

**IX Encuentro Internacional de Intelectuales y  
Artistas en Defensa de la Humanidad, 7 AL 9  
DE JUNIO de 2012, RIO DE JANEIRO, BRASIL.**

**PANEL: "CIENCIA COMO PARADIGMA DE  
CULTURA?"**

**NANOTECNOLOGÍA, CULTURA Y  
SOCIEDAD: ÉTICA Y DESARROLLO  
SOSTENIBLE**

**AUTOR: Fidel Antonio Castro Smirnov**

**Profesor de Física, Universidad de las Ciencias Informáticas.**

**Lugar: Espaço TOM JOBIM – Jardim Botânico**

**Fecha: 7 JUNIO 2012**

En el marco del importante evento que nos convoca, deseo compartir con ustedes determinadas ideas, enfoques y consideraciones acerca de la tecnología fundamental del Siglo XXI, que ha provocado ya una nueva revolución en los campos del pensamiento, de la ciencia, de la cultura y de la sociedad.

Quisiera comenzar con una cita de Martí: “Día llegará en que pueda llevar consigo el hombre, como hoy el tiempo en el reloj, la luz, el calor y la fuerza en algún aparato diminuto”. Sin pretender que Martí se haya referido a la Nanotecnología o a la física nuclear, pudiéramos decir que desde un enfoque de la cultura y de la política (la política que es el arte de lo posible, según el propio Martí, y es el arte de hacer felices a los hombres) ya avizoraba las potencialidades de la Ciencia y la Tecnología de lo muy pequeño.

La exposición está estructurada en tres temas: comenzaremos con una obligada pero breve introducción a las nanociencias y nanotecnologías; continuamos con el bloque “nanotecnología y sociedad”, donde se incluye el impacto social, la oleada nanotecnológica, tendencias actuales en la propiedad intelectual, implicaciones para el sur, nanotecnología – ética – desarrollo sostenible, y aspectos de carácter social; y una última parte donde debatiremos determinadas consideraciones sobre la intersección ciencia – cultura y arte.

### Definiciones.

Convendría iniciar esta presentación identificando relaciones entre conceptos fundamentales sobre el tema de nuestro interés. Asumiremos que la cultura es conocimiento socialmente adquirido y socialmente compartido y transmitido, y que la ciencia ejemplifica la manifestación más extraordinaria de la cultura. Ejemplifica también el ideal del conocimiento, es necesidad de saber, un reflejo de la curiosidad del ser humano, planteada de forma objetiva y utilizando el método científico (que es, a su vez, una adquisición de la cultura). La tecnología, sin embargo, parte de los conocimientos básicos establecidos por la ciencia para diseñar y construir dispositivos que tenga una utilidad determinada. De esta manera ciencia y tecnología se complementan, erigiéndose en dos caras de una misma moneda: una rueda imparables que hace avanzar a la humanidad. Es así como encontramos un círculo virtuoso entre la cultura, la ciencia y la tecnología. Hay que destacar, además, que la ciencia y la tecnología constituyen un magnífico punto de encuentro entre los países, las culturas y los seres humanos.

En la Fig. 1 podemos apreciar algunas disciplinas físicas y sus escalas correspondientes. Es por todos conocido que cuando hablamos de un kilómetro, se refiere a mil metros, el prefijo mega se refiere a un millón, Giga a mil millones, Tera a mil Gigas (y un terámetro nos remonta a la escala de todo el sistema solar), y así

llegamos a la escala de la astrofísica y la astronomía. Si iniciamos el viaje hacia “la inmensidad de lo pequeño”, encontramos que un milímetro se refiere a la milésima parte de un metro, un micrómetro a la millonésima parte (la escala de la física atómica, de la microelectrónica), nano a la milmillonésima parte, pico a la milésima parte de un nano, y femto a la millonésima parte del nano (que nos sitúa en el ámbito del núcleo atómico, y aquí en vez de denominarse femtociencia, a la ciencia que opera en esta escala se le denomina Física Nuclear).

