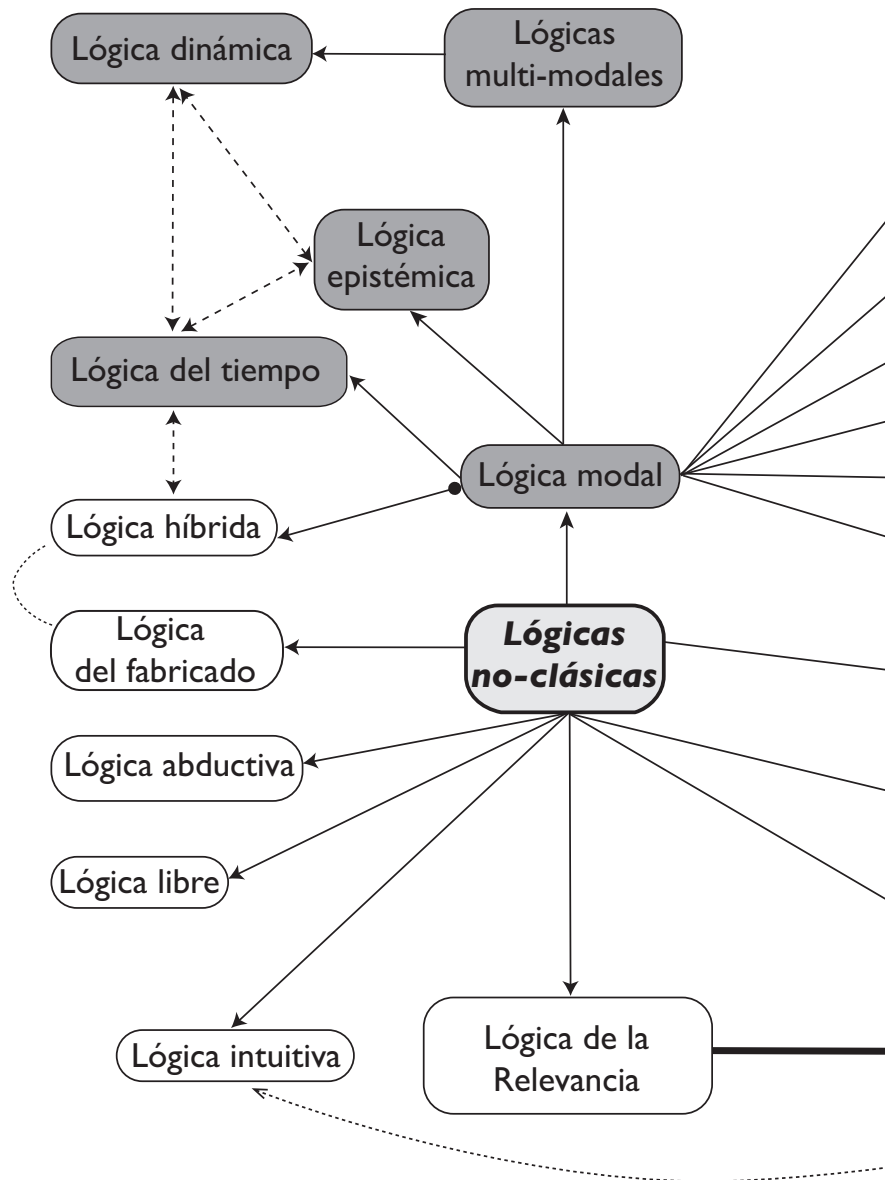
Con las lógicas no-clásicas, por el contrario, y en particular en el marco del estudio de los sistemas de complejidad creciente, el trabajo consiste, si cabe decirlo así, en introducirle al mundo y a la realidad lo que ellos no tienen: posibilidades. En este marco, lo real es tan sólo un modo de un conjunto inmensamente más

amplio que es el de la dimensión de lo posible. Jamás la historia del conocimiento y la ciencia había conocido un planteamiento semejante. Lo maravilloso en este caso es que procede de la lógica y ofrece un amplio, profundo y sugestivo panorama para trabajar en el sentido mencionado. El gráfico N° 5 ofrece una visión general de las lógicas no-clásicas.

