

EL HOMBRE Y LA MÁQUINA

El Hombre y la Máquina

ISSN: 0121-0777

maquina@uao.edu.co

Universidad Autónoma de Occidente
Colombia

Domínguez, Martha C.; García-Vallejo, Felipe
La sexta revolución tecnológica: El camino hacia la singularidad en el siglo XXI
El Hombre y la Máquina, núm. 33, julio-diciembre, 2009, pp. 8-21
Universidad Autónoma de Occidente
Cali, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47812225002>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

La sexta revolución tecnológica: El camino hacia la singularidad en el siglo XXI

The sixth technological revolution: the road towards the singularity in 21st century



Torre del Milenio.

MARTHA C. DOMÍNGUEZ*
FELIPE GARCÍA-VALLEJO**

Resumen

La ciencia y la tecnología han alcanzado niveles tales, que para poder generar más conocimiento y producir más rápidamente innovaciones es necesario que exista una nueva zona transdisciplinaria que permita integrar distintas áreas científicas. La sexta revolución tecnológica del inicio del siglo XXI, basada en la unificación de la materia a escala nanométrica, está generando cambios radicales en las actividades humanas. Discutimos, cómo la convergencia de cuatro áreas de la ciencia: las nanociencias; la biotecnología y la ingeniería genética; las tecnologías de la información y las comunicaciones; y la ciencia cognitiva en asocio con las neurociencias, están comenzando a generar las condiciones para que la humanidad

* MSc. Investigadora del Laboratorio de Biología Molecular y Patogénesis. Departamento de Ciencias Fisiológicas. Escuela de Ciencias Básicas. Facultad de Salud. Universidad del Valle.

** PhD. Académico correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias Físicas Exactas y Naturales. Profesor Titular y Director Científico del Laboratorio de Biología Molecular y Patogénesis. Departamento de Ciencias Fisiológicas. Escuela de Ciencias Básicas. Facultad de Salud. Universidad del Valle. labiomol@gmail.com

Fecha de recepción: enero 20 de 2009

Fecha de aceptación: marzo 3 de 2009

experimente una singularidad tecnológica, entendida ésta como un evento sin precedentes en su historia; en ella, la vida como la conocemos actualmente cambiaría a un escenario de capacidades ilimitadas, que alterarían, incluso, el curso de la evolución de la especie humana.

Palabras clave: Filosofía de la ciencia. Revoluciones tecnológicas. Singularidad tecnológica. Sociedad del Conocimiento. Convergencia tecnológica

Abstract

Science and technology have reached a such level, in which, to generate more knowledge and produce faster innovations, is necessary a new transdisciplinary zone that integrates different scientific areas. The sixth technological revolution at the beginning of 21st century, based on the unification of matter at nanometric scale, is actually producing huge changes in human activities. We discuss how the convergence of four areas of science: nanosciences; biotechnology and genetic engineering; information and communications technology and cognitive sciences and neurosciences, are starting to generate conditions for humankind experiment a technological singularity, thus defined as an unprecedented event in the history of human societies; in it the life, as we know actually, could move to a new scenario of unlimited capacities that even could promote a change in the actual course of evolution of the human species.

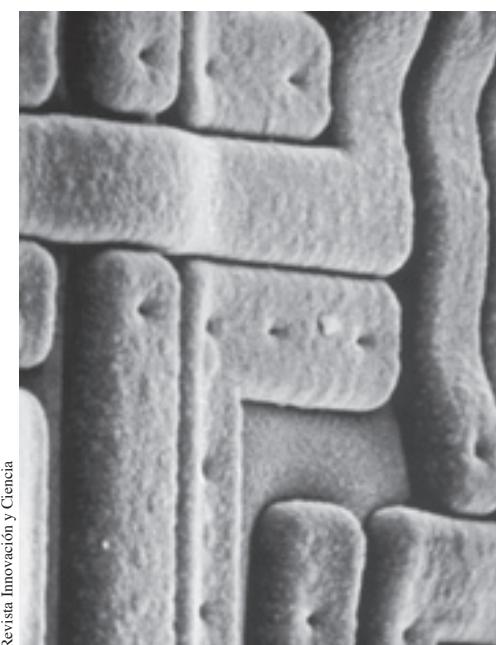
Key words: Philosophy of science. Technological revolutions. Technological singularity. Knowledge Society. Technological convergence

Introducción

En la primera década del siglo XXI estamos asistiendo a una transformación profunda, no sólo de los esquemas de producción global, sino de nuestra cultura en general; esta transformación que comenzó en las últimas décadas del siglo XX ocasionó, en su momento, el inicio de una fractura de la ciencia como una de las formas de generar conocimiento, de las teorías macroeconómicas y de la civilización occidental en general. Así pues, debido al avance en el conocimiento científico y tecnológico, la ciencia, la tecnología y la innovación (CT+I) ya hacen parte de las agendas mundiales de inversión y desarrollo (Jorma, 2000; National Science Board, 2007; World Bank, 2008).

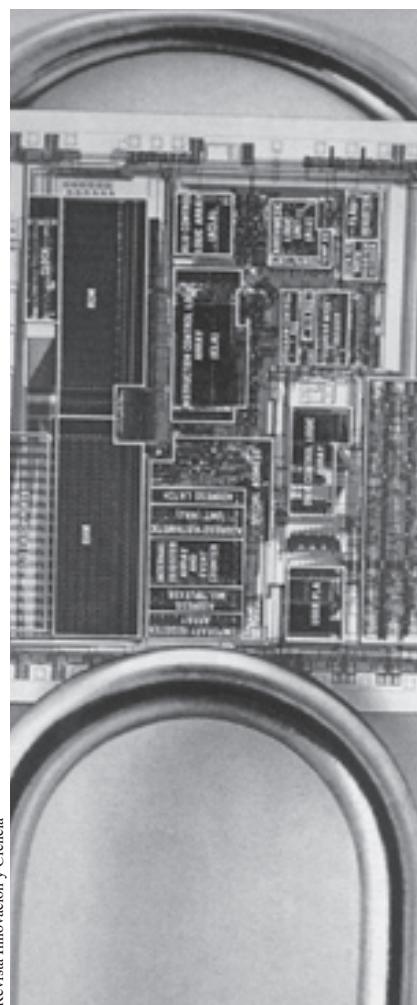
Las transformaciones tecnológicas del inicio de este siglo están ampliando las fronteras de la medicina, las comunicaciones, la agricultura, la energía y las fuentes del crecimiento dinámico (Roco, 2004). Además, debido al proceso de globalización que está ocurriendo con mayor énfasis en este siglo, dichos avances tendrán progresivamente alcance mundial; es así como el mapa del genoma humano, hecho esencialmente por investigadores de Estados Unidos y del Reino Unido, es igualmente valioso para la investigación científica y el desarrollo de nuevas alternativas terapéuticas aplicables en todo el mundo (García-Vallejo & Domínguez, 2008). La Internet creada en los Estados Unidos ha reducido los costos de acceso a la información al promover oportunidades ilimitadas de comunicación en el mundo entero.

