

INTEGRACIÓN CULTURAL: TRANSCIENCIA ¹ o CONVERGENCIA

Pedro R. García Barreno
MD, PhD, MBA
de la Real Academia de Ciencias
de la Real Academia Española

«No estudiamos temas, sino problemas;
y los problemas pueden atravesar los límites
de cualquier objeto de estudio o disciplina [...]»
Somos estudiosos de *problemas*, no de disciplinas» ².
Karl R. Popper (1902-1994)

Este ensayo surge de dos referencias claves para entender *el largo y sinuoso camino* ³ por el que avanza la Cultura hacia mañana. *Transcience. Disciplines and the advance of plenary knowledge* ⁴ pretende divulgar esta aproximación a los problemas; el artículo de Krakauer lo encabeza una frase de Arthur Schopenhauer: «*Every man takes the limits of his own field of vision for the limits of the world*» ⁵.

Y *Big History: Between Nothing and Everything* ⁶, «el primer libro de texto en el nuevo campo interdisciplinar denominado *big history*», escriben sus autores; una aproximación para «comprender, de manera unificada, interdisciplinar, la historia del Cosmos, la Tierra, la Vida y la Humanidad», tal como señala la *International Big History Association* ⁷.

A estas dos obras acompaña un concepto integrador que se incorporó pisando los talones a los anteriores: «*convergence*», de la mano del MIT ⁸.

La interdisciplinariedad ha representado uno de los logros más inspirados y fértiles; la senda más eficaz, hasta el momento, hacia el conocimiento. Como estrategia de formación y acción ha dado sus frutos en temas tan diversos como la preservación del medio ambiente, el logro de una vida más sana y prolongada, la consecución de nuevos descubrimientos e innovadoras tecnologías o una mejor comprensión de nuestro lugar en el espacio y en el tiempo.

A pesar de beneficios tan aparentes de la investigación interdisciplinar (IID), quienes en ella se interesan sufren, a menudo, obstáculos y decepciones. Algunos se deben a problemas de comunicación personales o a barreras «culturales»; otros a la «tradicición» de las instituciones académicas de organizarse en departamentos disciplinares, una tradición que se repite en diversas organizaciones, sociedades profesionales o revistas científicas.

La investigación interdisciplinar —plural en métodos y objetivos— es una manera de investigar por medio de equipos o de individuos que relacionan información, datos, técnicas, herramientas, perspectivas, conceptos y/o teorías que corresponden, «clásicamente», a dos o más disciplinas o áreas de conocimiento; ello con el propósito de avanzar en conceptos fundamentales o de resolver problemas cuyas soluciones van más allá de una disciplina o área de la práctica dominante.

La aproximación interdisciplinar, ingrediente común de diversos aspectos de la actividad humana, presenta síntomas de agotamiento; ello debido a la influencia de cuatro poderosos «atractores»: la complejidad inherente de la naturaleza, el deseo de abordar problemas y cuestiones que

no se confinan a una sola disciplina, la necesidad de resolver conflictos sociales y el «poder» de las nuevas tecnologías. La IID intenta amalgamar —aunque solo los relacionan— intereses, visiones y posibilidades, la mayoría de las ocasiones dispersos. En el momento actual, las más variadas personas en formación se interesan por cursos interdisciplinarios, en especial aquellos con relevancia social.

El principal reto para abordar los problemas con la capacidad científica y tecnológica a nuestro alcance exige la colaboración intelectual necesaria para construir consensos e integrar métodos, lenguajes y culturas, en principio dispares. El atascamiento de la IID radica en la contradicción inherente del término: un oxímoron. Interdisciplinariedad acepta las disciplinas que pretende acercar. Puede suceder, como manifestaba Richard Buckminster Fuller (1895-1983) que «la ocurrencia de una aceleración acelerada de las disciplinas científicas implica que las nuevas ideas aparecen más rápidamente de lo que somos capaces de reaccionar»⁹. Ello imposibilita reorganizar los estudios y los departamentos con la celeridad suficiente para poder responder a los retos que la avalancha de ideas conlleva.

Puede ser esta la causa por la que nos retraemos en la disciplinariedad, una zona confortable y familiar de cohesión tribal e histórica donde el «consuelo» de los pares justifica nuestro trabajo. Nada hay de extraño ni de erróneo en centrarse en operativos particulares; la hiperespecialización ha resuelto innumerables problemas. El coste de esta estrategia es que restringe la panorámica del contexto de la acción y causa la pérdida de numerosas ideas y métodos extradisciplinarios que han contribuido al progreso a través de las intrincadas ramas de la ciencia. En términos generales hemos evitado los bordes borrosos de los fenómenos naturales, lo que nos ha conducido a puntos críticos donde los métodos de un campo han demostrado su incapacidad para impulsar el progreso; por el contrario, nuevas ideas, técnicas y dispositivos importados de otros campos han sido necesarios para desatascar cuellos de botella. En ocasiones, esta fusión de campos ha sido de magnitud suficiente como para impulsar la creación de una nueva disciplina (por ej. genética, ecología, etc.). Las disciplinas poseen sus ciclos vitales: crecimiento, maduración, relación entre ellas (interdisciplinariedad), apareamiento o mestizaje (transdisciplinariedad), senescencia e incluso muerte¹⁰.

Estamos a las puertas de un periodo de «transciencia» en el que las disciplinas se difunden a la vez que exige una formación en áreas dominadas por las matemáticas, la computación y los principios de la lógica. Una de las contribuciones más significativas de esta estrategia ha sido demostrar que las ideas van más allá de su propósito original y que, en particular, las ideas más profundas se caracterizan por su considerable generalidad. Transciencia es la expresión de una estrategia de abordar los problemas del «mundo» como una prioridad institucional. La transciencia no rechaza los detalles de un sistema; reconoce, sin embargo, que los retos de la mayoría de los problemas residen en las fronteras de las disciplinas y ello requiere una clase totalmente nueva de sensibilidad que no pierde profundidad de miras sino que reconoce el impresionante potencial de tramas teóricas de significación universal. Lo complejo es el ejemplo paradigmático de la investigación transc científica, de una «ciencia convergente» o «convergencia». Los grandes retos actuales —energía, salud, agua, alimentos— complejos y globales, en un mundo que se acerca a los siete mil quinientos millones¹¹ de almas, requieren estrategias que integren el conocimiento de las ciencias físicas, de la vida, económicas, sociales y de la ingeniería.

Qué acciones deben emprenderse para asegurar la competencia, prosperidad y bienestar global; qué estrategias deben implementarse para conseguirlo¹². Desde su comienzo, las ciencias naturales han sido separadas en dos ramas: biológicas y naturales. «La acción más valiosa no se encuentra en el

centro de las cosas sino en los bordes»¹³. Hoy, equilibrio, multiestabilidad o comportamiento estocástico —conceptos familiares a físicos y químicos— están en el meollo de los sistemas vivos como adaptación, retroalimentación o comportamiento emergente, y las ideas de formación de patrones, en el corazón de la física de la materia condensada, ayuda a comprender el autoensamblaje y el desarrollo de los sistemas biológicos¹⁴. Algunas de las áreas emergentes y ya a las puertas de ser pasado:

Artificialización¹⁵: Denominada «imagenización» por Disney y conocida comúnmente como «realidad virtual», consiste en la creación en las computadoras de mundos o ambientes indistinguibles incluso más auténticos que la realidad natural, inmersivos, que las personas pueden explorar e incluso interactuar con ellos.

BioArte¹⁶: Término acuñado por Eduardo Kac. Describe una práctica artística que emplea material biológico. Presenta serios condicionantes éticos, sociales y estéticos.

Biocomputación¹⁷: Computadora consistente en un sistema de macromoléculas (ADN) conjugadas a una colección de enzimas —construidas mediante síntesis por diseño— a modo de ribosomas, y desarrolladas mediante técnicas nanobiotecnológicas.