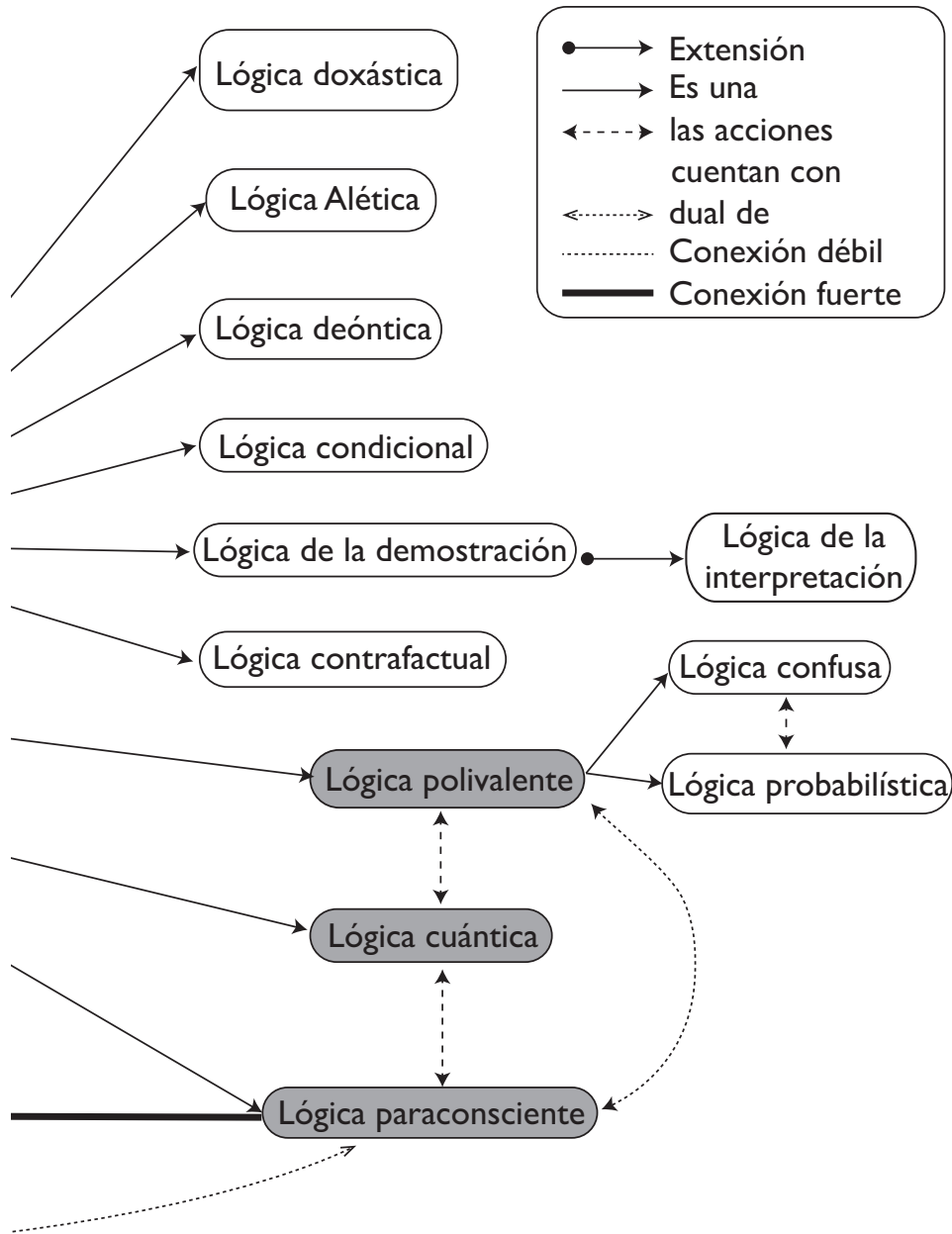
Como se aprecia, existen numerosos y diversos tipos de relaciones al interior de las lógicas no-clásicas. Relaciones, digamos, directas e indirectas, débiles y fuertes, por ejemplo. El gráfico puede resultar sorprendente para quienes tienen una idea clásica o bien más o menos básica de (in)formación en lógica. Esto significa que hay, literalmente, en el marco riguroso de la ciencia de la lógica, dicho en general, numerosas formas de pensar manifiestamente más amplio y sólido que lo que jamás se pensó en la historia de la humanidad.

Es de anotar que las lógicas mencionadas o incluidas en el gráfico, manifiestamente representan, la gran mayoría de las lógicas no-clásicas, pero el mismo no es exhaustivo, dado que hay otras lógicas que deliberadamente no

Gráfico N° 5.
Panorama de las lógicas no-clásicas



Elaboración propia



han sido incluidas. En cualquier caso, las más importantes se encuentran y brindan un mapa estupendo de las formas en que, también en lógica, el pensamiento y el conocimiento actual de punta están siendo revolucionados.

Las lógicas que aparecen en azul (en el original; en gris en esta edición), son, de lejos, las más relevantes, robustas y con el mayor impacto en numerosos campos del conocimiento. Cuando se trabaja en investigación de punta —es decir, cuando, por decir lo menos, se está actualizado en el estado del arte de la investigación en ciencia en general—, es prácticamente imposible no encontrar, por lo menos, una de las lógicas señaladas en gris. Ellas constituyen, si cabe la expresión, la avanzada del trabajo en lógica y las demás, o bien están algo más rezagadas o bien son demasiado jóvenes para alcanzar, por lo pronto, un estatuto consolidado.

De manera significativa, cabe mencionar que, *grosso modo*, el panorama de las lógicas no-clásicas comienza a nacer hacia mediados del siglo XX y a la fecha continua multiplicándose, fortaleciéndose y teniendo un amplio impacto en numerosos campos de la ciencia, tanto como de

la vida misma. Supuesto, desde luego, que nos situamos en las fronteras mismas de la ciencia y el conocimiento –que no es sino una expresión del hecho mismo de que nos encontramos en las fronteras mismas de la existencia–.

En cualquier caso, el hecho es que asistimos a una época de una magnífica vitalidad del conocimiento –la exploración, la investigación–. Mientras en los dominios más básicos, digamos, pareciera existir un cierto pesimismo o desazón acerca del estado del mundo, en ciencia en general, la vitalidad es impresionante y galopante⁵.

5 Me refiero a expresiones ampliamente circulantes en los medios masivos de comunicación acerca de fenómenos de violencia, impunidad, corrupción, inequidad, guerras y despojos de todo tipo, narcotráfico y mafias en todos los niveles del Estado y de la sociedad, calentamiento global, crisis financiera, sobrepoblación, y muchos otros aspectos y problemas próximos y concomitantes. Estas y otras características podrían dar la impresión, como es efectivamente el caso, de un cierto milenarismo en la cultura en general. Pues bien, contra estas apariencias, quiero destacar aquí, abiertamente, que asistimos a una época de grandiosa vitalidad en el conocimiento y la investigación. Lo que constituye, el más claro signo de optimismo hacia el presente inmediato y el futuro previsible de la especie humana y del planeta. Esta observación merece por sí misma un estudio que, aquí, por razones de espacio, debe quedar relegado para otra ocasión.

c) *Los sistemas computacionales*

Finalmente, el tercer ejemplo de los muchos que cabría mencionar aquí, es el desarrollo de los sistemas computacionales en general.