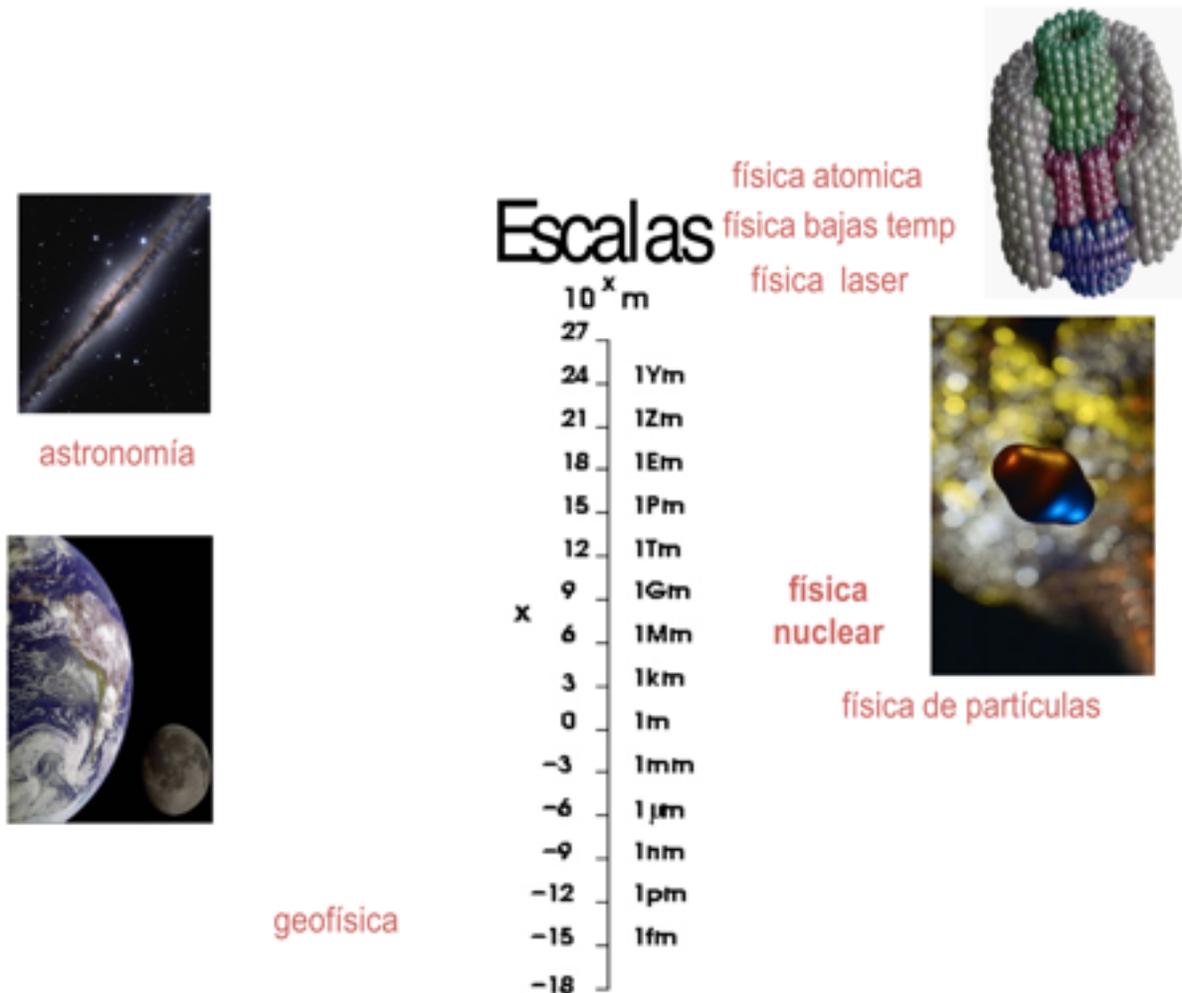


Fig. 1: Disciplinas de la física y sus escalas correspondientes

Como pudimos apreciar, “nano” es una medida, no un objeto. Cuando decimos “biotecnología”, sabemos que se refiere a la manipulación de la vida, bios, a diferencia de cuando decimos nanotecnología, pues estamos refiriéndonos solamente a una

