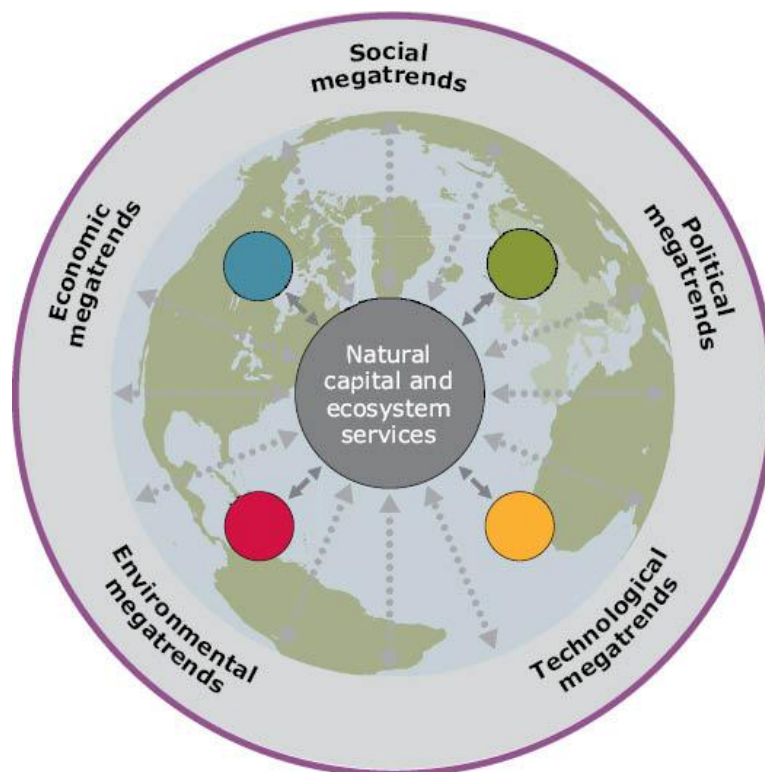


PRINCIPALES RETOS GLOBALES O MEGATENDENCIAS [*Megatrends*]

¿ Hacia dónde vamos ?
y
¿ hacia dónde nos llevan ?



Environment policy priority areas

- Climate change
- Nature and biodiversity
- Natural resources and waste
- Environment, health and quality of life

The European Environment – State and Outlook 2010: Synthesis. Chapter 7: «Environmental challenges in a global context». Figure 7.2; page 137: A selection of global drivers of change relevant for the European environment.
http://www.eea.europa.eu/soer/synthesis/synthesis/images/SOER-Fig_7-2-enviro-c_fmt.jpeg

ÍNDICE

Megatendencias

Megatendencias «globales»

Actores que pueden cambiar el juego

Mundos posibles

Tecnología global

Biotechnología

Nanotecnología

Materiales

TIC

Aplicaciones Tecnológicas Integradas (TA) de primer orden

AT de segundo orden

Aplicaciones en salud y en medicina

Aplicaciones comerciales

Aplicaciones gubernamentales y militares

Condicionantes

Características específicas

Catálogo TA

Biotechnología, bionanotecnología y ciencias biomédicas

Nanotecnología

Tecnología de la información

Previsiones

National Science Foundation USA: *A nine-point plan*

Investigación

Procesos

MIT: *The Third Revolution*

Resumen

Escalado

Referencias mínimas

Generales

Temáticas

Fuera de contexto pero merecen la pena

«The increasingly important role of science in the provision of health care, and the difficult social and ethical issue that will stem from our newfound ability to determine our futures, makes it essential that all of us become more scientifically literate. Our politicians must understand the rudiments of scientific evidence, and society as a whole must be sufficiently well informed to understand how best to achieve a healthy life and to participate in debating the complex issues that will continue to be posed by advanced in biological and medical research. This movement toward greater scientific awareness will have to start in schools».

Sir David Weatherall
Regius Professor of Medicine – Univ. Oxford
Science and the Quiet Art. Medical Research & Patient Care, 1995.

«New knowledge is often the best way of dealing with old problems. We see our space effort as relevant for National integration, education and communication, and the fuller understanding of the vagaries of the monsoon which rules our economic life. Mapping from the sky also gives information about natural resources. Oceanography augments food and mineral supplies. Modern genetics open out vast possibilities.[...] It is an inherent obligation of a great country like India, with its traditions of scholarship and original thinking and its great cultural heritage, to participate fully in the march of science which is probably mankind's greatest enterprise today».

Indira Gandhi
US Congress, July 27 1982.
(India puso en órbita su primer satélite *Rohini* el 18-julio-1980).