El computador es la más importante de todas las herramientas que la cultura y la actual civilización ha desarrollado, y tiene tras de sí una sólida y larga historia objeto de numerosos trabajos. De manera puntual, se trata del reconocimiento de que el computador –y con él, las ciencias de la computación–, constituyen un fenómeno *cultural*, antes que un artefacto simplemente ingenieril o técnico, a saber: se trata de aquella herramienta conceptual (puesto que es una herramienta que posee memoria, aprende, tiene sintaxis y semántica, por ejemplo) que, literalmente, ha llegado a implicar y a determinar aspectos tan fundamentales como: calidad de vida, dignidad humana, equidad, fortalecimiento y transformación de la democracia, en fin, reencuentro con la naturaleza, reencantamiento del mundo, el universo y la realidad. Como se ha observado en algunas ocasiones, el punto arquimédico de nuestra cultura y civilización es el computador, hasta el punto de

que si llega a ser suprimido o eliminado, toda la cultura y civilización contemporáneas se derrumbarían como un castillo de naipes.

La importancia del computador y la computación ha permeado, literalmente, todas las esferas, escalas y dimensiones de la realidad humana y de la vida en el planeta. Y las mejores esperanzas hacia el futuro atraviesan medularmente por el conocimiento, el trabajo, la apropiación y el desarrollo de la computación y del computador. Dominios como la salud y la educación, la gestión y los sistemas de información, el manejo del medioambiente y la comprensión de nuestro lugar en un rincón de la vía láctea, en un extremo del universo, los procesos de intercambio y transporte en toda la extensión de la palabra, para mencionar tan sólo los casos más inmediatos y relevantes, están absolutamente permeados, hoy por hoy, por el computador y la computación.

El panorama al respecto es verdaderamente trepidante, vertiginoso. La computación al mismo tiempo que tiene un desarrollo propio, nutre y atraviesa a todos los demás campos del conocimiento, sin excepción. Las ciencias y las artes, las disciplinas y las prácticas, todas es-

tán impregnadas hasta la médula de la importancia *cultural*, esto quiere decir, *cotidiana* del computador y la computación. No sin ambages, el razonamiento y el cálculo, las emociones y los comportamientos humanos en general no son posibles hoy por hoy, para bien o para mal, sin esta herramienta conceptual.

El gráfico N° 6 brinda una visión del estado del trabajo en ciencias de la computación.

La exposición más detallada del gráfico N° 6 requeriría un espacio que no está aquí inmediatamente disponible. Sin embargo, la idea general que sí debe quedar en claro son, justamente, los mapas y redes, los entrecruzamientos y las influencias recíprocas entre numerosos campos y dominios. Una idea que se corresponde perfectamente con el tema de base de estudio en este libro.

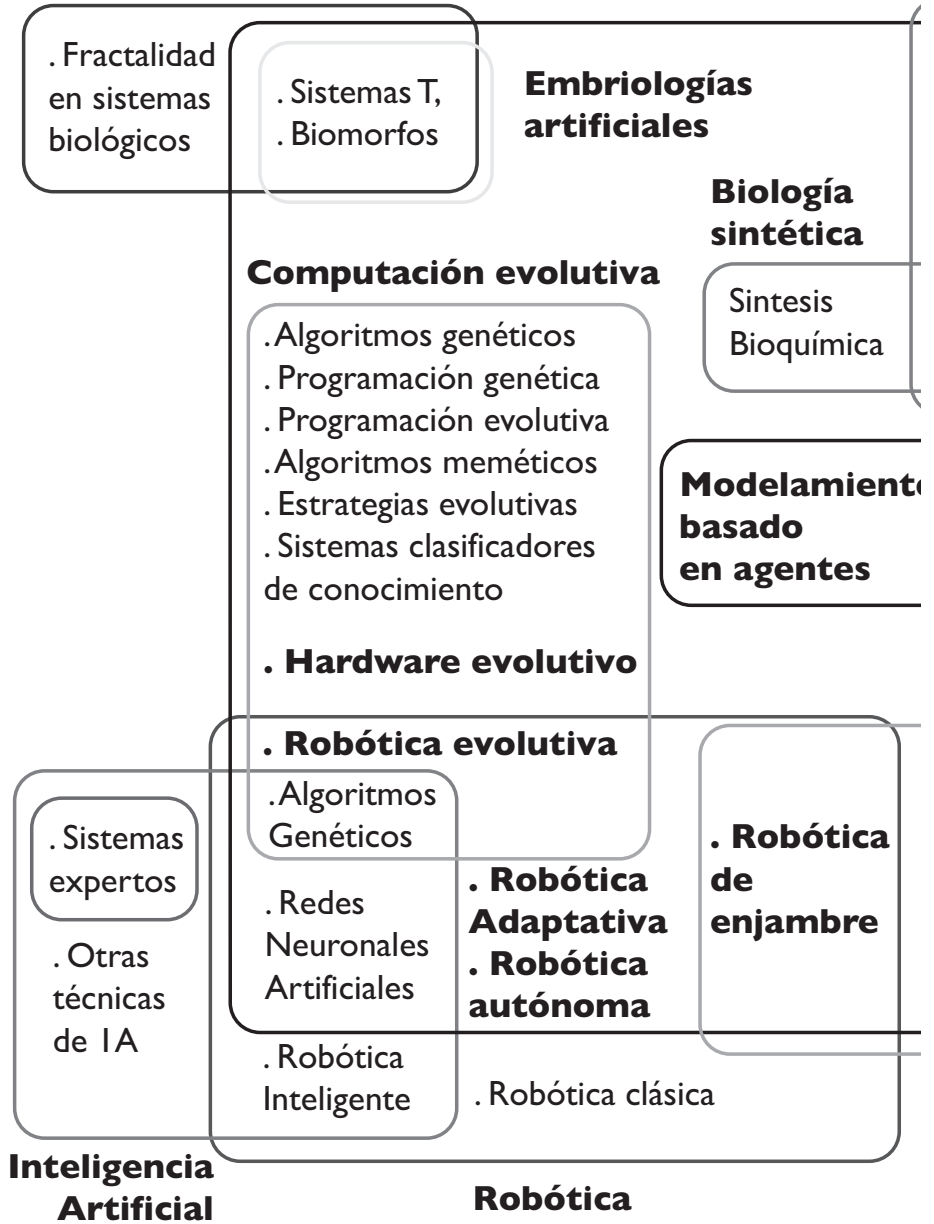
Es evidente que para muchas personas varios de estos campos, temas y conceptos pueden parecer sorprendentes por novedosos. Como quiera que sea, la idea de base aquí es que nuevos lenguajes y métodos, nuevas herramientas y aproximaciones, nuevas disciplinas y ciencias