escala, la milmillonésima parte de un metro o la millonésima parte de un milímetro. Un cabello humano mide aproximadamente 80 mil nanómetros de grosor. Diez átomos de hidrógeno, alineados uno tras otro, caben apenas en un nanómetro. Una molécula de ADN (la biomolécula fundamental de la vida, que los ingenieros genéticos mezclan y combinan, y que es un ensamblaje de átomos de hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y carbono) mide aproximadamente 2.5 nanómetros de ancho (es 25 veces más ancho que un átomo de hidrógeno). En comparación, un glóbulo rojo es enorme: mide unos 5,000 nanómetros de diámetro. Todo en la nano escala es invisible a simple vista, e incluso para los microscopios ópticos más poderosos, como podemos apreciar en la Fig. 2 donde mostramos algunos ejemplos.

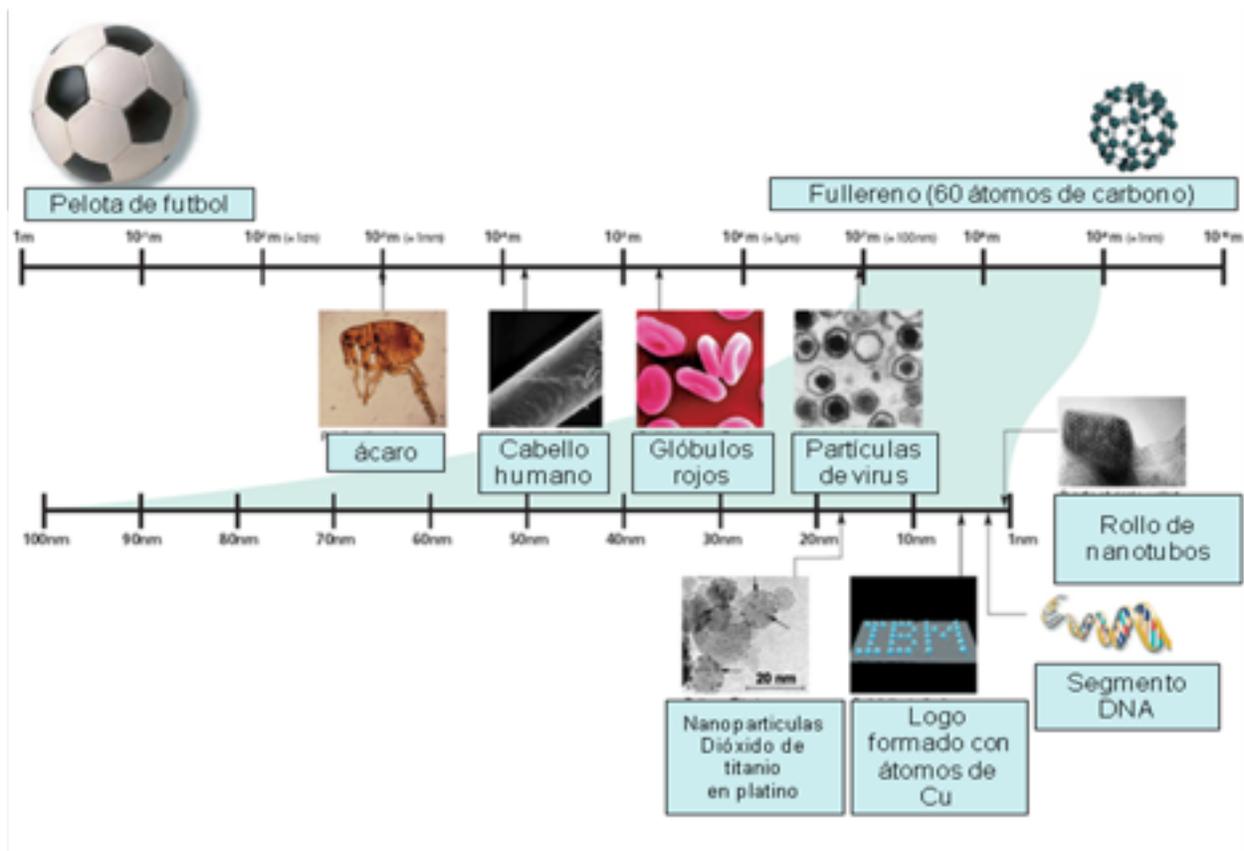


Fig. 2: Longitudes de escala desde un metro hasta la décima parte de un nanómetro