«In these days of complex problems and high-tech solutions, it is essential that those who understand the laws of nature be more involved in the making of the laws of man».

Thomas H. Kean (Governor of New Jersey)
From speech at the Nat. Acad. Sci. USA, 1989.

Hablar de retos globales o «megatendencias» —*megatrends*— exige una mega-apertura intelectual hacia aspectos que suelen estar alejados de nuestros intereses en el día a día. Los atractores están próximos; afectan al oficio, protagonizan cabeceras editoriales o alimentan el ruido de fondo coloquial. Modas o tendencias en cualquier caso minitendencias relevantes. La espectacularidad de los avances en tecnología médica, automoción, megadatos (*big data*), inteligencia artificial y sus implicaciones individuales y sociales, fundamentalmente legales, nos aleja, en ocasiones, de aspectos más globales con fuertes repercusiones en el futuro compartido.

Es relativamente fácil listar megatendencias en cuidados de la salud: ómicas, medicina regenerativa, imagen médica, dispositivos, telesistencia o historia clínica digitalizada. Pero ¿son todas ellas megatendencias globales? Qué sucede con el error médico o la medicina complementaria; acaso no son problemas globales. ¿Y el contexto agropecuario? También nos son próximas la inteligencia artificial, la propiedad intelectual... y el terrorismo.

Megatendencias son fuerzas globales transformadoras que impactan en todo el planeta.

Las megatendencias implican aspectos sociopolíticos y tecnologías, ambos globales pero desde puntos de vista diferentes.

El *National Intelligence Council* USA (NIC) distingue entre megatendencias globales, actores que pueden cambiar el juego y mundos posibles. Por su parte, el informe de RAND para NIC se centra en tecnología global.

Megatendencias «globales»:

- Potenciación de las capacidades individuales. Tal vez la más importante porque será causa y efecto de la mayoría del resto de megatendencias: expansión de la economía global, desarrollo de los países en vías de desarrollo y difusión de las tecnologías capacitadoras. Reducción de la pobreza, crecimiento de la clase media, expansión y mejor educación y formación, generalización del uso de las nuevas tecnologías de información-comunicación y mejor calidad de vida y avances en la atención a la salud.
- Remodelación de los patrones demográficos. Envejecimiento de la población a nivel mundial. Reducción de los países con gente joven. Declinar del crecimiento económico en los países "envejecidos". Incremento de las migraciones internacionales e internas; estas últimas determinarán que el 60% de la población se asentará en megaciudades haciendo del planeta un conglomerado de áreas urbanas. Las primeras garantizarán un flujo permanente de trabajadores; de ellos, los más cualificados tendrán el pie en más de un país.
- Descentralización del poder. Pérdida del poder hegemónico que lo asumirán entramados y coaliciones en un mundo multipolar.
- Incremento del nexo agua, alimentos. En combinación con el cambio climático tendrán efectos marcados en el desarrollo global los próximos 15-20 años. Crecimiento en la demanda de los recursos naturales básicos por una población en incremento (de 7.1×10^9 a 8×10^9) en un mundo deslocalizado en esos recursos (la mayoría habitará áreas con recursos escasos de agua). Consolidación del gas natural como alternativa.

Actores que pueden cambiar el juego:

- Crisis de la economía global. Los desajustes entre los jugadores con diferentes intereses económicos y la volatilidad global ¿terminará en un colapso económico internacional?, o la mayor multipolaridad ¿dará lugar a una mayor elasticidad y resistencia del orden económico global?
- La brecha de gobernanza. La gobernanza empieza en casa pero...: las megaciudades reclamarán mayor control local y descentralización del gobierno nacional; mayor número de países se moverán hacia una mayor democracia, teniendo la democratización China repercusiones imprevisibles. Los tratados de comercio exigirán mayor integración política interregional y cooperación multilateral global. Los gobiernos e instituciones supranacionales e internacionales ¿serán capaces de adaptarse con la rapidez suficiente para enjaezar los cambios o sucumbirán a ellos? Las nuevas tecnologías desplazarán los papeles entre individuos y estados. ¿Nuevas formas de gobierno? ¿Nuevo orden regional?
- Potencial incremento de conflictos. Los cambios rápidos y los desplazamientos del poder ¿incrementarán los conflictos intra e interestados? Nuevas formas de fricción en un mundo con recursos limitados, en especial por el agua. Disponibilidad incontrolada de tecnologías letales: armamento de impacto selectivo, ciberinstrumentación y bioterrorismo. Posibilidad de rápido escalado de conflictos locales con consecuencias globales.
- Impactos de nuevas tecnologías. La singularidad tecnológica ¿llegará a tiempo para relanzar la productividad económica y resolver los problemas derivados por la esquilmación de recursos, el cambio climático o las enfermedades crónicas de una población envejecida sumida en una despiadada urbanización? Nuevas tecnologías —robótica, impresión 3D (manufacturación por adición), otras tecnologías avanzadas de manufacturación autosuficiente— incidirán en la obtención de energías alternativas (en especial energías solar y bioderivada), almacenamiento energético, agricultura de precisión, precios de los alimentos, disponibilidad de agua, fármacos antienviejimiento o potenciadores de las capacidades físicas y psíquicas, control de plagas humanas y agropecuarias o ciudades sostenibles automantenidas.