Biología sintética¹⁸: Ingeniería de la biología o de la vida: síntesis de sistemas complejos basados o inspirados en la biología, que ejecutan funciones que no existen en la naturaleza. Desde la perspectiva de la ingeniería, ¿una reinterpretación del diseño y propósito de la evolución?: Diseño racional.

Biomimetismo¹⁹: Réplica de la biología o de la naturaleza [ingeniería bioinspirada] para desarrollar materiales, dispositivos o procesos.

Culturómica²⁰: Aplicación del análisis de alto rendimiento de megadatos para el estudio de la cultura humana.

Macro [mega] datos²¹: El *modus operandi* del análisis de megadatos [*big data*] asume que a partir de una colección suficientemente grande y diversa de datos puede contestarse a las preguntas más relevantes del tema [ciencia agnóstica²²].

Nanotecnología²³: «Ciencia y tecnología que posibilitarán comprender, medir, manipular y manufacturar a niveles atómico, molecular y supramolecular, con el objetivo de crear materiales, dispositivos y sistemas, fundamentalmente con nuevas e innovadoras funciones, propiedades y organización molecular».

Tensegridad²⁴: Tensión [tracción] integrada. Las estructuras tensegridales son islas de compresión en un océano de tensión [tracción]. Sirvan de ejemplo las esculturas de Snelson²⁵ o las cúpulas geodésicas de Buckminster Fuller²⁶.

¿Cómo abordar la formación en los más dispares ámbitos profesionales? Michael M E Johns, en la presentación de *The Johns Hopkins University School of Medicine. Curriculum for the Twenty-first Century*, escribe²⁷: «[...] A comienzos de siglo, esta escuela de medicina creó el primer currículo médico riguroso, con una sólida base científica, de la nación. El currículo fue adoptado por la mayoría de las escuelas de medicina llegando a ser el estándar para la educación en Medicina durante todo este siglo. Cuando accedí al puesto de Decano en 1990, la Johns Hopkins estaba en las vísperas del amanecer de su segundo siglo. Me había percatado de que el currículo, aunque básicamente funcionaba, debía ser revisado a la vista de las demandas y de las responsabilidades de la nueva era

[...] El currículo de la escuela ha sido sometido a una reestructuración completa. Cuando encargué el cometido a la Dra. De Angelis, sugerí que nuestra filosofía de base para la educación médica debería dirigirse no a crear un neurocirujano, un médico de familia o un pediatra general, sino que debería hacerlo hacia la creación de un médico tipo célula troncal, indiferenciado [pero pluripotente], quién, él o ella, estuviera lo suficientemente bien preparado para ser capaz de realizar cualquier tarea tras sus estudios en la facultad [...] El nuevo currículo prepara estudiantes para las demandas y responsabilidades de la nueva era de la ciencia y arte médicas [...] ». Las palabras de Johns no pueden ser más descriptivas: «*creating an undifferentiated “stem cell” physician*». Pero también es importante que las diversas instituciones desarrollen programas encaminados a potenciar y estimular colaboraciones multiinstitucionales, internacionales y transcendentales; sirvan de ejemplo el *Campus Cowan*²⁸, *Janelia Farm*²⁹ o el *Center for Biosocial Complex System*³⁰.

Parafraseando la filosofía de *Janelia Farm* —«Cómo solucionar los problemas más enrevesados de la ciencia actual. Rompiendo todas las reglas»—, no cabe más solución para abordar un sistema educativo y formativo adecuado que romper con las reglas actuales.

STEM³¹, troncal, es un intento de conseguir las bases de esa capacidad de abordaje transcendentale de los problemas: integración frente a la relación interdisciplinar. *Science, Technology-Engineering & Mathematics* representa el trípode que sustenta la formación de los futuros profesionales que quieran abordar los problemas de «su» tiempo. La educación y formación en ciencia —entendiendo por ello la formación en ciencia, tecnología/ingeniería y matemáticas— prepara a los estudiantes y a los profesionales para desarrollar hábitos y mecanismos de comprensión que les capaciten para enfrentarse con problemas complejos. También les equipa para participar como ciudadanos competentes en una sociedad abierta, decente y vital. Las sociedades dependen de la sabiduría con que sus ciudadanos utilicen la ciencia y la tecnología, siendo las matemáticas el lenguaje común, e independientemente de los objetivos personales y sociales pero con criterios de utilidad, responsabilidad social, valor intrínseco del conocimiento y valor filosófico. A lo largo de la historia las personas han desarrollado numerosas ideas interconectadas y validadas sobre los mundos físico, biológico y social. Los medios utilizados para ello son métodos particulares de observación, de pensar, de experimentar y de validar. Métodos que representan un aspecto fundamental de la naturaleza de la ciencia y reflejan como la ciencia se diferencia de otros modos de conocer.

Las matemáticas descansan en la lógica y en la creatividad, y su propósito persigue tanto un valor intrínseco como su aplicación. Para algunos y no solo los matemáticos profesionales, la esencia de las matemáticas radica en su belleza y desafío intelectual. Para otros que incluyen científicos e ingenieros, el principal valor de las matemáticas es su aplicación a la vez de representar un lenguaje universal. Dado que las matemáticas juegan un papel central en la cultura actual (economía, demografía, epidemiología...), algunos elementos matemáticos básicos son requisito indispensable para comprender las más diversas actividades. Las matemáticas deben percibirse como parte de la empresa científico-tecnológica; ello obliga a comprender la naturaleza del pensamiento matemático y a familiarizarse con las ideas y herramientas matemáticas básicas.

Humanidad y tecnología van de la mano; es lo que se denomina «mundo de Leonardo»³². La capacidad técnica de fabricar herramientas es la principal evidencia del comienzo de la cultura humana. La tecnología representa la fuerza generadora de civilizaciones y, junto con el lenguaje, rituales, valores, comercio y las artes, es una parte intrínseca de cualquier sistema cultural. En el mundo actual

la tecnología es una empresa social compleja que incluye investigación, diseño y utillaje y, también, finanzas, manufacturación, administración y gestión, relaciones laborales, organización del trabajo o mercadotecnia. En el más amplio sentido, tecnología-ingeniería permiten «cambiar el mundo». Por otro lado, anticipar los efectos de la tecnología es tan importante como potenciar sus capacidades.

La integración conceptual global pretendida va de la mano de lo que ha dado por llamarse «megahistoria»: estudio de la historia humana como parte de una narración más ambiciosa [*big history*] que comprende la historia del universo entero; ello a través de una serie de umbrales de complejidad creciente. Hoy, uno de los problemas es el alejamiento del contexto científico pretendido. Una estrategia correctora es su integración en el contexto de la megahistoria, en el que predominan preguntas ambiciosas cuyas respuestas exigen nuevas aproximaciones y nuevos modelos solo posibles mediante el abordaje transdisciplinar; una respuesta, por otro lado, al *apartheid* intelectual entre las «dos culturas» —ciencias y humanidades— que C. P. Snow planteó en una famosa disertación³³.

Omniscópica, Megahistoria, Historia a gran escala, *Big History* o *Chrono zoom* —concepto promovido por David Christian y reafirmado por Fred Spier³⁴— no pretende rellenar vacío histórico alguno —comenta Craig Benjamin³⁵—. Es continuación, señalan, de la gran tradición historiográfica que viene escribiéndose desde la Grecia clásica y la China Han, y en su tradición oral desde las sociedades humanas ancestrales. La omniscópica introduce una nueva visión construida recientemente por estudiosos de diferentes campos del conocimiento — de la historia a la geología o desde la biología a la cosmología — con una estrategia transc científica, con proyección de futuro y sobre la base de mapear el pasado con una inusitada precisión, resultado parcial de lo que se ha dado por llamar «revolución cronométrica». Por todo ello, el empeño de la megahistoria es reconstruir el pasado con una proyección hacia el futuro. Como anticipó Bill Bryson³⁶ «cómo pasamos, en concreto, de no ser nada en absoluto a ser algo, de cómo un poco de ese algo se convirtió en nosotros y de lo que pasó entre tanto y desde entonces». La historia a gran escala ofrece una nueva narración, sobre una base completamente científica, universal, que incluye a todas las sociedades y civilizaciones y las sitúa en un entorno global, la Tierra, dentro de un marco general, el universo. Un escenario definido por la emergencia, durante 113.8 mM años desde que apareció el universo, de cosas cada vez más complejas con propiedades ausentes en sus precedentes: propiedades emergentes. En cualquier caso los átomos fueron las primeras estructuras complejas que emergieron; pero lo hicieron únicamente cuando las condiciones fueron las «justas». Unas condiciones que han dado por denominarse *Goldilocks conditions*: condiciones especiales u óptimas³⁷.