Partiendo de esta base, nos moveremos a la nanoescala, que es donde las Nanociencias y las Nanotecnologías mostrarán todo su potencial. Así, podemos acuñar al término nanociencia como al conjunto de áreas del conocimiento involucradas en el estudio de materiales con las mismas cualidades que los actuales, pero en proporciones diminutas. Dicho de otro modo, nanociencia es la posibilidad de comprender los fundamentos y propiedades de los materiales en la nanoescala, y nanotecnología como la posibilidad de diseñar elementos o dispositivos con funciones

específicas. Independientemente de que nanociencia y nanotecnología son conceptos diferentes, ya es habitual englobar a ambos en el término nanotecnología a escala internacional.

Para comprender los alcances y el potencial de la nanotecnología es importante saber que en la nanoescala las propiedades de un material cambian drásticamente (Fig. 3). A escala nanométrica los elementos pueden exhibir un comportamiento muy diferente con respecto al que presentan a una escala mayor. Saltar de las microtecnologías - tales como la micro electrónica y los microprocesadores - a la nanoescala, es una revolución en sí misma. Un micrómetro es mil veces más grande que un nanómetro, pero la diferencia es más vasta que el tamaño. Por debajo de los 50 nm comienzan a prevalecer lo que los científicos llaman “efectos cuánticos”: la mecánica cuántica entra a sustituir a la mecánica clásica. Esta última gobierna las propiedades físicas que observamos en los mundos macro y micro. Con sólo reducir el tamaño, sin alterar de forma alguna la sustancia, pueden cambiar las características fundamentales, tales como la conductividad eléctrica, elasticidad, resistencia, reactividad, punto de fusión (propiedades que comúnmente consideramos constantes para determinado material). Por ejemplo, el carbono en la forma de grafito (como en la punta de los lápices) es muy suave y maleable, pero en la nanoescala puede ser más fuerte que el acero y seis veces más ligero. El aluminio presenta combustión espontánea en la nanoescala y podría ser susceptible de usarse como combustible para los cohetes.

**En la nano-dimensión, se observan propiedades y principios nuevos que pueden dar lugar a nuevos materiales y nuevas tecnologías**

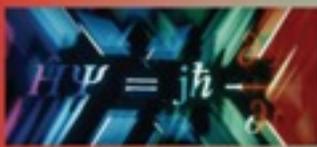
<p><b>Mundo de átomos y partículas. Rigen las leyes de la Mecánica Cuántica</b></p> 	<p><b>MUNDO NANO</b></p> 	<p><b>Mundo que perciben nuestros sentidos. Rigen las leyes de la Mecánica Clásica y el Electromagnetismo</b></p> 
---	--	---

Fig. 3. El mundo nano como frontera entre el mundo clásico y el mundo cuántico.

Desde su surgimiento la Nanotecnología se caracterizó por ser desarrollada a través de dos métodos generales, tanto experimental como teóricamente. Estos métodos están caracterizados por la forma en que se producen, se caracterizan y se modelan los nanomateriales, y se conocen hoy en día como Nanotecnología de Arriba a Abajo (top-down), siendo una visión más conservadora y continuista, en la que se intenta conseguir una mejoría de los procedimientos existentes, para conseguir cada vez mayor precisión en la fabricación de los elementos que forman los dispositivos (en otras palabras, miniaturizar); y Nanotecnología de Abajo a Arriba (bottom-up), la verdaderamente revolucionaria, que es la que busca crear complejidad a partir de elementos funcionales atómicos y moleculares. Ambas aproximaciones coexistirán en el futuro según el tipo de proceso que se necesite optimizar. En los momentos actuales predominan las técnicas top-down, que seguramente sobrevivirán aún un largo tiempo. La llegada de las técnicas *bottom-up* requerirá más esfuerzo en investigación básica, y se necesitarán dos o tres décadas más para que existan productos elaborados mediante metodologías *bottom-up* en el mercado.