están emergiendo, entre las cuales cabe destacar: modelamiento, simulación, sistemas artificiales, vida artificial, robótica de enjambre, sistemas bioinspirados, e, incluso hipercomputación biológica. En cualquier caso, de lo que se trata aquí es de tener un aire general acerca de las tendencias, corrientes, dinámicas y procesos de investigación con y a partir del computador y de la computación.

Ahora bien, este panorama no sucede alrededor del mundo e, incluso, al interior de algunos países, sin impunidad ni costos. Por el contrario, como por lo demás ha acontecido en otras ocasiones con nuevas ciencias y herramientas en la historia de la especie humana, la emergencia y la existencia del computador y de la computación ha acarreado auténticos procesos sociales y políticos en toda la línea de la palabra. El concepto en el que se sintetizan el conjunto de problemas sociales, culturales y políticos concomitantes con la computación se conoce como la división digital. En el año 2014, la situación alrededor del mundo acerca de esta división correspondía al gráfico N° 7.

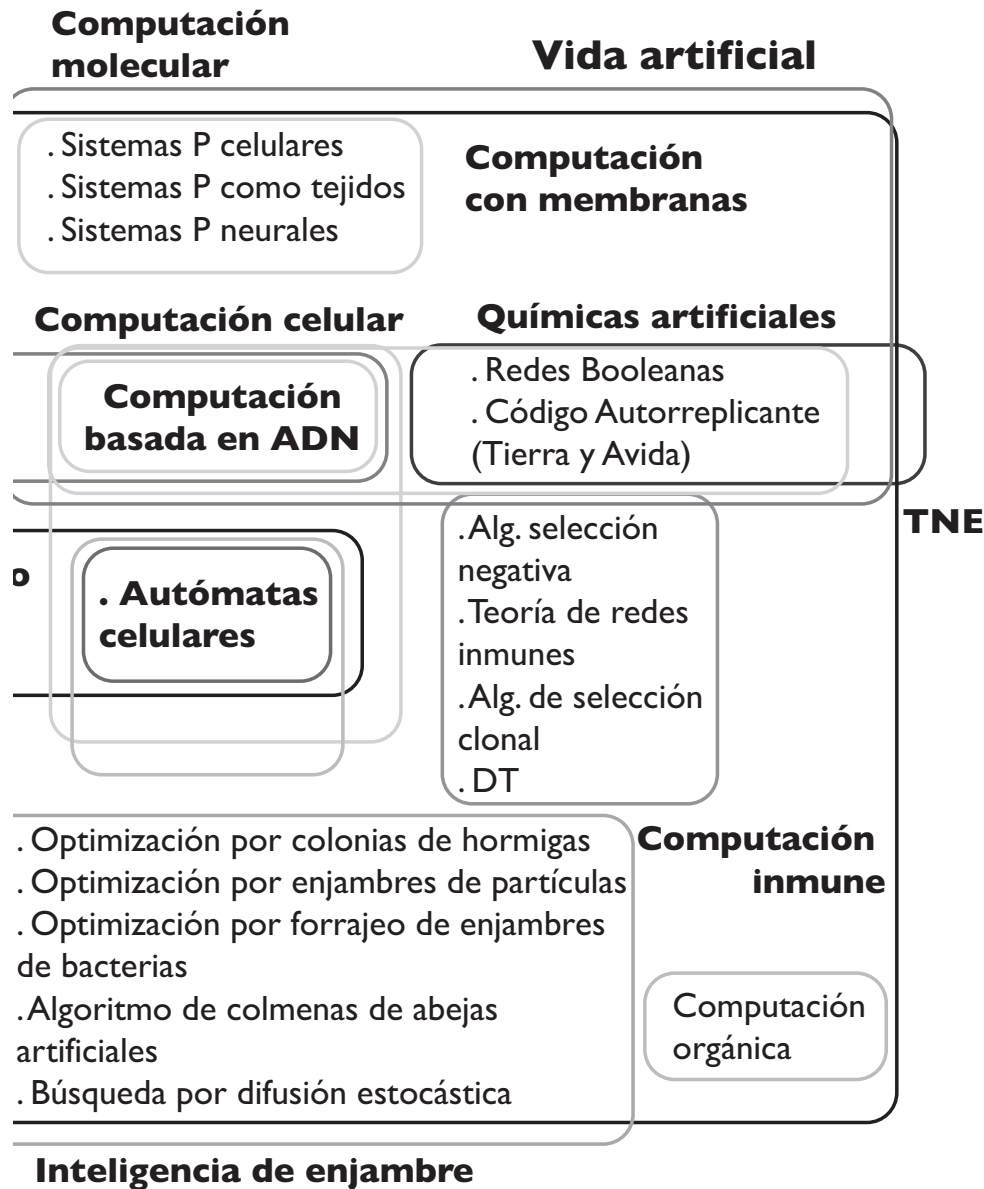
Gráfico N° 6. Cuadro general de algunos desarrollos de