Sin embargo, a pesar del gran impulso que ha tenido la CT+I en el desarrollo socioeconómico mundial, nuestro planeta se debate actualmente en diferentes conflictos que necesariamente han aumentado



Revista Innovación y Ciencia

Optoelectrónica.



Optoelectrónica.

la brecha social y económica que existe entre los estados miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y un resto de países que luchan por alcanzar un desarrollo humano adecuado. La inequidad, como consecuencia de la acumulación de riquezas, producto de los esquemas económicos “neoconservadores”, de los últimos treinta años, conllevó una condición a la cual el mundo enfrentó con cambios radicales, no solo en el modelo de desarrollo económico sino también en la ciencia y la tecnología, pero sin considerar, en su momento, que el objetivo último era el bienestar de la humanidad.

El desarrollo, en el siglo XX, de una tecnología esencialmente para la guerra, sin considerar que en la mitad se jugaba el futuro de la humanidad, impuso, en algunos países, esquemas de investigación científica en los que se ha llegado a extremos tan riesgosos como el poner en peligro la biosfera y con ello la estabilidad física y biológica del planeta Tierra (Cypher, 1987; Hilleman, 2002; Fraser *et al.*, 2001; Noah *et al.*, 2002). Sin embargo desde mediados de los años sesenta del siglo pasado, se abrió paso una corriente de acción y de pensamiento que tuvo como eje central el ajuste del equilibrio alterado entre el hombre como sociedad y el planeta como ente complejo de interacciones físicas y biológicas (Brundtland, 1987). Esta onda se ha expandido desde entonces y ha generado una de las mayores fracturas en la evolución cultural, en el concepto del hombre actual, en los esquemas de desarrollo sostenible (una nueva economía, esencialmente basada en la conservación de los ecosistemas y en los bioprocesos), en la transmisión de la información y en la manera como se genera el conocimiento científico y se expande la tecnología (Heylighen, 2007).

De otra parte, en la última década del siglo XX, emergió una nueva agenda social denominada “Sociedad del conocimiento”, término de una gran complejidad y que de paso también ha generado, como era de esperarse, dilemas éticos y conflictos adaptativos entre aquellos países cuyos esquemas económicos todavía se basan en la acumulación de riqueza y de poder expansionista y los otros (las dos terceras partes del mundo) en los que los niveles de desarrollo humano son aún insuficientes (Drucker, 1994; Unesco, 2006; Del Brutto, 2007).

En este trabajo hacemos una reflexión crítica de cómo cuatro áreas de la ciencia: las nanociencias y la nanotecnología; la biotecnología y la ingeniería genética; las tecnologías de la información y las comunicaciones; y la ciencia cognitiva en asocio con las neurociencias, han iniciado una nueva revolución tecnológica, en la que la dimensión en los esquemas de producción tiene como base la materia a nanoscala y el manejo sostenido del ecosistema. Esta sexta revolución tecnológica ha comenzado a generar las condiciones para que la humanidad experimente una singularidad tecnológica, entendida ésta como un evento sin precedentes en la historia de la humanidad, en el que la vida como la conocemos actualmente cambia de una condición usual a una virtualmente de capacidades ilimitadas.

Las sociedades del conocimiento

Un tema que de por sí ha enfrentado posiciones políticas y filosóficas en el mundo en los últimos años y también ha producido una gran controversia en el panorama macroeconómico y social en el inicio del siglo XXI, es el concepto sociedad del conocimiento, que tuvo sus orígenes en los años sesenta del siglo pasado. De acuerdo con

Peter Drucker, este tipo de sociedad se caracterizaría por una estructura económica y social, en la que el conocimiento ha substituido al trabajo, a las materias primas y al capital como la fuente más importante de la productividad, crecimiento y desigualdades sociales (Drucker, 1994).

Recientemente la Unesco ha redefinido el concepto al expresar que una sociedad del conocimiento, "... es aquella que se nutre de sus diversidades y capacidades para generar conocimiento" como un bien de consumo (Unesco, 2006). En el actual escenario, existe una particularización de las sociedades, pues cada una de ellas tiene sus propias fortalezas en materia de conocimiento. Esto marca la tendencia actual hacia promover estructuras de producción para que los conocimientos, del cual son ya depositarias las distintas sociedades, se articulen con las nuevas formas de elaboración, adquisición y difusión del saber, valorizadas por el modelo de la economía del conocimiento.

Existen diferentes formas de conocimiento y cultura que han participado en la construcción de las estructuras sociales actuales, desde aquellas altamente influenciadas por el progreso científico y técnico moderno, hasta las más ancestrales en las que el conocimiento, generalmente transmitido por tradición oral, ha generado un desarrollo cultural y ha mantenido sociedades acordes con su visión del mundo. En este contexto, el concepto de sociedades del conocimiento incluye además, dimensiones sociales, éticas y políticas mucho más amplias (Del Brutto, 2007). No se concibe que el Internet y las "e-actividades" conduzcan, debido a un determinismo tecnológico estrecho y fatalista, a la construcción de una forma única de sociedad. Es por esta razón que

en el panorama social del siglo XXI, según la Unesco, existirán diferentes sociedades del conocimiento (Unesco, 2006).

Uno de los rasgos de la sociedad del conocimiento es su capacidad de difundir la cultura, a escala mundial, mediante los nuevos medios de comunicación. Ahora es posible poner al alcance de todos, en cualquier parte del mundo, toda la producción literaria, científica y artística elaborada y acumulada durante siglos de historia. Otro aspecto es la aplicación de los adelantos científicos en la biología, la agricultura y la medicina, para alcanzar un mejor conocimiento del hombre y de su salud; esto permitirá organizar una asistencia alimentaria y médica, preventiva y asistencial, que podría abarcar a toda la población del planeta.

¿Es posible imaginar sociedades del conocimiento en las que no se conceda toda la prioridad necesaria a la ciencia y la tecnología y a la educación? No cabe duda de que los ámbitos de la ciencia y la educación están llamados a ser uno de los principales laboratorios en los que se edifiquen las sociedades del conocimiento, habida cuenta de la estrecha relación entre la evolución de las tecnologías y el progreso de los descubrimientos científicos.