Megahistoria u omniscópica es la historia de la emergencia y desaparición de la complejidad a todas las escalas, desde los cúmulos de galaxias a las partículas elementales. Esta descripción puede ser la definición más escueta de megahistoria, y exige explicar la emergencia y desintegración de todas esas formas de complejidad. Desde un punto de vista científico la respuesta más general a la pregunta es que puede emerger complejidad cuando hay flujo de energía entre la materia —tal es el caso de las estrellas o de los humanos—, pero cuando esta última ha emergido. Hay estructuras estables próximas al equilibrio termodinámico. Otras —estrellas o las diversas formas de vida— existen lejos del equilibrio termodinámico y corresponden a estados estables dinámicos que necesitan un flujo de energía para mantener su complejidad. Todo ello en un universo, hasta donde conocemos, formado por islas de formas relativamente básicas de complejidad no adaptativa —galaxias y cúmulos de galaxias— en un océano ilimitado de práctica vacuidad y sin apenas complejidad que ha hecho posible, gracias a ello —la vacuidad es un sumidero de entropía— la emergencia de diversos niveles de complejidad. Un universo masificado hubiera impedido la emergencia de niveles superiores de complejidad.

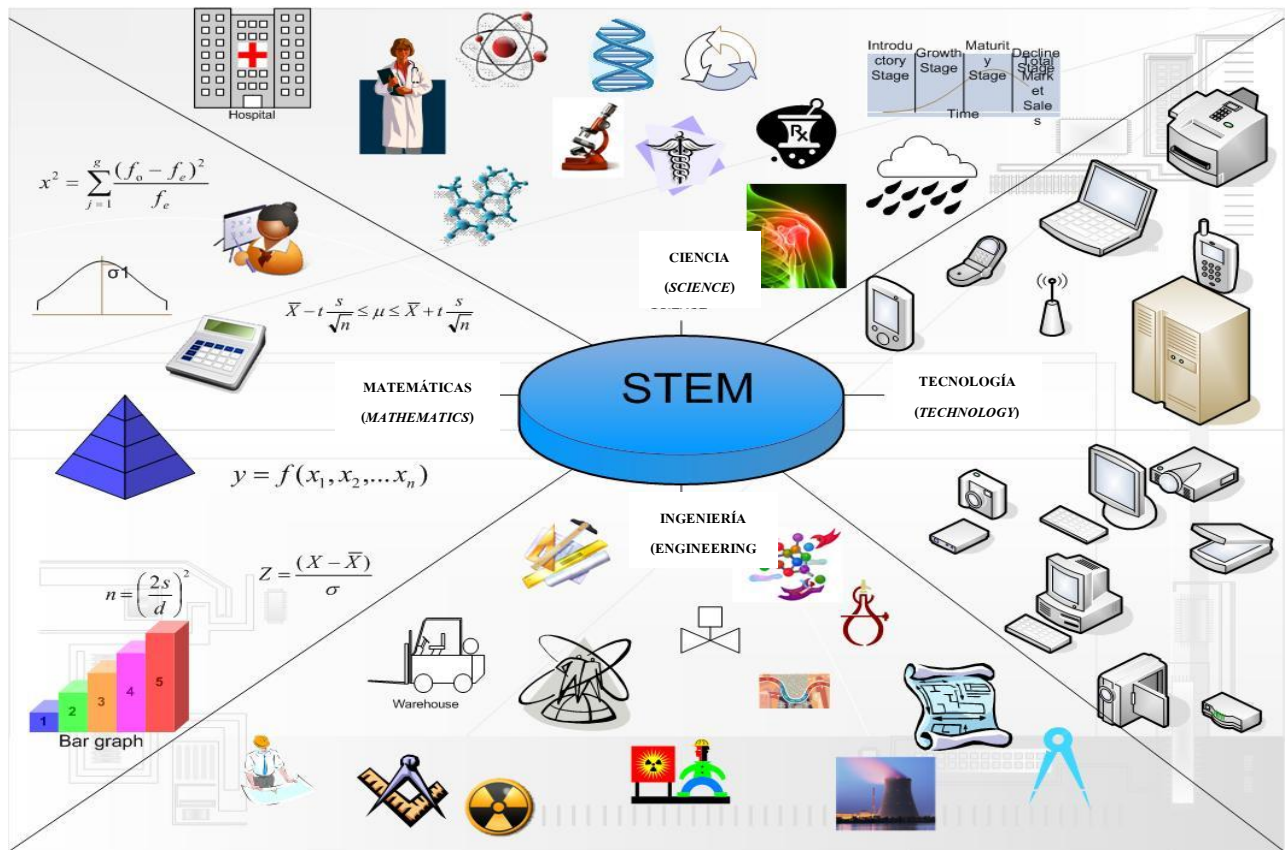
Christian, Brown y Benjamin ³⁸, a fin de afrontar el estudio con la perspectiva presentada, la megahistoria recurre a una serie de niveles evolutivos de complejidad creciente. Su estrategia ayuda a crear una novedosa trama teórica en la que, en principio, puede integrarse la totalidad del conocimiento. Este enfoque discierne tres tipos de complejidad: la naturaleza física inanimada, la vida y la cultura. El primer nivel, materia inorgánica, comprende desde la física de partículas a la cosmología. Toda esta materia inanimada se autoorganiza gracias a las fuerzas fundamentales de la naturaleza. Aunque las estructuras resultantes pueden alcanzar una estructura exquisita, la complejidad inanimada no utiliza información alguna para su formación o mantenimiento. El segundo nivel fundamental de complejidad es la vida. En términos de masa, la vida es un fenómeno cósmico marginal, pero su complejidad es infinitamente mayor que cualquier estructura inanimada posible. Al contrario que el universo inanimado, la vida mantiene su existencia mediante el almacenamiento activo de materia y el flujo de energía, merced a mecanismos especiales garantizados por la utilización de información almacenada en macromoléculas. Las estructuras vivas mueren en cuanto fracasan en almacenar materia y utilizar energía, y su materia retorna a niveles inferiores de complejidad a menos que sea incorporada por otras estructuras vivas. El tercer nivel fundamental de complejidad emerge cuando estructuras vivas se organizan con ayuda de información almacenada en células nerviosas.

La emergencia de estructuras cerebradas de distinto grado de complejidad representa una nueva estrategia para obtener mayores cantidades de materia y de energía para su supervivencia, reproducción y evolución adaptativa. Por su parte, las estructuras complejas cerebradas han construido complejidad, a su vez, de niveles diferentes, desde un nido hasta civilizaciones y gracias a un gasto extra de energía que esquilma el medioambiente que permitió su propia emergencia en el *big bang* ³⁹. Por su parte, el cerebro, la estructura más compleja conocida, ensaya continuamente estrategias encaminadas a su propia comprensión y a la de su creación más distintiva.