Teoría de fractales



Fuente: Maldonado y Gómez (2011)

de punta (basados) en computación



TNE

*** Ciencia del caos**

TNE: Termodinámica del no equilibrio

Gráfico N° 7. La brecha digital mundial

Computadores por cada 100 personas

0 - 4,54

25,36 - 49,74

4,54 - 12,55

49,74 - 89

12,55 - 25,36

No hay datos

Fuente:

Desarrc

Cartografía: Derek Boogaard



En términos gruesos, el mapa toma como base la existencia –y manejo– de computadores por cada 100 habitantes. Como se observa con facilidad, Australia, los países más desarrollados de Europa –los del norte–, Japón, Estados Unidos y Canadá son los países donde la existencia del computador es, manifiestamente, una realidad cultural, en toda la extensión de la palabra⁶.

Como se observa en este gráfico en la actualidad, Colombia se encuentra en el rango medio bajo y, por consiguiente, en una situación de desventaja que comporta, al interior del país, serios problemas de tipo social, cultural, de educación, económicos y políticos.

Históricamente, toda nueva tecnología siempre ha implicado fuertes divisiones sociales y políticas, así: entre quienes tienen acceso y se benefician mejor de las nuevas tecnologías, y quienes no tienen tantas facilidades, por diver-

6 No es inhabitual para nada, que en estos países, una franja muy significativa de la población combine el computador -que en realidad, hoy por hoy, hace referencia a portátiles, antes que los computadores de escritorio-, teléfonos inteligentes (*smartphones*) y tabletas. El trabajo y el refuerzo mutuo entre los tres es una expresión cultural de un cierto desarrollo al mismo tiempo humano, social y económico.

sa razones, con respecto a la misma. La historia de la flecha y el arco, la rueda y la aguja, la imprenta y el libro, el caballo y los autos, la electricidad y las máquinas de vapor, en fin, la historia de toda la tecnología hasta el día de hoy se ha caracterizado por tensiones y rupturas de tipo social, cultural y político.

Digámoslo de manera puntual: la computación ha implicado, por primera vez en la historia de la humanidad, en especial gracias al desarrollo y emergencia de internet, la posibilidad de que el información no sea ya únicamente de alguien o unos pocos; que el conocimiento sea un bien común, y que la educación pueda encontrar en el autoaprendizaje el núcleo de todo su desarrollo y sentido. Concomitantemente, nuevos procesos sociales, culturales y políticos emergen. Este es, dicho de forma general, el estado actual de las consecuencias de una tecnología y ciencia tan importante como la computación.

Más y mejor información es posible y necesaria, más y mejor ciencia y tecnología son posibles y viables; en fin, más y mejor investigación consolida nuevas procesos, estructuras y dinámicas de orden literalmente cultural y civilizado-

rio. El Estado puede contribuir a estas nuevas dinámicas; o bien, si no lo hace, entender las consecuencias que pueden derivarse de las mismas. En cualquier caso, por primera vez, la información, la educación, la investigación y el conocimiento son fenómenos que ya no se pueden controlar, y que, por el contrario, implican más y mejores grados de libertad.

Para decirlo de manera puntual: la superación de la división digital implican una educación digital –esto es, educación en las nuevas tecnologías–, el libre y amplio acceso a internet y a los computadores, y comprender y abrazar la sociedad digital.

El primer aspecto significa un cambio en la información y la educación y la incorporación, en toda la línea, de procesos digitales. El segundo aspecto se expresa en el reconocimiento abierto de que, como ya sucede por lo demás en los países escandinavos, el derecho y el uso de internet ha sido reconocido como un derecho fundamental. Tecnológicamente ello se expresa como el tránsito del *wi-fi* –incluso del que es libre y gratuito–, a sistemas de *wi-max*, en el que el gobierno nacional y municipal, y el estado mis-

mo ofrecen y garantizan libre acceso gratuito de internet. Finalmente, de manera puntual, el tercer aspecto hace referencia al resorte social, en toda la extensión de la palabra, en el que el acceso a, y el manejo de, internet, así como la comprensión y manejo de procesos básicos de computación, un acontecimiento integrado y amable en la vida normal de los individuos y las comunidades.