El panorama socioeconómico del siglo XXI

Si bien los avances en algunas áreas de investigación científica han posibilitado un desarrollo progresivo de nuevas formas de comunicación, cognición y transferencia de información a interfaces inteligentes, las estructuras sociales y económicas del siglo XXI experimentan una crisis generada por la revolución en las tecnologías de la información y por modelos de desarrollo socioeconómico expansionista, que centrados en la



Revista Innovación y Ciencia

Virus informáticos.

acumulación de capital, fortalecieron a la banca como organización que permitía fluir los capitales de inversión a empresas cada vez más transnacionales. La crisis financiera de finales del 2008, algo que estaba predicho en varios análisis, arrastró a muchos de los países desarrollados hacia una crisis económica, que se pronostica, tendrá efectos profundos en la macroeconomía del planeta.

Es un consenso que la crisis financiera de 2008 se desató de manera directa debido al colapso de la burbuja inmobiliaria en Estados Unidos en el año 2006; este fenómeno, provocó en octubre de 2007 la llamada crisis de las “hipotecas subprime” (otorgadas con base en créditos de riesgo). Las repercusiones de esta crisis hipotecaria comenzaron a manifestarse de manera extremadamente grave desde inicios de 2008, contagiándose primero el sistema financiero estadounidense, y después el internacional. Esto generó una profunda crisis de liquidez acelerando, indirectamente, otros fenómenos económicos, como una crisis alimentaria global, diferentes derrumbes bursátiles (como la crisis bursátil de enero de 2008 y la mundial de octubre de 2008) y, en conjunto, el advenimiento de una crisis económica a escala internacional. Las causas fundamentales de este fenómeno económico son complejas, sin embargo podemos citar algunas de las más generales: un sistema bancario mal regulado, principalmente en los sectores del préstamo y la inversión, que dio lugar a la creación de vehículos hipotecarios prácticamente especulativos para personas sin una fuente de ingresos estable. Todo ello, unido a tasas de interés bajas que la autoridad monetaria de Estados Unidos mantuvo durante varios años, ofrecieron un espacio propicio para la especulación y sobre-extensión del crédito (Chossudovsky, 2008).

Una revolución tecnológica se define como un conjunto poderoso y visible de tecnologías, productos e industrias nuevas y dinámicas que son capaces de sacudir los cimientos de la economía y generar una onda de desarrollo de largo plazo.

Frente al panorama de una crisis económica global inminente, la cuestión es: ¿cómo afectará a los sectores de la investigación científica, el desarrollo tecnológico e innovación? En este inicio del siglo, países como los Estados Unidos gastan un 2,6% en derechos de autor, exploración minera y desarrollo de productos; un 4,2% en la marca y estructura organizativa y un 1,7% en información. Sólo en el ámbito de la biotecnología se gastaron más de 14.000 millones de dólares en 2003. En el 2006 se destinaron 344.000 millones de dólares a I+D (2,6% del PIB), de los cuales sólo el 11% procedía del Gobierno. En la Unión Europea, el sector de negocios financió el 55% del gasto en I+D en el 2004; mientras que Estados Unidos el 64%, en Japón el 75% y el 66% en China. Las cifras anteriores demuestran una tendencia creciente a la financiación privada de la CT+I en los países desarrollados. De acuerdo con el estudio “Perspectivas 2008 sobre Ciencia, Tecnología e Industria” de la OECD (OECD, 2008), los préstamos bancarios tradicionales o las acciones cotizadas en Bolsa pueden tener una importancia limitada en las firmas innovadoras, que generalmente tienen flujos de caja negativos e inciertas perspectivas de futuro.

En este escenario es claro que los sectores generadores de alta tecnología necesitan conseguir grandes sumas de capital privado para continuar su operación. Puesto que la consecución de recursos financieros se hace con base en beneficios futuros, se generará incertidumbre en la inversión en CT+I en un futuro inmediato (2009-2015). Sin embargo, donde el canal de crédito se interrumpa debido a la caída del crédito, muchas “start-up” pueden verse en problemas. El capital de riesgo es la principal fuente de fondos para muchas de estas y

la evolución del sector es todavía incierta. En este panorama de inicio del siglo XXI, tanto la tecnología, como la comida, no serán ya más bienes de consumo libre.

La revolución tecnológica del nuevo milenio

Una revolución tecnológica se define como un conjunto poderoso y visible de tecnologías, productos e industrias nuevas y dinámicas que son capaces de sacudir los cimientos de la economía y generar una onda de desarrollo de largo plazo. Desde 1771, año en que se data la primera, que ha sido denominada la revolución industrial, el mundo experimentó, hasta el siglo XX, cinco de estas transformaciones (Cuadro 1) (Freeman & Pérez, 1988; Pérez, 2004; Castaldi & Dosi, 2008).

Las revoluciones tecnológicas son consecuencia de paradigmas tecnológicos. Un paradigma tecnológico “..se asocia con la progresiva promoción de oportunidades de innovación que se pueden medir con base en la modificación de las características técnicas fundamentales del o los “artefactos” que la caracterizan” (CEPAL, 2008). Un concepto más amplio es el de paradigma “tecnoeconómico”, el cual permite evaluar la evolución entre el cambio tecnológico y el desarrollo económico. Así se puede concluir que los cambios en los paradigmas tecnoeconómicos redefinen la trayectoria no sólo en los ámbitos tecnológico y económico, sino también en lo social (Pérez, 2008). El contar con políticas públicas orientadas a consolidar el sistema de ciencia y tecnología e innovación mediante el fortalecimiento de la capacidad de investigación y desarrollo de universidades, instituciones públicas de investigación y centros privados que se dedican a ello, así como a la formación de capital humano, pueden determinar la celeridad y el

Cuadro 1. Principales características de las Revoluciones Tecnológicas que han sucedido desde 1771 hasta la fecha. (Adaptado de Freeman & Pérez, 1988)

Revolución Tecnológica	Nombre Popular de la Época	País o Países Núcleo de la Revolución	Causas que la Iniciaron	Año
Primera	Revolución industrial	Inglaterra	Apertura de la hilandería de algodón de Arkwright en Cromford	1771
Segunda	Era del vapor y los ferrocarriles	Inglaterra expandiéndose a Europa y EE.UU	Prueba del motor a vapor Rocket para el ferrocarril Liverpool-Manchester	1829
Tercera	Era del acero, la electricidad y la Ingeniería pesada	EE.UU y Alemania	Inauguración de la Acería Bessemer de Carnegie en Pittsburgh Pennsylvania	1875
Cuarta	Era del petróleo, el automóvil y la producción en masa	EE.UU y Alemania, Difusión hacia Europa	Salida del primer modelo Ford T de la planta Ford en Detroit, Michigan	1908
Quinta	Era de la Informática y la telecomunicaciones	EE.UU difundiéndose a Europa y Asia	Anuncio del microprocesador Intel en Santa Clara, California	1971
Sexta	Era de la Biotecnología y la Genómica (NCB)	EE.UU, Europa, Asia (expandiéndose a países emergentes de Latinoamérica y Eurasia)	Publicación del primer experimento de ADN recombinante y el inicio del Proyecto Genoma Humano	1970 y 1990

éxito con que una economía absorbe un nuevo paradigma tecnológico (Metcalfe, 1995).