#### Perspectiva histórica.

Haciendo un recuento de la convergencia de un siglo de ciencia, comenzamos con la Teoría Especial de la Relatividad de Einstein, con el desarrollo de la mecánica cuántica y la Física Nuclear, y culminamos en los 90 con la consolidación de conocimientos en nanociencias e inversiones multimillonarias en nanotecnología. Los orígenes de la Nanotecnología se remontan al 29 de diciembre de 1959, cuando el físico estadounidense Richard Feynman ofreció una conferencia ante la American Physical Society titulada “Hay mucho sitio en el fondo”. En aquella conferencia, Feynman trató sobre los beneficios que supondría para la sociedad el que fuéramos capaces de manipular la sustancia y fabricar artefactos con una precisión de unos pocos átomos. Expresó también que se podían escribir los 24 tomos de la enciclopedia británica en la cabeza de un alfiler (hoy se sabe que la punta tiene espacio suficiente para ello).

El término “Nanotecnología” fue acuñado por el profesor N.Taniguchi en una conferencia ante la Sociedad Japonesa de Ingeniería de Precisión en 1974. A principios de los 80 dos investigadores de IBM, H. Rohrer y G. Binnig dieron a conocer el microscopio electrónico de barrido por efecto túnel (STM, Scanning Tunneling Microscope) que permitió por primera vez observar superficies con resolución en el orden de las dimensiones atómicas. Esta herramienta ha sido la antecesora de otro grupo de herramientas, los microscopios de proximidad (SPM, Scanning Probe Microscopy), que permiten medir de forma precisa otras propiedades en la nanoescala.

Estas nuevas herramientas permiten, además, la manipulación en ciertas condiciones de la posición de átomos, moléculas y otras nanoestructuras sobre una superficie.

La necesidad de esta compleja instrumentación implica otra de las características fundamentales que acompañan a la nanociencia y nanotecnología: su interdisciplinariedad. Ello no sólo supone el trabajo combinado de expertos provenientes de diversas áreas del conocimiento en un proyecto común sino, por ejemplo, que para la construcción efectiva de un biosensor, todos los especialistas deberán dominar conocimientos tradicionalmente asociados a otras disciplinas (los biólogos de Física, los físicos de Bioquímica y los químicos de Medicina, por ejemplo). La nanoescala resulta punto de encuentro multidisciplinario para todos.

Si bien el desarrollo de esta tecnología de avanzada parece un asunto propio de cine o literatura fantástica, no hay sino que observar cuidadosamente a la naturaleza. Sobre la tierra desde hace más de 4000 millones de años está ocurriendo el ensamblaje de estructuras más evolucionadas a partir de moléculas que inicialmente se sintetizaron, para ir formando estructuras más complejas que les proporcionaban ciertas ventajas para captar energía, evitar su degradación, hacer copias de sí mismas, etcétera... Por ejemplo, los aminoácidos, que son moléculas relativamente simples, se fueron agrupando entre sí de manera precisa hasta construir las proteínas. Por tanto, otro de los objetivos de la nanociencia y la nanotecnología es aprender de los mecanismos fundamentales que la vida ha desarrollado durante su evolución para intentar reproducirlos e incluso adaptarlos para la resolución de otros problemas que poco tienen que ver, en principio, con la biología.

Lo anterior nos recuerda a Picasso cuando expresó que “todo lo que puedas imaginar es real”. Partiendo de los preceptos de la nanotecnología, cualquier organización de átomos que no sea excluida por las leyes de la física y la química puede ser alcanzada, no sólo de materiales conocidos sino también organismos vivos y nuevos tipos de objetos que no existen en la naturaleza, a partir sólo de carbón, nitrógeno y oxígeno por ejemplo, entre otros.