Estados Unidos de Norteamérica y la Unión Europea han puesto todo su empeño en sendos macroproyectos encaminados al estudio del cerebro. La «*BRAIN —Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies— Initiative*» es parte de un objetivo ambicioso para revolucionar el estudio del cerebro humano. Ello acelerando el desarrollo y aplicación de tecnologías innovadoras que han de permitir a los investigadores confeccionar una nueva, dinámica y revolucionaria imagen del cerebro para, al principio, mostrar como interactúan las neuronas individuales y los complejos circuitos neurales en el espacio y en el tiempo. Tras ello, definir las estrategias encaminadas a comprender los mecanismos por los que el cerebro registra, procesa, utiliza, almacena y recupera vastas cantidades de información a la velocidad del pensamiento. También, explorar nuevas vías para prevenir, tratar y curar los diferentes trastornos cerebrales ⁴⁰. Por su parte, los objetivos del *Human Brain Project* europeo pueden resumirse en neurociencia, computación y medicina del futuro. Respecto a lo primero, establecer experimentos *in silico* como metodología fundamental para comprender el cerebro; desarrollar tecnologías innovadoras neurobóticas sobre la base de la circuitería cerebral y desarrollar otras de supercomputación para simulación cerebral, y desarrollar un mapa con sólidos cimientos biológicos de enfermedades neurológicas y psiquiátricas a partir de bases de megadatos clínicos a la vez de desarrollar nuevos fármacos ⁴¹. Solo añadir que tales enfoque, en principio reduccionistas, nada tienen que ver con la simplificación; es más, lo simple y lo complejo ven mermadas e incluso suprimidas las fronteras ⁴².

Ciencias, matemáticas, tecnología e ingeniería son logros culturales que representan aspectos fundamentales de nuestras vidas como ciudadanos, trabajadores, consumidores o padres. La formación en tales materias —junto con un desarrollo curricular en omniscópica— es necesaria no sólo para los

profesionales en ellas sino para todos los individuos que quieran comprender desde un diagnóstico médico o evaluar temas energéticos, hasta manejarse en los asuntos cotidianos o sacar provecho de las nuevas tecnologías. La iniciativa descansa en la idea no de cuanto enseñar sino qué enseñar. No se pretende formar especialistas. Se pretende gestar profesionales con la suficiente flexibilidad y amplitud intelectuales capaces de utilizar los conceptos científicos, tecnológicos y matemáticos básicos, en la solución de los problemas a los que cada uno de ellos ha de enfrentarse en la práctica de su profesión. Profesiones que, en el futuro, ampliarán y difuminarán sus contenidos, a la vez que el cambio del entorno de trabajo será la regla. Tal perspectiva reclama, no cabe duda, introducir en los currículos ingredientes que faciliten la adaptación a las exigencias venideras.



<http://photo.hanyu.iciba.com/upload/chinesewiki/L/F/LFMY.jpg>

Párrafos atrás apareció el término convergencia asociado o sinónimo de transcencia. Este último mantiene cierta «contaminación» filosófica, aclarando la acepción peyorativa de la comparación. El MIT presento «convergencia» como «la tercera revolución». Lo llevó al terreno de las ciencias de la vida, en las que la primera revolución estaba representada por la biología celular y molecular, siendo la genómica la segunda revolución en el campo. La tercera revolución fue presentada como la «convergencia de las ciencias de la vida, de las ciencias físicas e ingeniería»; como un nuevo paradigma que puede conducir hacia avances críticos en amplios sectores, desde el cuidado de la salud a la energía, alimentación, clima o agua. «Vemos —remacharon— la convergencia como una oportunidad de innovación, por ser el resultado de una verdadero mestizaje intelectual» ⁴³.

Por su parte, el *National Research Council* presentó Convergencia como una verdadera integración transdisciplinar: *Convergence: Life Sciences, Physical Sciences, Engineering, and Beyond*⁴⁴. 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*»⁴⁵.

France Córdova, directora de la *National Science Foundation* (NSF) presentó, en mayo de 2016 y sobre el nuevo paradigma convergente, un «*nine-point plan*» con seis áreas fronteras de investigación y tres procesos, que han de guiar las acciones futuras de la NSF⁴⁶:

Investigación: manejo de «megadatos» —*big data*— en ciencia e ingeniería, apoyado fundamentalmente en investigación fundamental en matemáticas, en estadística y en ciencia computacional, implementando un ecosistema soportado por una ciberinfraestructura capaz de acelerar una investigación intensiva a gran escala, y el desarrollo y evaluación de oportunidades de aprendizaje y vías educativas innovadoras. Perfilar una nueva «frontera» entre lo humano y la tecnología permeable a sensores vestibles y sistemas de comunicación, computación e inteligencia implementados por arquitecturas neuromórficas. Comprender las reglas de lo viviente: predicción de un «fenotipo» en cuánto propiedad emergente de múltiples tipos de información proporcionada por múltiples sistemas complejos no lineales procesados en múltiples y diversas escalas. El «salto cuántico» conducente a una nueva revolución cuántica que abordará una nueva e imprevisible generación de sensores, computación, comunicación y simulación. El «nuevo Ártico» y su incidencia en la salinidad y repercusiones en el ecosistema marino, terrestre, emisiones de gases y efecto invernadero o ámbito social nórdico. «Ventanas al universo» o era de la astrofísica multimensajera; ello en cuanto a la posibilidad de observación mediante ondas electromagnéticas, neutrinos y ondas gravitacionales.

Procesos: Investigación convergente, megainfraestructuras y definición de proyectos masivos, ambiciosos y disruptivos.

«Las oportunidades científicas que posibilita Convergencia —la fusión de ideas y aproximaciones desde campos en principio diferentes— harán contribuciones fundamentales en nuestro devenir para proporcionar soluciones creativas a los problemas más difíciles que amenazan a nuestra sociedad». ⁴⁷ Tal es el comienzo del «Preface» de *Convergence*. Convergencia potencia nuestra capacidad de pensar más allá de los paradigmas al uso y aborda las más diversas y complejas situaciones desde múltiples perspectivas en vez de la monovisión imperante. Convergencia entre ciencias de la vida, ciencias físicas —entendiendo por tales la física, química, ciencia de materiales, ciencias de computación y matemáticas— ofrece la oportunidad de nuevas estrategias de pensamiento y producción creativos que estimularán la innovación, desarrollo económico y la solución de problemas y demandas sociales. Sólo habrá que darse cuenta de su potencial de acción.

En términos generales, nuestras instituciones de educación superior permanecen atrincheradas en estructuras organizativas y prácticas burocráticas del pasado, haciendo del concepto «innovación universitaria» un nuevo oxímoron. La academia debe aspirar a convertirse en una organización

empresarial, imbuida en la sociedad, donde la fusión intelectual sea una aspiración inequívoca. La reconceptualización de la universidad como una empresa académica requiere una serie de ajustes que deben abordarse en pequeños pasos: desde un modesto título propio a la totalidad del currículo. Si las enseñanzas primaria y secundaria han quedado obsoletas, no les va a la zaga la enseñanza superior. El conocimiento innovador ha escapado de la universidad tradicional que es la que tenemos; facultades y departamentos han quedado sobrepasados, y lo mismo puede decirse de los centros de investigación «avanzada» de los «campus de excelencia».

Transciencia/convergencia — ciencia-matemáticas-tecnología y omniscópica— es una empresa a largo plazo cuyo objetivo es la educación y formación de ciudadanos y, por supuesto, de profesionales capaces de elaborar nuevas preguntas a viejos temas para encarar problemas aun sin resolver. Para ello es necesario romper o ignorar los límites de las disciplinas; solo así se abrirán nuevas sendas de conocimiento en ambientes de aprendizaje distintivos. En resumen, mentes amplias, flexibles que, independientemente de la especialización de su trabajo cotidiano, sean capaces de abordar problemas complejos en un mundo global. Ello sobre la base de una revolución curricular —un continuo conceptual— desde los cinco a los 18 años: a) expresión oral y escrita y comprensión lectora de textos complejos; b) multilingüismo; c) megahistoria; d) ciencia-tecnología/ingeniería-matemáticas, y e) aprender haciendo y emprender con riesgo ⁴⁸.