Mundos posibles:

- Reversión de papeles. El posible colapso de EE UU por la confluencia de diversos problemas fiscales, y el incremento de las tensiones entre China e India, India y Pakistán y Suníes y Chiíes provocará una desaceleración económica y un frenazo tecnológico.
- Fusión. Países emergentes y en desarrollo trabajarán juntos para impulsar una revolución tecnológica para reconstruir sus economías, conduciendo a una nueva edad de oro tecnológica. Un flujo incrementado de fuerza del trabajo contribuirá a construir un mundo más cooperativo.
- Fragmentación. Una economía global a varias velocidades es la amenaza para un mundo sin capacidad de acuerdos políticos generalizados que hagan frente a los problemas globales. El riesgo de conflicto, incluso entre las grandes potencias, incrementa, pero el conflicto no es inevitable.

Por otra parte, el Prefacio de *The Global Technology Revolution 2020, In-Depth Analyses* —encargado a RAND por el *National Intelligence Council USA*— comienza: « *Various technologies —including biotechnology, nanotechnology (broadly defined), material technology, and information technology— have the potential for significant and dominant global impacts by 2020.*»

Tecnología global:

Vivimos un tiempo de uso intensivo de tecnologías diversas en todos los aspectos de la vida, desde radiotransmisores o nanodispositivos ingeribles para diagnóstico o tratamiento médicos hasta teléfonos celulares multifuncionales que realizan fotografías digitales que vierten en las redes sociales y que emiten y captan correo electrónico.

El mundo está inmerso en una revolución tecnológica global que integra desarrollos en biotecnología, nanotecnología y tecnologías de materiales y de información, a un ritmo acelerado. El análisis en paralelo de los datos masivos que generan los desarrollos indicados indica que la tecnología, a medio plazo, continuará integrando desarrollos a partir de la multitudinaria dispersión de especialidades científico-técnicas en una convergencia transc científica —aplicaciones tecnológicas integradas (*integrated Technology Applications, TA*)— que tendrá efectos profundos en la sociedad. La evaluación de tal efecto tiene en cuenta los sectores sociales afectados por cada TA, su viabilidad técnica, posibilidad de implementación y globalización. Sobre todo ello, las tendencias dominantes responden a una serie de previsiones; esto es, del examen de tendencias e indicadores de posibles desarrollos futuros (no de predicciones o de pronósticos).

Las aplicaciones tecnológicas afectan a la sociedad a través de las funciones que llevan a cabo (por ej. salud, alimentación, cobijo, control del clima, transporte, comunicación o computación). El ritmo acelerado del desarrollo tecnológico es importante porque ha puesto a disposición de más gente nuevas funciones (por ej. comunicación e información vía Internet), ha mejorado la eficiencia y temporalidad de tecnologías ya existentes (por ej. bioensayos *lab-on-a-chip* o imagen médica por resonancia magnética funcional) o ha posibilitado una serie de aplicaciones multifuncionales (por ej. computadoras vestibles o acelerómetros basados en sistemas microelectromecánicos [MEMS] que controlan los airbag o la presión de los neumáticos en los automóviles).

Los siguientes desarrollos, sin ser exhaustivos, muestran algunas de las tendencias y aplicaciones más destacadas con la vista puesta años por delante:

a) Biotecnología:

- Puesta en escena de numerosos y diferentes bioensayos simultáneos sobre una única muestra, que permitirán la identificación analítica en tiempo real a partir de mínimas cantidades de muestra (“microgota”) con fines de diagnóstico médico o forense.
- Medicina personalizada y de precisión sobre la base de bancos de megadatos de información obtenida de millones de pacientes, y de secuenciación genómica ultrarrápida y en paralelo.
- Desarrollo de vectores genéticamente modificados (GM) con el fin de obtener descendencias estériles o incapaces de comportarse como vectores transmisores de enfermedades.