Las tecnologías emergentes son aquellas que representan nuevos y significativos desarrollos en un determinado campo. Una característica fundamental de las tecnologías emergentes es que ellas se mueven aceleradamente hacia la convergencia e interconexión con objetivos similares. Actualmente los progresos en las tecnologías de información y comunicación (TIC), de la nanotecnología y de la biotecnología molecular nos dan elementos conceptuales para postular que estamos frente a una nueva revolución tecnológica que



Torre del Milenio.

Revista Muy Especial

modificará trascendentalmente la salud, la producción y la arquitectura social del nuevo milenio. Nos movemos hacia una singularidad en la evolución social y biológica de la humanidad (Heylighen, 2007; Modelska, 2006; Modelska, 2007).

Esta sexta revolución tecnológica, parte de los paradigmas sobre la comprensión exhaustiva de la estructura y comportamiento de la materia desde la escala nano (10^{-9} m), hasta los más complejos sistemas físicos, biológicos y sociales. Una de las principales diferencias con las anteriores revoluciones es la integración de la ciencia unificada sobre la naturaleza y en su investigación holística que ha generado una convergencia tecnológica; se espera que este nuevo enfoque integrado y convergente, nos conduzca hacia una estructura social más eficientemente adaptada a los nuevos escenarios económicos con base en un concepto orgánico de la sociedad (Heylighen, 2007).

Los paradigmas tecnoeconómicos de esta revolución del siglo XXI, se centran en la combinación sinérgica de cuatro principales áreas de la ciencia, *NBIC* (nano-bio-info-cogno), cada una de las cuales experimenta en la actualidad un acelerado progreso: a) Nanociencias y nanotecnología; b) Biotecnología y biomedicina incluyendo la ingeniería genética y ciencias “ómicas”; c) Tecnologías de la información incluyendo los avances en computación y comunicaciones; y d) Ciencias de la cognición incluyendo las neurociencias cognitivas y los avances en inteligencia artificial. Con una apropiada atención por los aspectos éticos y las necesidades sociales, el resultado será un aumento espectacular de las capacidades humanas, creación de nuevas industrias y productos, de resultados sociales y de un incremento en la calidad de vida.

Mediante la combinación de métodos de investigación y resultados cruzando estas provincias de la ciencia en interacciones dobles, triples o cuádruples se puede alcanzar un acelerado progreso científico y social.

Ya las economías de los países desarrollados, a pesar de la inminente crisis económica mundial, comienzan a percibir los efectos iniciales de esta revolución, en especial, el auge de la biotecnología molecular en la economía y en la sociedad en las áreas de la salud humana, la agricultura y el control del medio ambiente; sin embargo su alcance dista de ser comprendido en toda su magnitud. De hecho, la eficacia de los esfuerzos de investigación y desarrollo y el impacto en las distintas actividades económicas y sociales son temas de debate en la agenda mundial de desarrollo (Pisano, 2006; World Bank, 2008).

En las primeras décadas del siglo XXI se están concentrando esfuerzos que puedan unificar la ciencia con base en la unidad de la naturaleza, esto ha producido el inicio del gran avance que se registra actualmente en la nanotecnología, la biotecnología, las tecnologías de la información, y las nuevas tecnologías basadas en las ciencias cognitivas. Con una apropiada atención por los aspectos éticos y las necesidades sociales, el resultado será un espectacular aumento de las capacidades humanas, de nuevas industrias y productos, de resultados sociales y de un incremento en la calidad de vida. Mediante la combinación de métodos de investigación y resultados cruzando estas provincias de la ciencia en interacciones dobles, triples o cuádruples se puede alcanzar un acelerado progreso científico y social.

Hacia una convergencia y unificación de la ciencia y la tecnología

El conocimiento humano logrado mediante la investigación científica, ha alcanzado un desa-

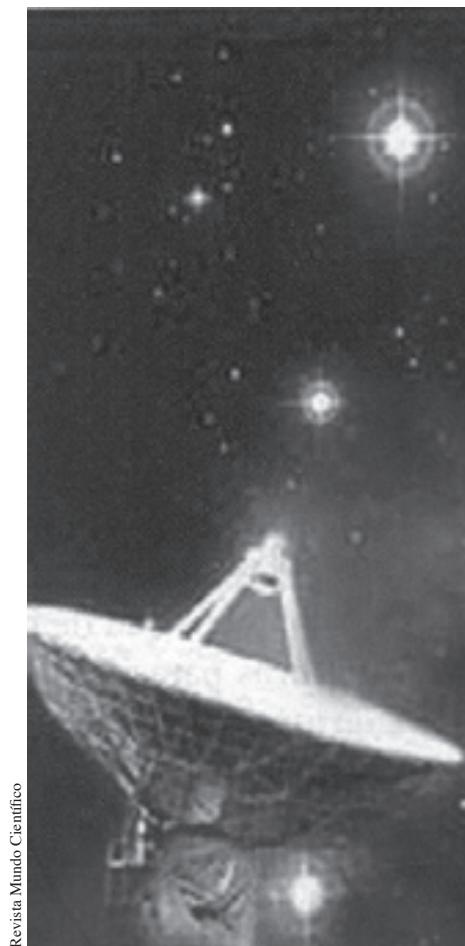
rrollo tal en el que para poder generar más conocimiento y producir más rápidamente innovaciones, es necesario que exista una nueva zona transdisciplinaria que permita integrar los distintos campos del saber. La ciencia en este siglo se está unificando alrededor de un número relativamente reducido de principios teóricos (tales como conservación, indecisión, configuración, interacción, evolución, información y cognición) y de metodologías de investigación que incluyen nuevas tecnologías de imágenes y simulación computacional. Para tomar ventaja de esta unificación, la ciencia y la ingeniería deben transformarse para generar una interface de convergencia que produzca una nueva clase de científicos, de ingenieros y técnicos. Tomando como punto de partida la ciencia de la cognición, esta convergencia expandirá las ciencias sociales y las humanidades a unos límites inimaginables que transformarán las sociedades actuales (Montemagno, 2004; Lynch, 2004).