«Before the ‘Common Core’, there was *Science for All Americans*» comenta Kathy Wren ⁴⁹. La adopción de los *Common Core State Standards* y los *Next Generation Science Standards* es el tema dominante en la reforma educativa de los EE UU en lo que llevamos de siglo ⁵⁰. Sin embargo, el quid de los esfuerzos actuales reside en un ambicioso libro editado hace más de veinticinco años por la *American Association for the Advancement of Science* (AAAS), el primero en plantear la necesidad de que la siguiente generación debería contar con una formación adecuada en ciencia, tecnología y matemáticas. Hoy existe acuerdo unánime entre los expertos en educación en el mundo anglosajón que *Science for All Americans* ⁵¹ —un esfuerzo de colaboración durante tres años entre cientos de científicos, matemáticos y otros docentes— tuvo un formidable impacto sobre la reforma educativa al definir el concepto de cultura o educación/formación científica y su relevancia en los estándares educativos en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM); objetivos propuestos por vez primera en 1989 cuando el *Project 2061* de la AAAS publicó el libro citado.

«*Project 2061 is a long-term initiative of the AAAS to reform K-12* ⁵² *education in natural and social sciences, mathematics, and technology. Begun in 1985, The Project is developing a set of tools to help local, state, and national educators redesign curriculum in these areas and ensure its success*». Es un proyecto a largo plazo; inició su andadura cuando el cometa Halley nos visitó por última vez y su horizonte se expande hacia su próxima visita en 2061: ¡75 años de perspectiva! ⁵³. *Project 2061* y STEM fueron fruto del impacto que supuso la puesta en órbita del satélite *Sputnik* por la Unión Soviética en la sociedad norteamericana. «*The post-Sputnik* ⁵⁴ *science education reform was really about preparing the next generation of scientists. Science for All Americans took a new position on science literacy, which was that everyone needs some level of science knowledge and habits of mind so that when reading about a scientific report in the newspaper, for example, one would think about it in a more critical way*», resume Jo Ellen Roseman, directora del *Project 2061*.

Sirva de referencia la constante preocupación e implicación directa de diversos gobiernos en tema tan crucial para forjar el futuro de las naciones. «Si queremos que América lidere el

siglo XXI, nada es más importante que dar a todos y cada uno la mejor educación posible; desde preescolar al final del bachillerato», son palabras del Presidente de los EE UU, Barack H. Obama. En noviembre de 2009, el Presidente lanzó la iniciativa «Educar para Innovar» con el fin de movilizar a los estudiantes de Norteamérica y conseguir superar la poco alentadora posición intermedia en educación y alcanzar la excelencia formativa en ciencias y matemáticas en las próximas décadas. Esta iniciativa incluye esfuerzos no solo del gobierno federal sino de todas las empresas líderes del país, fundaciones y otras organizaciones sin ánimo de lucro y sociedades y entidades científicas que, sin duda, acudirán a la llamada de su Presidente. Todo ello en el marco referido STEM con las siguientes áreas prioritarias: conseguir una coalición con todos los presidentes de las citadas empresas para unir los esfuerzos del sector privado; formar cien mil nuevos profesores-STEM en los próximos diez años; incrementar de manera significativa la participación e inversión federal en STEM, y potenciar el talento STEM en las escuelas.

Para concluir, las «iniciativas presidenciales» se han establecido como un hecho distintivo de los gobiernos de la nación que bien valdría la pena importar. Sirvan de ejemplo ⁵⁵: «*Landing a man on the moon and returning him safely to the Earth*» [primera iniciativa de la «era post-Sputnik»], 1961, John F. Kennedy; «*National Cancer Act*» [*The War on Cancer*], 1971, Richard M. Nixon; «*Birch E. Bayh-Robert J. Dole Act*» [*Government Patent Policy Act*], 1980, James E. Carter; «*Strategic Defense*», 1983, Ronald W. Reagan; «*Nanotechnology*», 2000, William J. Clinton; «*Malaria*», 2005, George W. Bush; «*American Competitiveness*», 2006, George W. Bush; «*STEM*» [*Science, Technology, Engineering & Mathematics education*], 2009, Barack H. Obama; «*Global Health*», 2009, Barack H. Obama; «*BRAIN*» [*Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies*], 2013, Barack H. Obama; «*Precision Medicine*» [*PMI Cohort Program*], 2015, Barack H. Obama.

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*» ⁵⁶.

Notas y bibliografía

1. Lo expuesto se aparta del contexto filosófico al que se refiere el ensayo escrito por Sigmund Freud en noviembre de 1915: *Vergänglichkeit* – «Sobre Temporalidad». Un debate filosófico mantenido con el joven pero ya famoso poeta Rainer Maria Rilke y el poeta taciturno Lou Andreas-Salomé. Publicado en *Das Land Goethes 1914-1916*, Gedenkbuch, Berlin (Ver: *Freud's Requiem: Mourning, Memory and the Invisible History of a Summer Walk*, Matthew von Unwerth, Riverhead Books, Nueva York, 2005). Ver: <http://www.freuds-requiem.com/transcience.html> (acceso: 13 enero 2016). Este artículo recopila dos artículos publicados en *Revista de Occidente* [«Transciencia», sept. 2014, y «Omniscópica», enero 2016].
2. *Conjectures and Refutations. The growth of scientific knowledge*. Londres: Routledge and Kegan Paul, 1963. Traducción al castellano –*El Desarrollo del Conocimiento Científico. Conjeturas y Refutaciones*–

- por Néstor Míguez para Paidós (Biblioteca de Filosofía, 2 – Serie mayor), Buenos Aires, 1967 [cap. 2. La naturaleza de los problemas filosóficos y sus raíces en la ciencia, I, pág. 81; *cursivas* en el original].
3. Paul McCartney. «The Long and Winding Road». En: The Beatles, *Let it Be*. Londres: Apple Records, 1970.
 4. David C. Krakauer. «Transcience. Disciplines and the advance of plenary knowledge» *SFI Bulletin* 2011; 25: 1-3. En: http://www.santafe.edu/media/bulletin_pdf/sfi_bulletin_spring_2011.pdf (acceso: 13 enero 2016).). The MIT, *The Third Revolution: The Convergence of the Life Sciences, Physical Sciences, and Engineering*, Washington DC: Massachusetts Institute of Technology-Washington DC Office, 2001; en: <http://dc.mit.edu/sites/dc.mit.edu/files/MIT%20White%20Paper%20on%20Convergence.pdf> (acceso: 06-02-16). National Research Council of the National Academies. 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; en: www.nap.edu (acceso: 06-02-16).
 5. Arthur Schopenhauer, «Psychological observations», *Studies in Pessimism*, The Project Gutenberg eBook, The Essays of Arthur Schopenhauer, translated by T. Bailey Saunders, eBook #10732, Jan 17, 2004; en: <http://www.gutenberg.org/cache/epub/10732/pg10732.html> (acceso: 13 enero 2016).
 6. David Christian, Cynthia Brown, Craig Benjamin. *Big History: Between nothing and everything*. New York: McGraw-Hill Humanities, 2013.
 7. *International Big History Association*; en: <http://www.ibhanet.org/> (acceso: 13 enero 2016).
 8. Massachusetts Institute of Technology, *The Third Revolution: The Convergence of the Life Sciences, Physical Sciences, and Engineering*, Washington, DC: MIT Washington Office, 2011.
 9. Medard Gabel, Jim Walker. «The Anticipatory Leader: Buckminster Fuller's principles for making the world work» *The Futurist* 2006; Sept.-Oct.: 39-44 (Pg 41. 10 Principles for comprehensive anticipatory design leadership. 3: Respect gestation rates). En: http://www.bigpicturesmallworld.com/Futurist_Fuller.pdf (acceso: 13 enero 2016).
 10. Rudolf Kötter, Phillip W. Balsiger. «Interdisciplinarity and transdisciplinarity: A constant challenge to the sciences» *Issues in Integrative Studies* 1999; 17: 87-120. En: http://www.units.miamioh.edu/aisorg/pubs/issues/17_kotter.pdf (acceso: 13 enero 2016). J. Segalàs, G. Tejedor «Transdisciplinarity. A must for sustainable education» 41th SEFI Conference, 16-20 September 2013, Leuven, Belgium. En: http://www.sefi.be/conference2013/images/keynote_segalas.pdf (acceso: 13 enero 2016).
 11. Worldometers; en: <http://www.worldometers.info/world-population/>
 12. Members of the 2005 “Rising Above the Gathering Storm” Committee. Prepared by the Presidents of the National Academy of Sciences, National Academy of Engineering and Institute of Medicine. *Rising above the Gathering Storm, Revisited. Rapidly Approaching Category 5*. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2010. En: www.nap.edu (acceso: 13 enero 2016). Committee on Facilitating Interdisciplinary Research & Committee on Science, Engineering, and Public Policy. *Facilitating Interdisciplinary Research*. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2005. En: www.nap.edu (acceso: 13 Enero 2016).
 13. Anne Fadiman, *The Spirit Catches You and You Fall Down: A Hmong Child, Her American Doctors, and the Collision of Two Cultures*, New York: Farrar, Straus and Girous, 1997; en: http://www.amazon.com/The-Spirit-Catches-Fall-Down/dp/0374533407/ref=as_sl_pc_tf_til?tag=pink-monkey-com&linkCode=w00&linkId=7SL36KGN6V7OZ2AE&creativeASIN=0374533407 (selección (acceso: 13 enero 2016).