X. También en las ciencias sociales, humanas y las humanidades⁷

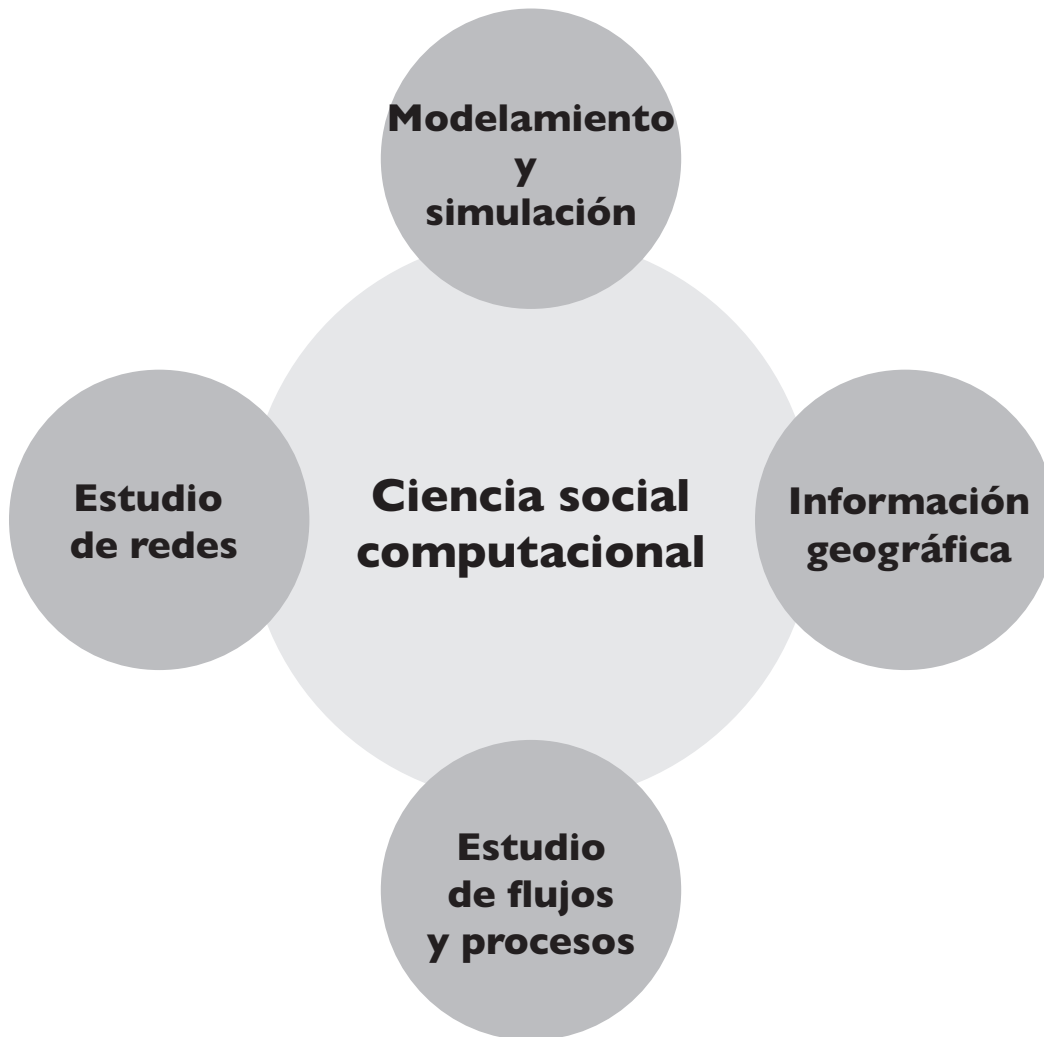
Las ciencias sociales y humanas, conjuntamente con las humanidades, participan activamente del fresco pintado aquí, y constituyen uno de los actores principales en los desarrollos del pensamiento de punta alrededor del mundo.

El gráfico N° 8 presenta, de manera general, el panorama de las ciencias sociales computacionales. Por derivación, este panorama es válido—excepto por algunas cuestiones técnicas puntuales—, para las ciencias sociales generativas y las humanidades digitales.

Tres expresiones puntuales de esta participación pueden apreciarse en las ciencias sociales generativas (*generative social science*), en las ciencias sociales computacionales, y en la humanidades digitales (*digital humanities*). No es difícil. Se trata, en los tres casos, del trabajo

7 Esta sección es el resumen del libro “Complejidad de las ciencias sociales y de las otras ciencias y disciplinas”, en preparación editorial por ediciones Desde Abajo.

Gráfico N° 8. Una visión de las ciencias sociales computacionales



Elaboración: propia

frontal y cruzado con herramientas de modelamiento y simulación, en toda la extensión de la palabra.

Al respecto, cabe señalar lo siguiente. Ya no es cierto, en absoluto, hoy en día, que existan solamente dos clases de ciencias: las ciencias deductivas y las empíricas. Y en el mismo sentido, deja de ser cierto, igualmente, que sólo existan dos o tres métodos científicos, así: métodos cuantitativos, métodos cualitativos, y a lo sumo, métodos mixtos o híbridos. Estas comprensiones, en rigor, corresponden, en el mejor de los casos, a la ciencia de los años 70 y 80 del siglo pasado.

Propiamente hablando, hoy existen tres clases de ciencia, así: las deductivas y empíricas –y las traducciones y matices que se quiera hacer al respecto–, y ciencia como modelamiento y simulación. De igual manera, hoy existen, en el pensamiento de punta, tres o cuatro métodos científicos, dicho genéricamente: los cuantitativos, los cualitativos, los métodos mixtos o híbridos, y el modelamiento y la simulación.

La expresión más amplia y común del modelamiento y la simulación en ciencias sociales

y humanas es el trabajo con sistemas multiagentes, que no es sino el reconocimiento de algunos programas —o lenguajes de programación—, cuyo mérito principal consiste en permitir hacer visibles procesos y dinámicas que no son visualizables con las herramientas de la ciencia normal en general. Al fin y al cabo, la ciencia en general consiste en hacer visible lo invisible, y así, explicarlo y comprenderlo.