Esta nueva etapa debe cimentarse sobre un planteamiento holístico que integre la ciencia con la tecnología, con el fin de generar nuevas posibilidades técnicas y enfocarse en la innovación para el desarrollo humano. La unificación de la ciencia y la tecnología de seguro generará nuevos resultados impactantes en las próximas dos décadas sobre la base de cuatro principios claves: la unidad de la materia a nanoscala, las herramientas de transformación de las NBIC, los sistemas jerárquicos o no lineales y el incremento de desempeño humano de acuerdo con lo que se describe a continuación:

1. La nanoconvergencia basada en la unidad de materia a nanoscala y sobre la base de la integración a esta escala. La investigación científica puede entender mejor la manera como los átomos se combinan para

formar moléculas complejas y cómo estas a su vez se agregan de acuerdo con un principio fundamental común para formar estructuras no solamente orgánicas sino inorgánicas. La tecnología puede apalancar los procesos naturales hacia la ingeniería de nuevos materiales, nuevos productos biológicos y máquinas a nanoscala (Fortina *et al.*, 2005).

2. Los mismos principios nos permitirán entender y, cuando sea deseable, controlar el comportamiento de microsistemas complejos, tales como neuronas y componentes de computador y de macrosistemas complejos como el metabolismo humano y el transporte vehicular (Roco, 2003).
3. Los avances revolucionarios de integración en las interfaces entre campos de la ciencia y la tecnología previamente separados, están creando herramientas claves de NBIC, incluyendo instrumentos científicos, metodologías analíticas, y sistemas de materiales radicalmente nuevos. El momento innovativo de esta interdisciplinariedad de áreas no se debe perder, antes por el contrario debe apalancarse para lograr la unificación de las disciplinas (Chen & Ho, 2006).
4. Los desarrollos en enfoques sistémicos, las matemáticas y la computación en conjunción con el trabajo en áreas NBIC, permitirán por primera vez, entender mucho mejor el mundo natural y la cognición en términos de sistemas jerárquicos complejos (Fu, 2007). Este enfoque de sistemas complejos producirá un espacio holístico de oportunidades de integración con el fin de obtener la máxima sinergia en dirección a una corriente general de progreso.



Revista Mundo Científico

Control remoto de grandes instalaciones científicas.

La convergencia NBIC puede generar el medio para afrontar exitosamente estos retos al incrementar sustancialmente las capacidades mentales, físicas y sociales (Cuadro 2). Un mejor entendimiento del cuerpo humano y el desarrollo de herramientas para dirigir la interacción humano-máquina han abierto un panorama completamente nuevo de la tecnología y la innovación. Los esfuerzos deben centrarse tanto en los avances individuales como colectivos en términos de enfatizar la concepción de beneficio humano que articule el cambio mientras se conservan los valores fundamentales.

Cuadro 2. Áreas de acción de los productos que se esperan en los próximos años a partir de la convergencia de tecnologías en el siglo XXI. (Adaptado del informe de la National Science Foundation USA, 2006)

Posición relativa	Mejoramiento del área
Externa (fuera del cuerpo), ambiental	Nuevos productos: materiales, dispositivos y sistemas, agricultura y alimentos Nuevos agentes: cambios sociales, organizaciones, robots, Chat-bots, animales Nuevos mediadores: Herramientas estacionarias y artefactos. Nuevos lugares: real, virtual y mixto
Externa colectiva	Incremento de la interacción grupal y la creatividad. Unificación de la ciencia, la educación y el aprendizaje.
Externa, personal	Nuevos mediadores: herramientas y artefactos móviles y adaptables
Interno (dentro del cuerpo), temporal	Nuevas medicinas ingeribles, alimentos
Interno, permanente	Nuevos órganos: nuevos sensores y efectores implantables. Nuevas destrezas: tecnologías convergentes, nuevos usos de viejos sensores y efectores. Nuevos genes: nueva genética, células madre

La convergencia tecnológica sería un marco de referencia para la convergencia humana. Idealmente la segunda mitad del siglo XXI podría conllevar un mundo en paz, una prosperidad general y la evolución de altos niveles de logro para una sociedad más justa. Es difícil encontrar una metáfora para ello, pero debería ser una humanidad que se volviera más hacia los valores individuales como un nuevo

referencial social. El Cuadro 2 muestra un marco simplificado para clasificar el incremento en áreas del desempeño humano relacionadas con el individuo en una sociedad del siglo XXI.

Hacia la unificación de la ciencia y la tecnología convergente

Aunque el reciente progreso experimentado en la convergencia NBIC ha sido sobresaliente, no se percibe que automáticamente ocurra un progreso rápido en muchas de las áreas que ya hemos descrito. Efectivamente, la ciencia y las ingenierías se han enfrentado a barreras y otras situaciones que irán apareciendo a medida que se avance en el progreso del conocimiento.

En otras áreas el progreso se ha ganado duramente y nada que pueda acelerar un descubrimiento podría ser excesivamente valioso. Por ejemplo, la neurociencia cognitiva ha hecho grandes avances y recientemente ha desbloqueado muchos secretos del cerebro humano con la ayuda de técnicas asistidas por computador como las imágenes funcionales obtenidas por resonancia magnética nuclear funcional (RMNF) (Horwitz & Smith, 2008). Sin embargo es de aclarar que todos los métodos de diagnóstico para el ser humano utilizan la máxima fuerza magnética que es considerada segura para la salud. Actualmente la máxima resolución en la exploración del cerebro mediante estas técnicas no va más allá de un milímetro cúbico, volumen que puede contener decenas de miles de neuronas, con lo que se genera una barrera que impide a los neurocientíficos ver muchas de las más importantes estructuras cercanas al nivel celular. Para incrementar más la resolución es necesario un nuevo enfoque que emplee dispositivos exploratorios con una mayor resolución que permita analizar funcionalmente la estructura y la

función de regiones cerebrales aún no exploradas, esto requiere de una asociación sinérgica entre la biología y la nanotecnología.

Otro ejemplo está en el área de las ciencias de la información donde el progreso ha dependido del mejoramiento constante en la velocidad y en el costo-efectividad de los circuitos integrados. Sin embargo, los actuales están llegando a sus límites físicos y es ampliamente conocido que el progreso se desacelerará en los próximos años a menos que sean encontradas nuevas soluciones. En este campo, la nanotecnología ofrece una serie de soluciones reales que conllevarán de manera cierta a la mejora del “hardware” en varios órdenes de magnitud en comparación con los actuales. Un aspecto muy prometedor es el desarrollo de la biocomputación, el nicho de una serie de metodologías de software que emplea metáforas ligadas a las macromoléculas informacionales y a estructuras que las contienen y las procesan (Sarai, 2007). Estos conceptos acercan las neurociencias cognitivas a nuevos desarrollos de “software” basados en la arquitectura neuronal y en los mecanismos de procesamiento de información y algoritmos que utiliza el cerebro humano (Silver *et al.*, 2007).