14. National Research Council. Committee on Research at the Intersection of the Physical and Life Sciences, *Research at the Intersection of the Physical and Life Sciences*, Washington, D.C.: The National Academies Press; en: www.nap.edu (acceso: 13 enero 2016).
15. «When you're interacting with a computer, you are not conversing with another person. You are exploring another world», John Walker (citado en B. Wooley, pg. 165). Grigore Burden, Philippe Coiffet, *Virtual Reality Technology*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994. Howard Rheingold, *Virtual Reality*, New York: Simon & Schuster, 1991; traducción al español —*Realidad Virtual. Los Mundos Artificiales Generados por Ordenador que Modificarán Nuestras Vidas*— por Eugenia Fisher para Editorial Gedisa S.A.-Colección Límites de la Ciencia, Barcelona, 1994. Lawrence LeShan, Henry Margenau, *Einstein's Space and Van Gogh's Sky*, New York: MacMillan Publ. Co. Inc., 1982; traducción al español —*El Espacio de Einstein y el Cielo de Van Gogh*— por Alberto L. Bixio para Editorial Gedisa S.A.-Colección Límites de la Ciencia, Barcelona, 1985. John Vince, *Virtual Reality Systems*. The ACM Press-Association for Computing Machinery, Inc. Addison-Wesley Publ. Co., 1995. Benjamin Wooley, *Virtual Worlds. A Journey in Hype and Hyperreality*. Oxford: Blackwell, 1992. *Virtual Reality*, <http://www.vrs.org.uk/> (acceso: 13 enero 2016).
16. Suzane Anker, Dorothy Nelkin, *The Molecular Gaze. Art in the Genetic Age*. Cold Spring Harbor, NY: The Cold Spring Harbor Laboratory Press Series on Genomics, Bioethics and Public Policy, 2004. Eduardo Kac. *Telepresence & Bio Art. Networking Human, Rabbits, & Robots*. Ann Arbor, MI: The University of Michigan Press, 2005. Sheilah Britton, Dan Collins, eds. *The Eighth Day. The Transgenic Art of Eduardo Kac*. Tempe, AZ: Institute for Studies in the Arts. Herberger College of Fine Arts. Arizona State University, 2013. Robert E. Mitchell, *Bioart and the Vitality of Media*. Seattle, WA: University of Washington Press, 1910. Stephen Wilson, *Art + Science Now. How Scientific Research and Technological Innovation are Becoming Key to 21st-century Aesthetics*. London: Thames & Hudson, 2010.
17. Leonard M. Adleman. «Molecular Computation of Solutions to Combinatorial Problems». *Science* 1994; 266 (5187): 1021-1024. En: <https://www.usc.edu/dept/molecular-science/papers/adleman-science.pdf> (acceso: 13 enero 2016). Viv Kendon, Angelika Sebald, Susan Stepney, eds. Theo Murphy meeting issue “Heterotic computing: exploiting hybrid computational devices” (Introducción + 12 artículos de revisión), *Philosophical Transactions A*, 28 July 2015; vol. 373, núm. 2046. Joshua Ray Windmiller, *Molecular Scale Biocomputing: An Enzyme Logic Approach* – A dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree Doctor of Philosophy in Electrical Engineering (Photonics). University of California, San Diego, 1912. En: <http://escholarship.org/uc/item/519217.jp#page-5> (acceso: 13 enero 2016).
18. Ricard Solé, *Vidas Sintéticas. Una Aproximación revolucionaria a la Ciencia, la Historia y la Mente*, Barcelona: Tusquets Ed.-Metatemas, 2012. Roberta Kwok. «Five hard truths for synthetic biology» *Nature* 2010; 463: 288-290. En: <http://www.nature.com/news/2010/100120/full/463288a.html> (acceso: 13 enero 2016). Luis Serrano. «Editorial: Synthetic Biology – promises and challenges» *Molecular Systems Biology* 2007; 3 (1): 158. En: <http://msb.embopress.org/content/3/1/158> (acceso: 13 enero 2016). Steve McIntosh. *Evolution's Purpose: an integral interpretation of the scientific story of our origins*. New York: SelectBook, 2012. Chapt 7th en: <http://www.stevemcintosh.com/pdf/Evolutions-Purpose-Excerpts-CH7-Purpose-in-Evolution.pdf> (acceso: 13 enero 2104). Francisco J. Ayala. *Darwin y el Diseño Inteligente: creacionismo, cristianismo y evolución*. Traducción de Miguel Ángel Coll Rodríguez para Alianza Editorial, S. A., Madrid, 2007. Leon Augnestein, *Come, Let Us Play God*, New York: Harper & Row, Publ., 1969. No debe confundirse con «vida artificial». En palabras de J.D. Farmer: «En cincuenta o cien años emergerá una nueva clase de organismos. Serán artificiales en el sentido que serán diseñados originalmente por humanos. Sin embargo se reproducirán y evolucionarán

en otras formas diferentes al original; serán “vivos” de acuerdo con la definición razonable de la palabra [...] La vida artificial será el hecho histórico más significativo desde la emergencia de los seres humanos». El soporte de esta vida —*Artificial Life, a-life*— es materia no orgánica y su esencia es información: las computadoras son los alambiques donde emergerán los nuevos organismos. Crear vida *in silico*. Farmer, J. Doyne and Aletta d'A. Belin, «Artificial Life: the Coming Evolution.». En: Christopher G. Langton, Charles Taylor, J. Doyne Farmer, Steen Rasmussen, eds., *Artificial Life II*. Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity, Proc. Vol. X, 815-838. Redwood City, CA: Addison-Wesley, 1992. Steven Levy. *Artificial Life. The Quest for a New Creation*. New Yor: Pantheon Books, 1992.