- Obtención de cosechas GM resistentes a sequía y vectores, con impacto especial en el mundo subdesarrollado.
- Diseño de nuevos fármacos mediante simulación en computadora (“*in silico*”) y la comprobación de posibles efectos secundarios indeseables en sistemas modelos ensamblados en chips (“*lab-on-a-chip*”).
- Administración dirigida de fármacos mediante reconocimiento molecular.
- Prótesis y ortesis que simulen, restauren o potencien funciones biológicas.

b) Nanotecnología:

- Nuevas familias de sensores miniaturizados muy sensibles y selectivos químicos y biológicos.
- Optimación en la potencia y capacidad de microbaterías.
- Sensores de uso individual, especialmente para personal de emergencias y militar.
- Ubicuidad de dispositivos computarizados embebidos en bienes comerciales.
- Dispositivos de monitorización médica personal vestibles con registro de datos y capacidad de comunicación.
- Nanoestructuras funcionales para control de administración de fármacos y optimación de prótesis y ortesis.
- Globalización de vigilancia y monitorización.
- Nanotecnologías comodín (en ciernes o “*wildcard*”) o aplicaciones de nanotúbulos de carbono o semiconductores y nanocircuitos metálicos como elementos funcionales individuales de diseño para circuitos electrónicos, y manufacturación utilizando métodos moleculares o biológicos. Otras aplicaciones “*wildcard*”: robots humanoides e implantes conectores directos intracerebrales.

c) Materiales

- Fábricas que integran diversas fuentes de energía, electrónica y fibra óptica.
- Ropa que responde a estímulos externos como cambios de temperatura o presencia de sustancias específicas.
- Fabricación a demanda de componentes y productos pequeños para uso personal.
- Adopción generalizada de métodos de fabricación no contaminante (“verde”).
- Materiales composite o con recubrimiento nanoestructurado con incremento significativo en tenacidad, fortaleza, y resistencias mecánica y a la corrosión.
- Electrónica orgánica para incrementar la luminosidad y brillo de sistemas y dispositivos.
- Fabricación masiva de células solares utilizando material composite basados, en parte, en materiales nanoestructurados, orgánicos o biomiméticos.
- Sistemas de descontaminación y depuración de agua de distinta procedencia mediante filtros nanoestructurados y membranas activadas.
- Diseños catalíticos para procesos químicos basados en computación ultrarrápida combinada y cribado de materiales.
- Tejidos multifuncionales ingenierizados *in vivo* para formar armazones biodegradables.

d) TICs

- Globalización —incluido el medio rural o la “última milla”— de Internet inalámbrica.
- Computadoras vestibles o ponibles para control de dispositivos médicos, diversas aplicaciones como sistemas de juegos.
- Bancos de megadatos masivos, con seguridad robusta, para múltiples aplicaciones (por ej. registros médicos poblacionales o secuenciación genómica universalizada).
- Microdispositivos de almacenamiento de megadatos.
- Optimización de localización y estudio textual, semántico o cultural universal.
- Etiquetado RFID para control del tráfico de mercancías, patrones de consumo o seguimiento personal con fines de seguridad.
- Universalización de la biométrica para acceso restringido a diferentes fuentes de información.
- Red ubicua de sensores.
- Interfaces no manuales.

Las aplicaciones tecnológicas integradas que representan tendencias dominantes de cara al medio plazo pertenecen, en términos generales, a las áreas de la biotecnología, nanotecnología, materiales e información y comunicación. Diversos algoritmos eligieron 16 entre 56 TA; para ello se tuvo en cuenta diferentes aspectos de cada una de las TA:

- Difusión global o moderada (regional) de la tecnología
- Sectores sociales afectados: agua, alimentación, paisaje, población, gobernanza,
- Estructura social, energía, salud, desarrollo económico, educación, defensa/conflicto y medio ambiente/contaminación.
- Viabilidad del desarrollo de la técnica.
- Viabilidad de su implantación.

A partir de todo ello:

01. Administración dirigida de fármacos.
02. Bioanálisis en tiempo real.
03. Casas autónomas económicas.
04. Criptografía cuántica.
05. Comunicación inalámbrica de la "última milla".
06. Cultivos genéticamente modificados (*genetically modified*: GM).
07. Dispositivos de comunicación para acceso global a todo tipo de información por cualquier persona, en cualquier lugar, en cualquier momento.
08. Captación económica de energía solar.
09. Filtros y catalizadores para descontaminación y purificación de agua.
10. Identificación global por radiofrecuencia (*radio frequency identification*: RFID) de individuos y productos.
11. Ingeniería de tejidos vivos.
12. Manufacturación ecológica.
13. Optimización de métodos diagnósticos y quirúrgicos.
14. Sensores ubicuos (inteligencia ambiental).
15. Tecnologías vestibles o ponibles [tejidos reactivos, sensores y PC].
16. Vehículos híbridos.