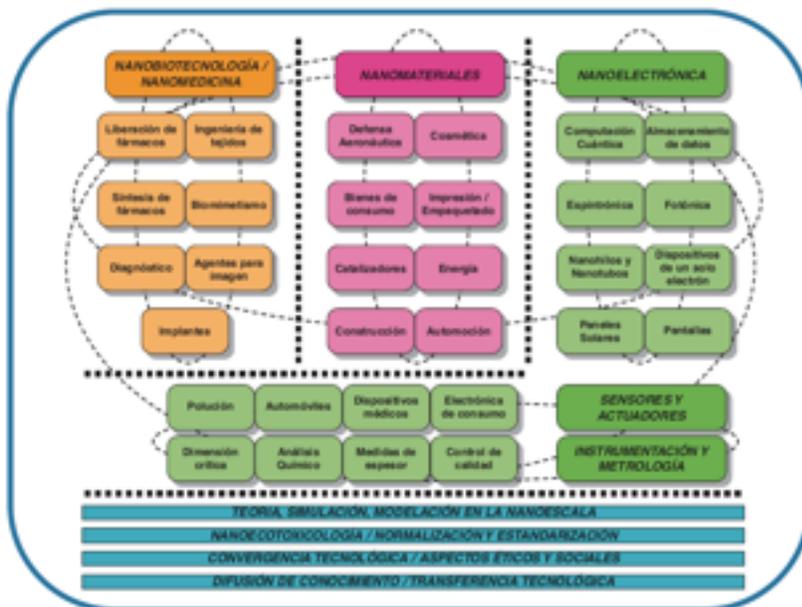
El siglo XXI ha sido testigo del creciente protagonismo de la nanotecnología, que se transformó de una rama científico-tecnológica promisorio pero todavía de discreta presencia, a una línea temática privilegiada en los países más desarrollados. Los extraordinarios avances alcanzados en esta dirección han permitido hasta hoy la fabricación, caracterización y manipulación de la materia, a partir de sus constituyentes atómicos y moleculares, de forma controlada. Esto ha despertado un enorme interés por las nuevas posibilidades que, basándose en nuevos descubrimientos científicos, permiten augurar extraordinarios aportes con repercusiones sociales en los aspectos más amplios y variados de la vida cotidiana.

Las metas de las investigaciones en Nanotecnología son tan fundamentales, tan interdisciplinarias, de tanta actualidad e interés emergente, que han dado lugar a que se planteen nuevos retos dentro de la comunidad científica internacional.

Enorme potencial de aplicaciones.

A nivel internacional, el tema de la Ciencia y la Tecnología de las nanoestructuras es algo que ha venido creciendo cada día más. Muchos países de Norteamérica, Europa, Asia y América Latina están llevando a cabo planes nacionales con el fin de desarrollar ampliamente esta área de la ciencia y la tecnología en los próximos años. Debido a que la Nanotecnología está en todo lo que nos rodea y sus efectos pueden apreciarse en productos de uso cotidiano como los ordenadores, los cosméticos, los teléfonos móviles, los refrigeradores o los automóviles, esta rama de la Ciencia y la Tecnología generará modificaciones trascendentales en los comportamientos económicos y sociales a escala mundial.

Ha quedado expuesto por muchos autores que las mayores aplicaciones de la nanotecnología se dirigen hacia la industria en general, la salud humana y animal, seguridad y defensa, la electrónica, la informática, las comunicaciones, producción y almacenamiento de energía, el medio ambiente, el transporte y en la educación. Resultaría adecuado ilustrar de forma gráfica el enorme potencial de aplicaciones de la Nanotecnología. Este potencial se muestra de forma esquemática en la siguiente Fig. 4, construido a partir de información obtenida del informe “Nanotechnology: Technology and market dynamics- a unique opportunity” (Oxford Instruments, 2006) y añadiendo algunos elementos nuevos:



*Figura 4: Áreas de aplicación de la Nanotecnología.*

Esta gráfica ilustra que, dada la fuerte convergencia de la Nanotecnología con las áreas de la Electrónica, la Biotecnología y de los Materiales, las principales áreas de aplicación de la nanotecnología son: los nuevos nanomateriales; la nanoelectrónica; la nanobiotecnología y la nanomedicina; la nueva instrumentación necesaria para trabajar en la nanoescala; y los nanosensores. En cada área principal aparecen diversas sub-áreas de aplicación. En la parte inferior se muestran tópicos transversales que afectan a todo el conjunto de áreas y que deben ser tenidos en cuenta por su importancia.