En otras palabras, en ciencias sociales y humanas y en las humanidades, la incorporación de la computación, el trabajo con lógicas no-clásicas, e incluso en trabajo con matemáticas de sistemas discretos, son fenómenos poco habituales. Tradicionalmente han campeado recelos entre las ciencias y las disciplinas, tradicionalmente el conocimiento existió en términos de feudos y parcelas propias y cerradas. En contraste, las revoluciones en curso en el conocimiento habrán de implicar por parte de los científicos, académicos e investigadores la capacidad para cambiar ellos mismos, y no ya simplemente aprender nuevos lenguajes, nuevos métodos, nuevas comprensiones y explicaciones.

XI. Revolución científica, revolución social y cultural

La ciencia no cambia de manera impune. La ciencia se encarna, literalmente, en estructuras de educación, de información, formas de organización sociales, sistemas de gestión y también en mecanismos de poder diversos, en fin, en modos de organización del propio conocimiento. La ciencia existe en y a través de organizaciones, instituciones y seres humanos particulares. El avance del conocimiento —y en ocasiones, el retroceso— se corresponden plano por plano, con las estructuras y procesos mismos al interior de la sociedad. Por ejemplo, en las políticas públicas, o en el apoyo del sector privado, o en los ritmos de la vida, y demás. Las verdades científicas existen sin los seres humanos, pero no son posibles en absoluto, sin éstos. Por consiguiente, no son posibles al margen de fenómenos “extracientíficos” como el libre mercado —o no—, el Estado y el sector privado —o no, y sus modos—, los temas y conflictos sociales, económicos y políticos en toda la extensión de la palabra. Estos aspectos fueron los que, en su momento, un investigador de la ciencia com-

prendió como “la historia interna de la ciencia” y la “historia externa de la ciencia” (I. Láka-tos). Y ambas conforman dos caras de una sola y misma moneda.

En las revoluciones científicas, sostiene el padre del concepto —Th. Kuhn— acontece exactamente lo mismo que en las revoluciones políticas. Los ejemplos a los que alude Kuhn son la revolución de los Tories (Inglaterra, 1688), la revolución de 1789 (Francia) y la revolución de Octubre de 1917 (en la Rusia zarista). Se colige que si una revolución científica no cambia a los propios investigadores, aquella es inocua, y solo una apariencia. Más radicalmente, si una revolución científica no cambia a una sociedad y una época, y no solamente a la cosmovisión general existente hasta entonces, es apenas un remedo.

Sin alarmismos, hacer ciencia ha sido siempre una labor riesgosa, y ha implicado siempre, por parte de quienes mueven, en cada caso, las fronteras del conocimiento, una inmensa capacidad de apuesta. Recientemente, Galileo y Turing, Darwin y Mendeleiev constituyen ejemplos conspicuos de esto, aunque la verdad es que la lista es bastante extensa. Lo cierto es

que aunque el sector privado, el sector público y la academia en general hablen de innovación —y desplieguen mil estrategias, cursos, programas de actualización y demás—, le tienen miedo a la innovación.

Quienes han hecho innovaciones en la historia de la ciencia y del conocimiento han sido quienes, verdaderamente han jalonado o introducido verdaderos saltos e impulsos civilizatorios en la humanidad, en toda la línea de la palabra. Pareciera que la humanidad hubiera progresado, a pesar de sí misma: esto es, muy notablemente, a pesar de las organizaciones e instituciones de todo tipo en que descansa y se consolida.

Desde luego que innovar —hablo aquí de la innovación radical, y no simple y llanamente de innovación incremental—, jamás ha sido fácil. Parece haber un *pathos* en quienes se dan a la tarea denodada, auténtica, sincera y radical de innovar. En ciencia como en tecnología, en fin, en ciencia como en la vida misma. En verdad, las innovaciones, en lo más profundo de su significado —innovación científica o tecnológica, social o política, religiosa o militar, por ejemplo—, constituyen la excepción y o la regla en la

historia de las culturas y las sociedades. Y sin embargo existimos y avanzamos.

Pues bien, son dos las formas como el conocimiento y la ciencia avanzan efectivamente. De un lado, como revolución, ruptura quiebre, discontinuidad. Los estudios al respecto son ya clásicos y amplios. Y de otra parte, como síntesis. Sólo que la síntesis no es un agregado de cosas; es el resultado emergente, literalmente no-lineal, con respecto al input inicial. En fin, siempre ha existido un (alto) costo de parte de quienes han logrado innovaciones fundamentales en la ciencia en cada caso. Los ejemplos son profusos, y sin embargo, ninguno de ellos tiene algo así como un aire trágico o dramático. Al fin y al cabo, la marca de calidad, en la naturaleza como en la vida no es la permanencia, sino el cambio. Una idea que justamente encuentra su pivote más sólido en la teoría de la evolución, un capítulo apasionante del conocimiento, que comienza en 1859 con la publicación por parte de Darwin, de *El origen de la especie por medio de la selección natural*. Una teoría que no se agota ni se reduce a Darwin, sino que continua enriqueciéndose y desarrollándose continuamente, hasta la fecha.

En fin, es algo así como decir: dada la importancia de la ciencia y la tecnología en nuestros días, las revoluciones científicas lo son en la vida misma. Una idea de alto calibre y de gran envergadura, a la que, permanentemente, los individuos, las comunidades, la sociedad en general debe poder acercarse, conocerla y hacerla propia.

A manera de conclusión

Cada época y sociedad produce la ciencia que puede, y la ciencia que necesita. Pues bien, nuestro mundo, alta y crecientemente complejo, está produciendo nuevas ciencias y disciplinas, y ello en un modo único y novedoso, por primera vez en la historia de la humanidad: ciencia como síntesis. Lo cual implica pensar como síntesis, y vivir en correspondencia.