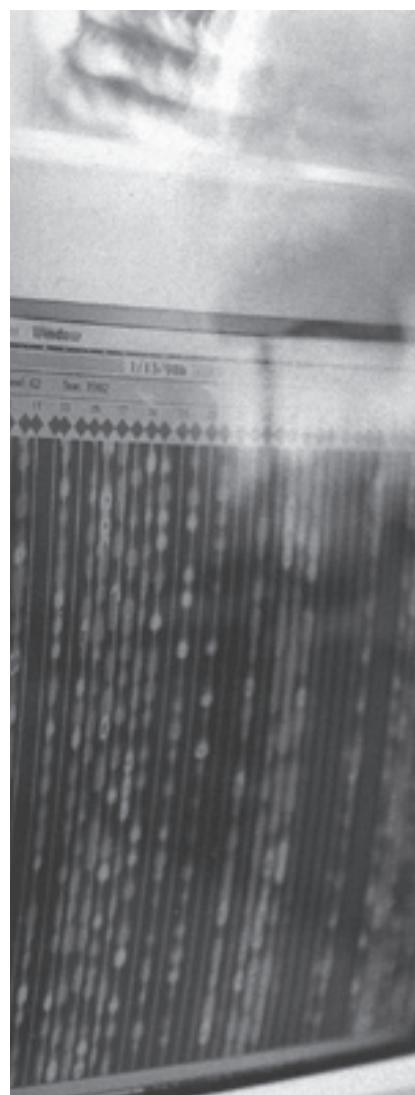
Podrían citarse muchos otros casos en los cuales los descubrimientos o los inventos en un área permiten el progreso de otras. Sin avances en la tecnología de la información no podemos obtener todas las ventajas que ofrece la biotecnología en áreas como la decodificación del genoma humano (Christley *et al.*, 2008), el modelamiento de la estructura dinámica de las proteínas de las moléculas (Kiefer *et al.*, 2009) o el entendimiento de cómo el genoma interactúa con el medioambiente.

La tecnología de la información y la microbiología pueden proveer

herramientas para ensamblar las estructuras a nanoscala e incorporarlas efectivamente en dispositivos a microescala (Mandal *et al.*, 2006). La convergencia de la nanociencia no orgánica con la biología, requerirá de descubrimientos en la forma en que nosotros conceptualizamos y enseñemos los procesos fundamentales de la química en los sistemas complejos que podrían estar facilitados por la investigación en la ciencia cognitiva sobre el pensamiento científico propiamente dicho (Mann, 2008).

Desde la investigación empírica, el análisis teórico y el modelamiento computacional tendremos que desarrollar principios científicos muy fuertes que unifiquen campos y hagan posible que los científicos comprendan un fenómeno complejo. Debemos encontrar formas para reorganizar y conectar los hallazgos científicos, de tal manera que los investigadores pertenecientes a un amplio rango de especialidades puedan comprenderlos y aplicarlos dentro de su propio trabajo. Sin embargo, se hará necesario justificar la investigación científica fundamental de cada campo que pueda convertirse en el fundamento del puente a otros campos, así como también el soporte de la investigación fundamental en la intersección de estos campos.

La investigación fundamental también será esencial no solo para profundizar y expandir las fronteras del conocimiento del siglo XXI en la convergencia tecnológica, sino para la ingeniería de sistemas pues los ingenieros del presente siglo deberán estar preparados en el futuro para enfrentar tareas completamente nuevas a las que ellos han estado acostumbrados a manejar. El tradicional “kit” de herramientas para la ingeniería será de utilidad limitada en algunas de las más importantes áreas de la convergencia tecnoló-



Nuestros genes al desnudo.

gica, por lo tanto tendrán que ser inventadas nuevas herramientas. Esto ya ha comenzado a suceder en la nanotecnología. Sin embargo, mucho del trabajo actual, se hace desarrollando soluciones de ingeniería a problemas provenientes de la biología, la información y la mente humana.

La singularidad tecnológica

En el campo de la prospectiva, la singularidad tecnológica (algunas veces llamada simplemente la Singularidad), constituye un periodo teórico futuro en el que, de acuerdo con ciertas reglas cuantificables, se predice que el progreso tecnológico y el cambio social producirán, debido al desarrollo de una inteligencia sobrehumana, un cambio en nuestro ambiente de manera tal, que cualquier ser humano anterior a esta singularidad sería incapaz de comprenderlo o adaptarse. Sin embargo, las más recientes discusiones, postulan que la singularidad es un periodo de progreso acelerado en CT+I en los años futuros y sus efectos en las sociedades del siglo XXI. El avance en tecnologías como la inteligencia artificial, el desarrollo de software inteligente, hardware potente, la nanotecnología, la ingeniería genética y la robótica, jugarán sin lugar a dudas un papel importante en el proceso de consolidación de la singularidad.

Según una serie de aproximaciones realizadas por distintos autores entre los que se puede mencionar Vernor Vinge (Vinge, 1993) y más recientemente Ray Kurzweil (Kurzweil, 2005), para alcanzar la singularidad, se tendrían que lograr desarrollos tecnológicos que hagan realidad cada uno de los siguientes productos:

2. Redes de computadoras que se comporten como “superneuronas” de un cerebro distribuido que “actúe” como ente inteligente.
3. Elementos de interacción con computadoras que permitan a un humano comportarse como un ser supra-inteligente.
4. Manipulaciones biológicas que permitan mejorar en algunos seres el nivel humano de inteligencia.

Si la singularidad ocurrirá o no, es un hecho que actualmente comienza a ser un tema de debate serio entre científicos, tecnólogos y sociólogos. Aunque no existe un acuerdo general, un consenso propone el inicio de la singularidad como un periodo de cambio hacia la tercera década del siglo XXI.

Gran parte de la discusión sobre la singularidad tecnológica se centra en los desarrollos de una de las áreas más promisorias de las ciencias de la computación, la inteligencia artificial (IA). La IA se puede conceptualizar como la inteligencia de máquinas. Aunque no existe una definición completa se puede decir que se centra en el paradigma del agente inteligente. Este paradigma se cimenta en el hecho que un agente inteligente es un sistema que percibe su entorno y toma acciones que maximizan sus chances de éxito. Este paradigma tiene como eje central, la capacidad del cerebro humano de captar, procesar, analizar y ejecutar un complejo de respuestas que denominamos inteligencia.

Desde mediados de los años noventa del siglo pasado y principios del actual, la inteligencia artificial ha tenido un gran éxito. Ella fue rápidamente adoptada por la industria tecnológica para suministrar soluciones de logística, minería de datos, diagnósticos clínicos y en muchas otras áreas de

¿Cuál es la contribución de la ciencia y la innovación al crecimiento y las metas sociales, mucho más ahora que la crisis mundial afectará todos los sistemas económicos de los países, siendo que los menos desarrollados sufrirán una desaceleración en el crecimiento planeado?

la producción. Este éxito se debió a muchos factores entre los que se pueden citar: el increíble poder de las computadoras actuales; un gran énfasis en la solución de subproblemas específicos; en la creación de nuevos lazos entre ella y otras áreas que trabajan en problemas similares, pero sobre todo un nuevo compromiso por investigar métodos matemáticos sólidos y establecer rigurosos estándares científicos.