Las otras 40 aplicaciones tecnológicas pueden englobarse en tres categorías generales:

a) Aplicaciones en salud y en medicina:

- Desarrollo de métodos de diagnóstico y fármacos, inmunofarmacología, psicofarmacología, diseño computacional o *in silico* de fármacos, cribado genético masivo, selección genética de la descendencia, xenotrasplantes, prótesis y ortesis avanzadas, microchip intracerebrales, robótica hospitalaria, medicinas exponencial y de precisión.

b) Aplicaciones comerciales:

- Modificación genética de vectores para control de plagas, textiles resistentes, drones,
- Procedimientos de transporte no convencionales, materiales y sistemas inteligentes y nanoestructurados que respondan a estímulos externos (materiales morfoplásticos), interfaces no manuales, desarrollo de la domótica, libros *print-to-order*.

c) Aplicaciones gubernamentales y militares:

- Desarrollo de armamento CBR, biometría, contraterrorismo *high-tech*, super-soldados.

Estas tendencias dominantes están sujetas a condicionantes tanto de apoyo como auténticas barreras:

- Coste y financiación
- Legislación y políticas
- Valores sociales y opinión pública
- Infraestructuras
- Privacidad
- Utilización de recursos y respeto hacia el medio ambiente
- Capacidad de actuación
- Inversión en I+D
- Educación, formación y cultura
- Población y demografía
- Gobernanza y estabilidad política

El desarrollo tecnológico acelerado —la «aceleración acelerada» del conocimiento en el sentir de Richard Buckminster Fuller— exige una serie de medidas: desaparición de las barreras a la educación y formación y garantías de estabilidad política y legislativa. Las políticas públicas pueden influir significativamente en la implementación tecnológica. La capacidad de mantener el progreso científico y tecnológico exige atención y acción en los aspectos éticos, de seguridad y de incidencia pública (religión, costumbres); así como desarrollar la capacidad institucional, humana y física (infraestructuras), incluyendo una gobernanza eficaz y honesta. Debe tenerse en cuenta que las tendencias dominantes pueden exigir políticas públicas que generen fuertes y en ocasiones conflictivas opiniones y reacciones dentro y entre países, regiones o grupos étnicos, religiosos o culturales. La solución de conflictos es inherente a las tendencias dominantes.

Tampoco debe olvidarse: desde el lado humano, curvas de aprendizaje y error humano; y desde la tecnología, fiabilidad y seguridad tecnológicas.

La selección de las megatendencias señaladas está influenciada por el hecho de que son preocupaciones de hoy y lo serán en el futuro para conseguir sociedades más prósperas en la totalidad del planeta, aunque sus características específicas e importancia pueden diferir en el tiempo y espacio:

- Promover el desarrollo económico en el medio rural.
- Promover el crecimiento económico y el comercio internacional.
- Mejorar la salud pública.
- Mejorar la salud personal.
- Reducir la utilización de recursos naturales y mejorar la salud medioambiental.
- Potenciar el control del terrorismo.
- Reforzar la seguridad ciudadana y en el hogar.
- Influir en la gobernanza y en la estructura social.

En resumen, el “catálogo” TA, aunque teniendo en cuenta las diferencias regionales, en ocasiones insalvables por el momento, incluye:

a) Biotecnología, bionanotecnología y ciencias biomédicas

- Información biológica: genómica, proteómica y otras tecnologías
- Aplicación de la información biomédica
- Impactos del acceso a la avalancha de información
- Organismos modificados genéticamente
- Desarrollo de terapias y fármacos
- Biotecnologías reproductivas
- Ingeniería biomédica
- Biomimética.

b) Nanotecnología

- Sensores
- Almacenaje de energía
- Electrónica (circuitos integrados)
- Manufacturación nanotecnológica.

c) Ciencia e ingeniería de materiales

- Materiales inteligentes: piezoeléctricos, magnetosensibles, con memoria
- Biomateriales: integración de materiales inorgánicos y biológicos
- Ingeniería de tejidos, sustitutos de la sangre, biomateriales supramoleculares
- Nanomateriales
- Bionanomateriales, nanocomposites y nanoestructuras funcionales
- Filtros y catálisis: superficies y poros de diseño
- Fibras y textiles
- Electrónica orgánica: conductores flexibles
- Manufacturación: diseño computarizado e impresión 3D (ingeniería por adición).

d) Tecnología de la información

- Convergencia de tecnologías
- Captación ubicua de datos: sensores, biométrica, cámaras, GPS.
- Tecnología de bases de datos
- Dispositivos y acumuladores
- TIC “oportunista”
- Privacidad y anonimato.

e) Previsiones

- Inteligencia artificial
- Robótica
- Ingeniería recapacitante
- Tecnología educativa
- *Proxy Bot*
- Robot científicos
- Computación cuántica.