Los lenguajes del mundo actual se vehiculan a través de: datos, información, redes, mapas, complejidad, y otros. Siempre en la historia de la humanidad, las revoluciones se anuncian por medio de un nuevo lenguaje, pero su marcha atraviesa al lenguaje mismo hasta el mundo como tal. Posteriormente ese lenguaje se hace vida y mundo. Pues bien, esto es exactamente lo que está sucediendo alrededor nuestro. Este nuevo lenguaje implica, consiguientemente, nuevas relaciones, nuevas formas de vida, nuevas formas de acción y organización. Los individuos y las sociedades tienen en sus manos estas nuevas herramientas. Depende de ellos, de cada quien, qué hacer con ellas.

Una tarea importante en el desarrollo humano y social consiste, por decir lo menos, en enterarse primero, y acaso en formarse luego, en las nuevas y mejores ciencias y disciplinas, en los nuevos lenguajes, en las nuevas aproximaciones de punta emergentes. Después de todo, entre los numerosos instrumentos que tenemos y que hemos desplegado para sobrevivir y para hacer la vida posible y cada vez más posible es el conocimiento; más exactamente, el mejor conocimiento disponible en cada momento para los individuos y la sociedad. A mayor y mejor conocimiento, tantas mayores y mejores garantías, condiciones excelsas y dignas, y posibilidades de vida.

Ante nuestros ojos, incluso aunque a veces no nos enteremos bien y ni siquiera del todo, están teniendo lugar procesos apasionantes y vitales de investigación, de innovación y conocimiento. Enterarnos de ellos e interiorizarlos es tanto una obligación moral como intelectual. Al fin y al cabo, estamos entrando en una época en la que el conocimiento que se produce, que se consume, que se distribuye, se acumula y se intercambia incide de manera real y directa en la calidad de vida que tenemos, y en los horizontes y gratificaciones mismos de la existencia.

Si ello es así, conocer entonces el conocimiento de punta en el mundo no es un lujo, sino una necesidad.

Addenda:

Las ideas hasta aquí desarrolladas son un abrebocas al apasionante tema del estado y desarrollo de la ciencia con que hoy contamos. La pretensión de quien las firma es, por un lado, difundir la palpable realidad que hoy vivimos, tratando de motivar interés por su estudio y comprensión, así como reflexión sobre sus manifestaciones y consecuencias de todo orden para el conjunto de la humanidad, motivando al mismo tiempo debate y discusión con y sobre lo aquí sustentado.

Para que esta pretensión cumpla con su cometido, van a continuación unas preguntas, a manera de síntesis de lo explicado y como convocatoria para continuar la reflexión sintetizada en estas páginas.

- ¿Qué se entiende por tecnologías convergentes?
- ¿Por qué la ciencia ya no pontifica?
- ¿Pudiera indicar el lector o lectora de este libro cuáles son las diferencias sustanciales entre la ciencia desarrollada por la humanidad durante la mayor parte del siglo XX y aquella con la que contamos hoy?

- ¿Qué puede entenderse por mentalidad de hacker?
- ¿Qué se conoce como la división digital?
- ¿Cuál es la característica común que comportan en la actual época la información, la educación, la investigación y el conocimiento?
- Está en curso una intensa y profunda revolución tecno científica, ¿cuáles son algunas de sus implicaciones o consecuencias para la sociedad en su conjunto y la acción social y política en particular?
- ¿Qué se dice de una revolución científica cuando no cambia a una sociedad y a una época –y no solamente a la cosmovisión existente hasta entonces?
- ¿Cuáles son las diferencias entre pensamiento como análisis y pensamiento como síntesis?
- ¿Qué son las tecnologías convergentes?
- ¿Qué es la minería de datos?
- ¿De qué trata la cienciometría?

Referencias bibliográficas

- Burke, P., (2012). *Historia social del conocimiento. Vol. II: De la Enciclopedia a la Wikipedia*. Barcelona: Paidós
- Carroll, S. B., (2006). *Endless Forms Most Beautiful. The New Science of Evo Devo*. New York: W. W. Norton & Co.
- De Solla Price, (1986). *Little science, big science*. Columbia University Press
- Deutsch, D., (2012). *El comienzo del infinito. Explicaciones que transforman el mundo*. Biblioteca Buridán
- Echeverría, J., (2003). *La revolución tecnocientífica*. F.C.E.
- Fortnow, L., (2013). *The Golden Ticket. P, NP, and the Search for the Impossible*. Princeton and Oxford: Princeton University Press.
- Maldonado, C. E., (2012). “Las Revoluciones Científicas y los Estudios CTS como Unidad de Ciencia: Sus alcances para América”, disponible en: <http://thelos.utem.cl/2012/12/las-revoluciones-cientificas-y-los-estudios-cts-como-unidad-de-ciencia-sus-alcances-para-america/>
- Maldonado, C. E., Gómez-Cruz, N, (2011). *El mundo de las ciencias de la complejidad*. Bogotá: Universidad del Rosario

- Maldonado, C. E., (2005). *CTS+P. Ciencia y tecnología como políticas públicas y sociales*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia-Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología
- Rescher, N., (2006). *Epistemetrics*. Cambridge: Cambridge University Press
- Weingartner, P., (ed.), (2010). *Alternative Logics. Do Sciences Need Them?* Springer Verlag
<http://www.whitehouse.gov/share/brain-initiative>

Para la diagramación se utilizaron los caracteres
Century Schoolbook y Gill sans
Octubre de 2015

El conocimiento es un bien de la humanidad.
Todos los seres humanos deben acceder al saber.
Cultivarlo es responsabilidad de todos.