19. Bharat Bhushan. «Biomimetics: lessons from nature – an overview» *Philosophical Transactions of The Royal Society A – Mathematical, Physical & Engineering Sciences* 2009; 367 (1893): 1445-1486. En: <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/367/1893/1445.full> (acceso: 13 enero 2016).
20. Jean-Baptiste Michel [...] Erez Lieberman Aiden «Quantitative analysis of culture using millions of digitized books» *Science* 2011; 331 (6014): 176-182. Pb online Dec 16, 2010. En: <http://www.sciencemag.org/content/331/6014/176.full> (acceso - suscripción: 13 enero 2016). Supporting online material: <http://www.sciencemag.org/content/suppl/2010/12/16/science.1199644.DC1/Michel.SOM.revision.2.pdf> (acceso – suscripción: 13 enero 2016). Erez Aiden, Jean-Baptiste Michel. *Uncharted: Big Data as a Lens on Human Culture*. New York: Riverhead Books, 2013. En (selección): <http://www.amazon.com/Uncharted-Data-Lens-Human-Culture/dp/1594487456> (acceso: 13 enero 2016).
21. Brooks Hanson, Andrew Sugden, Bruce Albers «Editorial: Making data maximally available»; Science staff «Special section: Dealing with data» *Science* 2011, 331 (6018): 649, 692-729. En: <http://www.sciencemag.org/content/331/6018.toc> (acceso: 13 enero 2014). «Technology: The data deluge», «Special report: Managing information». *The Economist* Feb 25th, 2010. En: <http://www.economist.com/printedition/2010-02-27> (acceso: 13 enero 2016).
22. Marco Panza, Domenico Napoletani, Daniele Struppa. «Agnostic science. Towards a philosophy of data analysis» *Foundations of Science* 2011; 16: 1-20. En: http://halshs.archives-ouvertes.fr/docs/00/48/32/88/PDF/Agnostic_Corrected.pdf (acceso: 13 enero 2016).
23. Richard P. Feynman, *There's Plenty of Room at the Botton*, American Physical Society Lecture, 29 dic 1959, CALTECH. *Caltech Engineering and Science*, feb. 1960; 23 (5): 22-36. En: <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html> (acceso: 13 enero 2016). K. Eric Drexler, *Engines of Creation. The Coming Esra of Nanotechnology*, New York: Anchor Books-Doubleday, 1986. National Science Foundation - Mihail C. Roco, William Sims Bainbridge, eds., *Societal Implications of Nanosacience and Nanotechnology*. Dordrecjht: Kluwer Academic Publ., 2001. 21st Century Nanotechnology Research and Development Act, 2033. En: <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/PLAW-108publ153/html/PLAW-108publ153.htm> (acceso: 13 enero 2016). John F. Sargent Jr., *The National Nanotechnology Initiative: Overview, Reauthorization, and Appropriations Issues*. Dec. 16, 2014, Congressional Research Service; en: <https://www.fas.org/sgp/crs/misc/RL34401.pdf> (acceso: 13 enero 2016). Michail C. Roco, «The Long View of Nanotechnology Development: The National Nanotechnology Initiative at Ten Years», Michael C. Roco, Chad A. Mirkin, Mark C. Hersam, *Science Policy Reports. Nanotechnology Research Directions for Social Needs in 2010. Retrospective and Outlook*, Dordrecht: Springer, 2011; en: <http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/nano2/chapter00-2.pdf> (acceso: 13 enero 2016). *National Nanotechnology Initiative*, www.nano.gov (acceso: 13 enero 2016). Neil Lane, «If I were asked for an area of science and engineering that will most likely produce the breakthroughs of tomorrow, I would point to nanoscale science and engineering often called simply “nanotechnology”», *National Science Foundation Testimony in U.S. Congress*, Apr. 1, 1998. President Bill Clinton, «Some of these

[nanotechnology] research goals will take 20 or more years to achieve. But that is why there is such a critical role for the federal government», *Speech announcing National Nanotechnology Initiative* at Caltech, January 20, 2000).

24. Donald E. Ingber. «The Architecture of Life: A universal set of building rules seems to guide the design of organic structures--from simple carbon compounds to complex cells and tissues» *Scientific American* 1998; 278: 48-57. En: http://time.arts.ucla.edu/Talks/Barcelona/Arch_Life.htm (acceso: 13 enero 2016). Pedro García Barreno «Tensegridad. Arquitectura, arte, biología» *Arquitectura Viva* 2009; 125: 19-31, 111. En: http://www.pedrogarciabarreno.es/4.%20Escritos%20varios/Ensayos/AV_Tensegridad.pdf (acceso: 13 enero 2016).
25. Kenneth Snelson; en: kennethsnelson.net (acceso: 13 enero 2016).
26. Richard Buckminster Fuller; en: <https://bfi.org/> (acceso: 13 enero 2016).
27. Catherine D. DeAngelis, ed. *The Johns Hopkins University School of Medicine Curriculum for the Twenty-first Century*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1999. Pg vii: *Foreword*.
28. El *Instituto de Santa Fe-Campus Cowan*, fundado en Santa Fe, New Mexico, USA, en 1984, es un centro independiente de investigación teórica, dedicado al estudio multidisciplinar de los principios fundamentales de los sistemas adaptativos complejos tales como los físicos, computacionales, biológicos o sociales, que subyacen en la práctica totalidad de los problemas más profundos a los que se enfrenta la ciencia y la sociedad actuales; en: <http://www.santafe.edu/about/physical-site/> (acceso: 13 enero 2016).
29. La filosofía de *Janelia Farm* —abierta por el *Howard Hughes Medical Institute* en Ashburn, Virginia, USA, en 2006— es: «How do you solve the most vexing problems in science today? Break all the rules». Un espacio donde equipos multidisciplinarios de científicos abordan problemas biológicos complejos imposibles para los centros convencionales; los grupos se forman de manera espontánea sin condición previa alguna. Tal cultura potencia la libertad académica al permitir a los científicos plantear proyectos de alto riesgo pero de gran potencial, a largo plazo, que no tienen cabida en los programas y convocatorias al uso; en: <https://www.janelia.org/> (acceso: 13 enero 2016).
30. El *Center for Biosocial Complex Systems* es un consorcio — *Center for Social Dynamics and Complexity*, *Center for the Study of Institutional Diversity* y *Mathematical, Computational and Modeling Sciences Center*— de la Universidad del Estado de Arizona y amparado por la *Complex Adaptive System Initiative* de la Universidad, orientado a implementar estrategias innovadoras sobre retos globales con el objetivo de buscar soluciones que mejoren la condición humana; en: <https://shesc.asu.edu/node/318> (acceso: 13 enero 2016).
31. National Research Council. *Successful K-12 STEM Education: Identifying Effective Approaches in Science, Technology, Engineering, and Mathematics*. Washington DC: The National Academies Press, 2011; en: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=13158&page=R1 (acceso: 13 enero 2016).
32. Jürgen Mittelstrass. «The modern world and the humanities» *Interdisciplinary Science Reviews* 1996; 21 (4): 284-291; en: <http://www.maneyonline.com/doi/abs/10.1179/isr.1996.21.4.284> (acceso -suscripción o pago: 13 enero 2016). Lewis Mumford. *The Condition of Man*. With a new preface by the author (en la serie *Renewal of life*). New York & London: A Harvest/HBJ Book. Harcourt Brace Jovanovich Pbl., 1972. Traducción al castellano de la edición de 1944 —*La Condición del Hombre*— de Emma Dupuy para Compañía General Fabril Editora, Buenos Aires, 1966.
33. C. P. Snow, The Rede Lecture, 1959. *The two cultures and the scientific revolution*. New York: Cambridge University Press, 1961; en: <http://www.msel-naschie.com/pdf/7.TheVAKOfVacuumFluctuationSpontaneous.pdf> (acceso: 13 enero 2016).
34. David Christian, «The case for “Big History”» *Journal of World History* 1991; 2 (2): 223-238; en: <http://www.uhpress.hawaii.edu/journals/jwh/jwh022p223.pdf> (acceso: 13 enero 2016). Fred Spier. *The Structure of Big History: From the Big Bang until Today*. Amsterdam: Amsterdam University Press,