Sirva a modo de colofón la reciente propuesta de la directora de la *National Science Foundation* USA (NSF) para que seis “fronteras de investigación” y tres “procesos” cambien el perfil futuro de la Agencia: *A nine-point plan*. Las seis ideas de investigación intentan estimular la actividad transdisciplinar (transversal) y asumen importantes retos sociales. Los tres procesos incluyen una financiación flexible que consiga arraigar ideas nuevas y frescas. La nueva agenda de la NSF debe servir de atractor y motor para el potencial global de la Nación.

Ideas para futuras inversiones de la NSF:

a) Investigación:

- Aprovechar datos por la ciencia y la tecnología del siglo XXI. El incremento exponencial del volumen, variedad y velocidad de nueva información fuerza una transformación profunda de la investigación en todos los campos de la ciencia y la tecnología. Surgen nuevas preguntas y aparecen nuevos retos. Todo ello exige renovados esfuerzos en el desarrollo de la nueva ciencia sobre datos, en especial dotarla de recursos en un ecosistema de ciberestructuras.
- Organizar la nueva frontera entre humanos y tecnología. Las tecnología —sensores, comunicación, computación o inteligencia artificial— está en nuestro ambiente y en nosotros mismos. Ello exige un contexto transversal que facilite la construcción de sistemas sociales ingenierizados.
- Comprender las reglas de la vida. Una de las grandes fallas del conocimiento biológico es la incapacidad de predecir el fenotipo de una célula o de un organismo a partir del genotipo y ambiente en el que se desarrolla. Los rasgos de un organismo son propiedades emergentes de multitud de tipos de procesos de información en múltiples escalas: biofísica, genómica, evolutiva, ecológica, medioambiental o temporal. Ello por la complejidad de la información y los procesos no lineales implicados. Desentrañar la complejidad fenotípica requiere la convergencia de biología, computación, matemáticas, ciencias físicas o del comportamiento e ingeniería.

- Salto cuántico. La mecánica cuántica es un concepto poderoso que ha conducido a numerosas transformaciones tecnológicas. La siguiente revolución cuántica explotará fenómenos cuánticos como *superposición* —determinación simultánea de los diferentes valores que posee simultáneamente una cantidad observable—, *entrelazamiento* [*entanglement*] —conjunto de partículas que pierden su individualidad para convertirse en un sistema con una función única— o la reducción de la incertidumbre de una propiedad de un observable mediante la técnica denominada *squeezing* o apretujamiento cuántico (pero a costa de incrementar la complementaria). Todo ello permitirá desarrollar sensores, computadoras, comunicaciones o simuladores cuánticos.
- Navegando el Nuevo Ártico. El Ártico se calienta a doble velocidad que el resto del Planeta. La pérdida de hielo y otros cambios permite el acceso a esta frontera y sus recursos naturales. Se pretende obtener datos precisos a diferentes escalas espacio-temporales que permitan comprender y simular los impactos medioambientales y económicos del sistema Ártico sobre el sistema Tierra.
- Ventanas al Universo: la era de una astrofísica multimensajero. La exploración del cosmos utilizando diferentes *mensajeros* —detección de ondas electromagnéticas, neutrinos y ondas gravitacionales— permitirá contestar algunas de las preguntas perennes de la humanidad.

b) Procesos:

- Investigación más convergente: *Convergencia*. La NSF puntualiza: “*The key message of convergence, however, is that merging ideas, approaches, and technologies from widely diverse fields of knowledge at a high level of integration is one crucial strategy for solving complex problems and addressing complex intellectual questions underlying emerging disciplines.*”
- Infraestructura para investigación a escala media. Existe una brecha entre la disponibilidad de tecnología estándar —laboratorio biotecnología— y de grandes infraestructuras —gran colisionador de hadrones, LIGO— y aquellas que exigen gran flexibilidad y capacidad de respuesta ante las nuevas exigencias, fundamentalmente ciberinfraestructuras y aquellas otras que mejoran el rendimiento de aquellas.
- NSF 2050: *The Integrative Foundational Fund*. Asegurar la continua exploración de las fronteras del conocimiento y de áreas de alto riesgo que pueden no estar contempladas en la miríada de programas altamente cualificados en la actualidad.