Así pues se puede designar a la inteligencia artificial como el resultado de la convergencia tecnológica entre las TIC y las ciencias cognitivas; sin embargo, debido al rápido desarrollo de la convergencia tecnológica, en un futuro podría incluir a la nanotecnología y la biotecnología para producir “bionanoagentes inteligentes” con una potencial mayor capacidad que el cerebro humano actual. Una vez que se haya llegado al punto en que se desarrolle una inteligencia artificial superior a la humana, se entraría en una etapa post humana que probablemente conduzca a la transformación de la especie tal como se concibe actualmente y por ende a un inimaginable cambio en la estructura de las sociedades. Si bien algunos autores piensan que las computadoras no llegarán a ser inteligentes (en el sentido de la prueba de Turing), el camino biológico para llegar a la singularidad tecnológica no parece tener límite alguno. Los desarrollos en interfaces entre los computadores y el cerebro humano hacen predecir que es posible, y potencialmente lograble, una entidad inteligente suprahumana.

Consideraciones finales

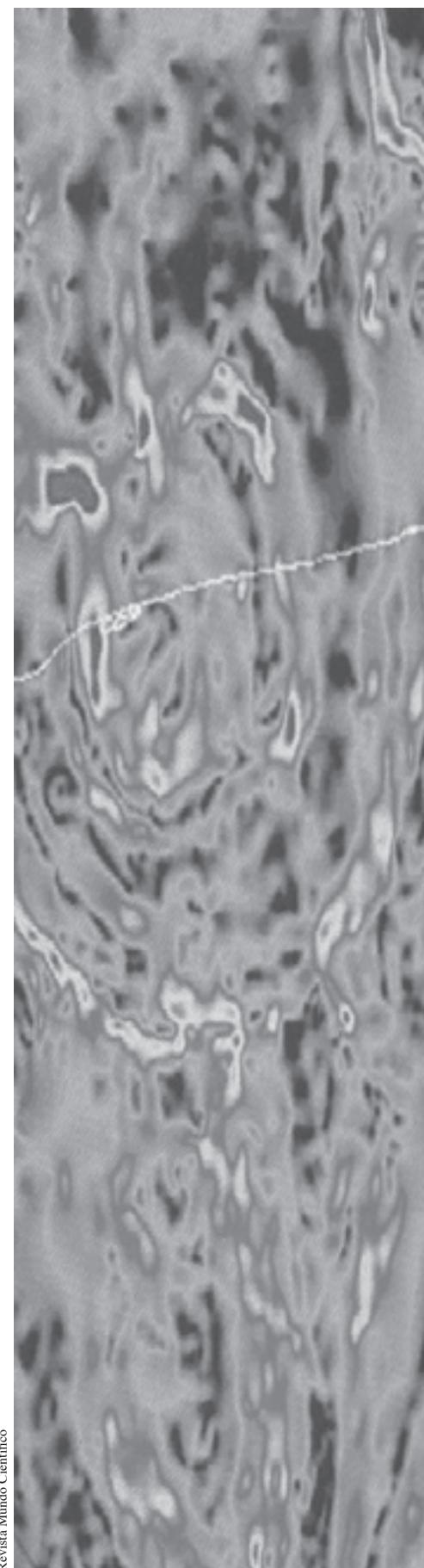
La ciencia y la tecnología en el siglo XXI, podrían tener efectos paradójicos en la consolidación de un mundo sostenido por una arquitectura social unificada por la cultura tecnológica sobre la que se puedan construir un gran número

de subculturas. Ante este panorama, surge un interrogante sobre cómo podría una nueva generación de ciencias sociales (basadas en la convergencia entre las ciencias cognitivas y las ciencias naturales) manejar conflictos en un mundo de diversidades. Nos enfrentamos al reto de si la convergencia tecnológica podrá sustentar la convergencia de las sociedades humanas.

Los patrones globales de ciencia, tecnología e innovación están cambiando con gran rapidez. Ante este hecho, cabe formularnos una serie de preguntas sobre el futuro en el desarrollo de países, que como Colombia, sufren una transición dolorosa hacia una sociedad del conocimiento. ¿Cuáles son las implicaciones para la política de ciencia e innovación?, ¿Qué pasos están dando los países para impulsar sus capacidades en las áreas de ciencia, tecnología e innovación?, ¿Cuál es la contribución de la ciencia y la innovación al crecimiento y las metas sociales, mucho más ahora que la crisis mundial afectará todos los sistemas económicos de los países, siendo que los menos desarrollados sufrián una desaceleración en el crecimiento planeado?

Surgen, en el inicio del nuevo milenio, estrategias novedosas en las que la producción tiene como base procesos sostenibles que demandan una integración entre la conservación del planeta como nuestro hogar y la generación del conocimiento para poder lograrlo. La discusión se centra en el hecho que el poder económico y social del nuevo milenio será el conocimiento aunado a su apropiación social y explotación económica, en una economía del conocimiento (Dahlman, 2007).

Hace un poco más de medio milenio, los ingenieros artistas del renacimiento como Leonardo da Vinci, Filippo Brunelleschi y Ben-



Revista Mundo Científico

Un asteroide fuente de petróleo

venuto Cellini, fueron maestros en varios campos simultáneamente. Hoy, sin embargo, la especialización ha encasillado las artes y la ingeniería y nadie puede especializarse más que en un pequeño fragmento de la creatividad humana. Se visualiza que la convergencia de la ciencia y la tecnología puede iniciar un nuevo renacimiento que incluye una visión holística de la innovación basada en herramientas transformativas, las matemáticas de los sistemas complejos y una comprensión unificada del mundo físico desde la nanoescala hasta la escala planetaria. ☀