1996. Fred Spier. «Big History: the emergence of an interdisciplinary science? » *Interdisciplinary Science Reviews* 2008; 33 (2): 141-152; en: <http://worldhistoryconnected.press.illinois.edu/6.13/spier.html> (acceso: 13 enero 2016). Fred Spier, *Big History and the Future of Humanity*. UK: Wiley-Blackwell, 2011.
35. Craig Benjamin (guest editor). «Forum on Big History» *World History Connected* 2009; 6 (3): <http://worldhistoryconnected.press.illinois.edu> (acceso: 13 enero 2016). Marnie Hughes-Warrington «Big History» *Social Evolution & History* 2005; 4 (1): 7-21; en: www.socionauki.ru/journal/files/seh/2005_1/big_history.doc (acceso: 13 enero 2016). David Christian. *Maps of Time. An introduction to Big History*. California: Californian University Press, 2011; ver: www.omniscopic.org (acceso: 13 enero 2016), <http://course.bighistoryproject.com> (acceso: 13 enero 2016).
36. Bill Bryson. *A Short History of Nearly Everything*. Broadway Books-Random House-Bertelsmann, 2013. Traducción al castellano —*Una Breve Historia de Casi Todo*— por José Manuel Álvarez Flórez para RBA Libros, S.A., Barcelona, 2006.
37. NASA Science. Science news: The Goldilocks Zone. Oct. 2, 2003. http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2003/02oct_goldilocks/ (acceso: 13 enero 2016).
38. Ver: ⁶.
39. M. S. El Naschie. «The VAK [vague attractor of Kolmogorov] of vacuum fluctuation, spontaneous self-organization and complexity theory interpretation of high energy particle physics and the mass spectrum» *Chaos, Solitons & Fractals* 2003; 18: 401-420; en: <http://www.msel-naschie.com/pdf/7.TheVAKOfVacuumFluctuationSpontaneous.pdf> (acceso: 13 enero 2016).
40. The BRAIN Initiative. <http://braininitiative.nih.gov/> (acceso: 13 enero 2016).
41. Human Brain Project. <https://www.humanbrainproject.eu/es> (acceso: 13 enero 2016).
42. Bryan Appleyard. *The Brain is Wider than Sky. Why Simple Solutions Don't Work in a Complex World*. London: Phoenix, 2012.
43. Ver: ⁸.
44. National Research Council. 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; en: www.nap.edu.
45. National Science Board, *Enhancing Support of Transformative Research at the National Science Foundation*, Virginia: National Science Foundation, 2007; en: https://www.nsf.gov/nsb/documents/2007/tr_report.pdf.
46. Jeffery Mervis, «NSF director unveils big ideas», *Science* 2016; 352 (6287): 755-756; en: <http://www.sciencemag.org/news/2016/05/nsf-director-unveils-big-ideas-eye-next-president-and-congress>. NSF Ideas for Future Investment; en: <https://www.sciencemag.org/sites/default/files/documents/Big%20Ideas%20compiled.pdf>.
47. Ver: ⁴⁴
48. En este contexto, el *Evergreen State College* (Olympia, Washington, USA) oferta un curso de un año de duración dirigido a todo aquel que «sienta curiosidad»: *Introduction to Natural Science: Life, the Universe, and Everything*; en: <http://archives.evergreen.edu/catalogs/2009-10/programs/introductiontonaturalsciencelifetheuniverseandeverthing> (acceso: 13 enero 2016). American Academy of Arts and Sciences «ARISE 2. Unleashing America's Research & Innovation Enterprise» Cambridge, Mass.: American Academy of Arts & Sciences, 1996; en: <http://www.amacad.org/multimedia/pdfs/publications/researchpapersmonographs/arise2.pdf> (acceso: 13 enero 2016). Umberto Eco. «Interpretation and Overinterpretation: World, History, Texts». *The Tanner Lectures on Human Values*. Clare Hall, Cambridge University. 7 y 8 marzo 1990; en: http://tannerlectures.utah.edu/_documents/a-to-z/e/Eco_9

- .pdf (acceso: 13 enero 2016). Karl R Wirth, Dexter Perkins. *Learning to Learn*; en: <http://www.macalester.edu/academics/geology/wirth/learning.pdf> (acceso: 13 enero 2016). Council of Europe. *Common European Framework of Reference for Languages: Learning, teaching, assessment*; en: www.teameurope.eu/documents/CEFR.DOC (acceso: 13 enero 2016).
49. Katy Wren, «AAAS News & Notes», *Science* 29 enero 2014; 345 (6200): 1012-1013.
 50. National Governors Association Center for Best Practices (NGA Center) & Council of Chief State School Officers (CCSSO), *Common Core State Standards Initiative. Preparing America's Students for College & Career*, 2009, en <http://www.corestandards.org/> (acceso: 13 enero 2016). National Research Council, National Science Teachers Association & American Association for the Advancement of Science *Next Generation Science Standards*, 2011-2013, en <http://www.nextgenscience.org/> (acceso: 13 enero 2016).
 51. American Association for the Advancement of Science (AAAS), *A Project 2061 Panel Report Phase I: Physical and Information Sciences and Engineering* by George Bugliarello, *Biological and Health Sciences* by Mary Clark, *Social and Behavioral Sciences* by Mortimer H. Appley & Winifred B. Maher, *Technology* by James R. Johnson, *Mathematics* by David Blackwell & Leon Henkin, Washington DC: AAAS, 1989. AAAS, *Science for All Americans. Project 2061*, New York, London: Oxford University Press, 1990, en <http://www.aaas.org/program/project2061>. AAAS, *Benchmarks for Science Literacy. A tool for curriculum reform*, NY London: Oxford University Press, 1993. AAAS & National Science Teachers Association, *Project 2061: Atlas of Science Literacy*, Washington DC: AAAS, vol. 1, 2001, vol. 2, 2007. Louis V. Gerstner, RD Semerad, DP Doyle, WB Johnston, *Reinventing Education*, Dutton Signet/Penguin Books USA Inc, 1994; traducción al castellano por J Piatigorsky —*Reinventando la Educación. Nuevas Formas de Gestión de las Instituciones Educativas*— para Paidós, Barcelona 1996.
 52. «We believe that the education of the children of this nation is a vital national concern. The understanding of, and interest in, science and engineering that is citizens bring to bear in their personal and civic decision making is critical to good decisions about the nation's future». Committee on a Conceptual Framework for New K—12 Science Education Standards. Board on Science Education. Division of Behavioral and Social Sciences and Education. National Research Council of the National Academies, *A Framework for K—12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*, Washington DC: The National Academies Press, 2011.
 53. Frente a 75 años de perspectiva a la que se han ido sumando uno tras otro todos los estados de la Unión, en nuestro entorno, desde 1970, siete Leyes de Educación: LGE, 1970 (Ley Villar Palasí); LOECE, 1980 (UCD); LODE, 1985 (PSOE); LOGSE, 1990 (PSOE); LOPEG, 1995 (PSOE); LOCE, 2002 (PP, no llegó a aplicarse); LOE, 2006 (PSOE); LOMCE, 2013 (PP).
 54. James A. Lewis. *Waiting for Sputnik. Basic Research and Strategic Competition*. Washington DC: Center for Strategic and International Studies, 2005. Alvin Powell. «How Sputnik changed U.S. education». *HARVARDgazette*, October 11, 2007. En <http://news.harvard.edu/gazette/story/2007/10/how-sputnik-changed-u-s-education/> (acceso: 13 enero 2016).
 55. <http://history.nasa.gov/moondec.html>. <https://www.whitehouse.gov/issues/education>. <https://www.whitehouse.gov/administration/eop/cwg/work-flex-kit/get-started/factsheet> (acceso: 13 enero 2016).
 56. Ver: ⁸.

«Existen tres clases de sistemas:
 aquellos que son nada interesantes (por ej., la mayor parte de la física clásica),
 los que por ser complicados son entretenidos (por ej., el resto de la física clásica),
 y los que siendo estructurados son impredecibles (se denominan *sistemas complejos* y son fascinantes) ».

Ian Steward.
Mathematics Institute, Univ. Warwick.