Ya en 2007, sobre la base del "*Enhancing Support of Transformative Research at the National Science Foundation*", el *National Science Board* adoptó la siguiente definición: “*Transformative research involves ideas, discoveries, or tools that radically change our understanding of an important existing scientific or engineering concept or educational practice or leads to the creation of a new paradigm or field of science, engineering, or education. Such research challenges current understanding or provides pathways to new frontiers.*”

A modo de resumen sirva la presentación al MIT – *The Third Revolution*: «*The past decade has seen the evolution of new interdisciplinary research areas: bioninformatics, synthetic biology, nanobiology, computational biology, tissue engineering, biomaterials, and system biology are examples. These new fields share a comparable, underlying research model, convergence, and there is a need to see them as a unity in order to ensure their continued progress. The successful application to this model will require not simply collaboration between disciplines, but true disciplinary integration .*»

En cualquier caso, es imposible predecir qué proyectos obtendrán resultados realmente transformadores antes de que hayan concluido.

*«Predecir es muy difícil,
sobre todo si se trata del futuro».*

Atribuida a Niels Bohr.

Escalado:

- Disciplinariedad
 - Multidisciplinariedad
 - Interdisciplinariedad
 - Transdisciplinariedad
 - Transciencia
 - Convergencia.
-

Referencias mínimas:

Generales:

- American Association for the Advancement of Science. *Science for All Americans. Project 2061*. New York, Oxford: Oxford University Press, 1990.
- Leroy Augenstein. *Come, Let Us Play God*. New York: Harper & Row, Publishers, 1969.
- Buckminster Fuller Institute. <https://bfi.org/>. [Acceso: 15/05/16].
- EY Building a better working world. *Megatrends 2015. Making Sense of a World in Motion*. Ernst & Young Global Ltd., UK 2015. [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-megatrends-report-2015/\\$FILE/ey-megatrends-report-2015.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-megatrends-report-2015/$FILE/ey-megatrends-report-2015.pdf). [Acceso: 15/05/16].
- KPMG cutting through complexity. *Future State 2030. The Global Megatrends Shaping Governments*. KPMG International, 2014. <https://www.kpmg.com/Global/en/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/future-state-government/Documents/future-state-2030-v3.pdf>. Acceso: 15/05/16].
- David C. Krakauer. "Transcience. Disciplines and the Advance of Plenary Knowledge". *SFI Bulletin* 2011; 25:0-2.
- Jeffrey Mervis. Science Policy. "NSF director unveils big ideas". *Science* 2016; **352** (6287): 755-756.
- National Academies Press. www.nap.edu. [Acceso: 15/05/16].
- National Intelligence Council USA. *Global Trends 2030: Alternative Worlds*, December 2012. https://www.dni.gov/files/documents/GlobalTrends_2030.pdf. [Acceso: 15/05/16].
- National Science Foundation. *Transformative Research*. http://www.nsf.gov/about/transformative_research/. [Acceso: 15/05/16].
- National Science Foundation. *Ideas for Future Investment*. <http://www.sciencemag.org/sites/default/files/documents/Big%20Ideas%20compiled.pdf>. [Acceso:15/05/16].
- PWC. *Five Global Megatrends*. PwC network 2015-2016. <http://www.pwc.com/gx/en/issues/megatrends.html>. [Acceso: 15/05/16].
- Philip A. Sharp, Charles C. Cooney, Marc A. Kastner, Jacqueline Lees, Ram Sasisekharan, Michael B. Yaffe, Sageenta N. Bhatia, Tyler E. Jacks, Douglas A. Lauffenburger, Robert Langer, Paula T. Hammond, Mriganka Sur. *The Third Revolution: The Convergence of the Life Sciences, Physical Sciences, and Engineering*. Massachusetts Institute of Technology, 2011. <http://dc.mit.edu/sites/dc.mit.edu/files/MIT%20White%20Paper%20on%20Convergence.pdf>. [Acceso: 15/05/16].
- Richard Silbergliitt, Philip S. Antón, David R. Howell, Any Wong & N. Gassman, B.A. Jackson, E. Landree, S.L. Pfleeger, E.M. Newton, F. Wu. *The Global Technology Revolution 2020, In-Depth Analyses. Bio/Nano/Materials/Information Trends, Drivers, Barriers, and Social Implications*. RAND National Security Research Division / Prepared for the National Intelligence Council, Santa Monica, CA, 2006. http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/technical_reports/2006/RAND_TR303.pdf. [Acceso: 15/05/16].