Bibliografía

- Atkinson R. 2009. Innovation Nation. Neo-classical economics is bunk. Keynes is dead. What comes next? Democracy. A Journal of Ideas.11: (archivo electrónico)
- Brooks R. The Singularity: A Period Not An Event" Singularity Summit 2007. The Singularity Institute for Artificial Intelligence (SIAI).
- Brundtland G H. 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. United Nation Documents Cooperation Circles. UN. New York
- Castaldi C and Dosi G.2008. Technical Change and Economic Growth: Some Lessons from Secular Patterns and Some Conjectures on the Current Impact of ICT Technologies. LEM Working Paper Series. Italy
- CEPAL. 2008. Transformación productiva. Veinte años después: Viejos problemas, nuevas oportunidades. Sesenta años de La Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL. Nueva York
- Chen JM, Ho CM. 2006. Path to bio-nano-information fusion. Annals of New York Academy of Sciences.1093:123-42.
- Chossudovsky M. 2008. The Great Depression of the 21st Century: Collapse of the Real Economy. Global Research, November 15, (<http://www.golbalresearch.ca>).
- Christley S, Lu Y, Li C, Xie X. 2008. Human genomes as e-mail attachments. Bioinformatics. 7: btn582
- Cypher J. 1987. Military Spending, Technical Change, and Economic Growth: A Disguised Form of Industrial Policy? Journal of Economic Issues. 21:23-27.
- Dahlman C. 2007. "The Challenge of the Knowledge Economy for Latin America". Globalization, Competitiveness and Governability Journal. 1:18-44.
- Del Brutto B. 2007. Sociedades del Conocimiento en los escenarios latinoamericanos, contradicciones y desigualdades. Revista TEXTOS de la Ciber Sociedad, 10:1-15
- Drucker P. 1994. "The Age of Social Transformation". The Atlantic Monthly November: 53-80.
- Fortina P, Kricka LJ, Surrey S, Grodzinski P. 2005. Nanobiotechnology: the promise and reality of new approaches to molecular recognition. Trends in Biotechnology. 23(4):168-73
- Fraser CM, Dando MR. 2001. Genomics and future biological weapons: the need for preventive action by the biomedical community. Nature Genetics. 29(3):253-6.
- Freeman C y Perez C. 1988. "Structural crises of adjustment, business cycles and investment behavior", En Technical Change and Economic Theory. G. Dosi (ed.). Londres,
- Fu P. 2007. Biomolecular computing: is it ready to take off? Biotechnology Journal .2(1):91-101.
- García-Vallejo F y Domínguez M C. 2008. El conocimiento del genoma humano y la sociedad: Un conflicto inevitable. El Hombre y la Máquina. 31:24-39.
- Heylighen F. 2007. The Global Superorganism: an evolutionary-cybernetic model of the emerging network society". Social Evolution & History. 6:58-119.
- Heylighen F. 2007. "Accelerating Socio-Technological Evolution: from ephemeralization and stigmergy to the global brain". En Models, G., Devezas, T. & Thompson, W, "Globalization as an Evolutionary Process: Modeling Global Change, Routledge. London.
- Hilleman MR. 2002. Overview: cause and prevention in biowarfare and bioterrorism. Vaccine. 19:3055-67.
- Horwitz B, Smith JF. 2008. A link between neuroscience and informatics:

- large-scale modeling of memory processes. *Methods*. 44(4):338-47.
- Jorma R. 2000. European Union research programmes with linkages to development. En *Science for the Twenty-First Century: A new commitment*. (Editor: Ana María Cetto). UNESCO. Paris. 313-14
- Kammenga JE, Herman MA, Ouborg NJ, Johnson L, Breitling R. 2007. Microarray challenges in ecology. *Trends in Ecology and Evolution*. 22(5):273-9
- Katz Claudio. 1995. *Tecnología y economía armamentista*. Nueva Sociedad. 138: 96-105.
- Kiefer F, Arnold K, Künzli M, Bordoli L, Schwede T. 2009. The Swiss-Model Repository and associated resources. *Nucleic Acids Research*. 37:D387-92.
- Kurzweil R. 2005. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. Viking Penguin. New York.
- Lynch Z. 2004. *Neurotechnology and society (2010-2060)*. Annals of New York Academy of Sciences. 1013:229-33.
- Mandal D, Bolander ME, Mukhopadhyay D, Sarkar G, Mukherjee P. 2006. The use of microorganisms for the formation of metal nanoparticles and their application. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 69(5):485-92.
- Mann S. 2008. Life as a nanoscale phenomenon. *Angew Chemie International Edition* England. 47(29):5306-20.
- Metcalfe, S. 1995. "The economic foundations of technology policy", *Handbook of the Economics of Innovation and Technical Change*. P. Stoneman (ed.), Oxford, Blackwel.
- Modelski G. 2006. "Global political evolution, long cycles, and K-waves". En T.C. Devezas, Kondratieff Waves (ed.). *Warfare, and World Security*, IOS Press, Amsterdam.
- Modelski G. 2007. "Globalization as Evolutionary Process", En T. Devezas & W. Thompson (eds.). *Globalization as Evolutionary Process. Modeling, Simulating, and Forecasting Global Change*, Routledge, London.
- Montemagno CD. 2004. Integrative technology for the twenty-first century. *Annals of New York Academy of Sciences*. 1013:38-49.
- National Science Board. 2007. A National Action Plan for Addressing the Critical Needs of the U.S. Science, Technology, Engineering, and Mathematics Education System. National Science Foundation USA Publications. October .2007.
- National Science Foundation USA. 2006. "Report Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations: Converging Technologies in Society". M. Bainbridge and M Roco (eds). Springer. Nederland.
- Noah DL, Huebner KD, Darling RG, Waeckerle JF. 2002. The history and threat of biological warfare and terrorism. *Emergency Medicine Clinics of North America*. 20(2):255-71.
- OECD Science, Technology and Industry Outlook 2008. OECD Publishing.
- Pérez C. 2004. "Revoluciones tecnológicas y capital financiero". Siglo XXI editores. Primera Edición en Español. México DF.
- Perez C. 2008. "A vision for Latin America: a resource-based strategy for technological dynamism and social inclusion". Presentado en the ECLAC Program Technology Policy and Development in Latin America. Julio 2008.
- Pisano G. 2006. *Science Business: The Promise, the Reality and the Future of Biotech*. Harvard Business School Press. Boston.
- Roco MC. 2003. Nanotechnology: convergence with modern biology and medicine. *Current Opinions in Biotechnology*. 14(3):337-46.
- Roco, MC. 2004. The Coevolution of Human Potential and Converging Technologies. *Annals of New York Academy of Sciences*. 1013: 178-185
- Sarai N. 2007. Acceleration of sensitivity analysis by distributed computation. Conf Proceedings IEEE of England Medicine Biology Society. 2007:1144-7.
- Silver R, Boahen K, Grillner S, Kopell N, Olsen KL. 2007. Neurotech for neuroscience: unifying concepts, organizing principles, and emerging tools. *Journal of Neurosciences*. 27:11807-19.
- UNESCO. 2006. "Towards Knowledge Societies". United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. First World Report. UNESCO Publishing.
- Vernor V. 1993. *The Coming Technological Singularity: How to Survive in the Post-Human Era*, VISION-21 Symposium sponsored by NASA Lewis Research Center and the Ohio Aerospace Institute, March 30-31, 1993.
- World Bank. 2008. *Reshaping Economic Geography*. World Development Report 2009. Washington.