Temáticas:

- Erez Aiden & Jean-Baptiste Michel. *Uncharted. Big Data as a Lens on Human Culture*. New York: Riverhead Books, 2013.
- Committee on Key Challenge Areas for Convergence and Health. Board on Life Sciences. Division on Earth and Life Studies. *Convergence. Facilitating Transdisciplinary Integration of Life Sciences, Physical Sciences, Engineering, and Beyond*. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2014. <http://www.nap.edu/catalog/18722/convergence-facilitating-transdisciplinary-integration-of-life-sciences-physical-sciences-engineering>. [Acceso: 15/05/16].
- IBM Watson. <http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/ibmwatson/>. [Acceso: 15/05/16].
- DARPA: *Defense Advanced Research Projects Agency*. <http://www.darpa.mil/>. [Acceso: 15/05/16].
- Francis Fukuyama. *Our Posthuman Future. Consequences of the Biotechnology Revolution*. New York: Picador, 2002.
- Jason Jerald. *The VR Book. Human-Centered Design for Virtual Reality*. San Francisco, CA: Morgan & Claypool Publishers-ACM, 2015.
- Bartalan Meskó. *The Guide to the Future of Medicine: Technology AND The Human Touch*. Webicina Kft., 2014.

- Bartalan Meskó. *The Guide to the Future of Medicine. Binging Disruptive Technologies to Medicine & Healthcare*. <http://medicalfuturist.com/wp-content/media/2013/10/the-guide-to-the-future-of-medicine-white-paper.pdf>. [Acceso: 15/05/16].
- Stuart Russell & Peter Norvig. *Artificial Intelligence. A Modern Approach*, 3rd. ed. New Jersey: Pearson Education, Inc. 2010. [http://stpk.cs.rtu.lv/sites/all/files/stpk/materiali/MI/Artificial% 20 Intelligence % 20 A%20Modern%20Approach.pdf](http://stpk.cs.rtu.lv/sites/all/files/stpk/materiali/MI/Artificial%20Intelligence%20A%20Modern%20Approach.pdf). [Acceso: 15/05/16].
- Stephen C. Schimpff. *The Future of Medicine. Megatrends in Health Care that will improve your quality of life*. Nashville, Tennessee: Thomas Nelson, 2007.
- Stephen C. Schimpff. *The Future of Health-Care Delivery: Why it must change and how it will affect you*. Dulles, Virginia: Potomac Books, Inc., 2012.
- Toby Segaran & Jeff Hammerbacher, eds. *Beautiful Data. The Stories Behind Elegant Data Solutions*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media Inc., 2009.
- Singularity University. <http://singularityu.org/>. [Acceso: 15/05/16].
- Brian Tomasik. *Thoughts on Robots, AI, and Intelligence Explosion*. [1st. written: 14 may 2014; last update: 7 May 2016]. Foundational Research Institute. <http://foundational-research.org/thoughts-on-robots-ai-and-intelligence-explosion/>. [Acceso: 15/05/16].
- Julian F.V. Vincent, Olga A. Bogatyreva, Nikolaj R. Bogatyrev, Adrian Bowyer & Anja-Karina Pahl. "Biomimetics: its practice and theory". *Journal of Royal Society Interface* 2006; 3: 471-482. <http://rsif.royalsocietypublishing.org/content/royinterface/3/9/471.full.pdf>. [Acceso: 15/05/16].

Fuera de contexto pero merecen la pena:

- Bryan Appleyard. *The Brain Is Wider than the Sky. Why Simple Solutions Don't Work in a Complex World*. London: A Phoenix Paperback, 2011.
- George Dyson. *Turing's Cathedral. The Origins of Digital Universe*. London: Penguin Books, 2012.
- David Christian, Cynthia S. Brown & Craig Benjamin. *Big History. Between Nothing and Everything*. New York: McGraw-Hill Education, 2014.
- Leon M. Lederman. *Quantum Physics for Poets*. New York: Prometheus Books, 2011.
- John V. Pickstone. *Ways of Knowing. A New History of Science, Technology and Medicine*. Chicago: The University of Chicago Press, 2001.
- David Weatherall. *Science and the Quiet Art. Medical Research & Patient Care*. Oxford: Oxford University Press, 1995.

Pedro R. García Barreno
Mayo 2016.