Para concluir este comentario sobre la relación intrínseca entre la experimentación y la obtención de nuevos productos y bienes para la sociedad, en el ámbito de la nanotecnología, convendría recordar a Martí, cuando expresaba que “la inteligencia tiene dos fases distintas: la de creación y la de aplicación: cuando aquella no se une a esta, hace desventurados y mártires, enfermos incurables del dolor perpetuo de la vida: la de aplicación, con ser menos noble, es más adecuada y necesaria a la existencia: una y otra mezcladas, son el germen escondido del bienestar de un país”.

#### Convergencias NBIC.

Los cambios industriales más profundos que han tenido lugar en la historia han estado ligados a la convergencia de tecnologías. Cuando dos o más disciplinas científico-tecnológicas interactúan entre sí, pueden producir una nueva tecnología resultante que permite avanzar de forma más rápida que con la simple suma de conocimientos de cada una de ellas por separado. En estos casos se dice que “dos más dos suman más que cuatro” o que entre las tecnologías ha habido “sinergias”. Por ejemplo, de la convergencia de la electrónica, la teoría de la información y las telecomunicaciones ha surgido el fenómeno de la sociedad de la información, la era digital, en la que todos estamos conectados de forma instantánea y global. La misma nanotecnología también se puede considerar como una convergencia de diferentes conocimientos y tecnologías que nos permiten explorar y entender el nanomundo y obtener provecho de este conocimiento. En estos momentos asistimos a un nuevo proceso de convergencia tecnológica en el que se están aglutinando conocimientos y metodologías que provienen de la nanotecnología, la biotecnología, las omnipresentes tecnologías de la información y telecomunicaciones y las llamadas ciencias cognitivas (que incluyen las neurociencias). Esta convergencia se ha denominado “convergencia NBIC”(Fig. 5).

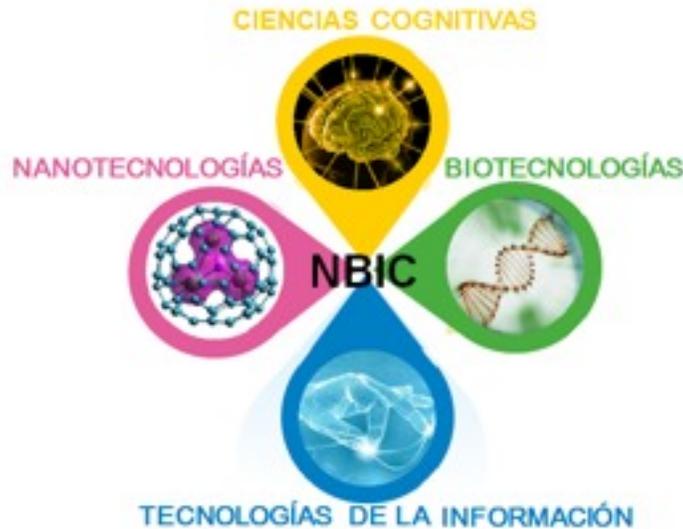


Fig. 5. Convergencias NBIC

Estas siglas se refieren a la combinación de los prefijos “nano”, “bio”, “info” y “cogno”. En cada una de estas ramas científico-técnicas existen unas unidades de trabajo fundamentales que son bien conocidas: en el área “nano” las unidades de trabajo son los átomos y las moléculas, en el área “bio” las unidades son el gen y la proteína, en el área “info” la unidad son los “bits” de información, y, finalmente, las neuronas son las unidades básicas del área “cogno”. A esta estrategia de convergencia también se le denomina la teoría del Little BANG (Bits, Átomos, Neuronas y Genes), como un delirio tecnológico de controlar toda la materia, la vida y el conocimiento.

El objetivo de las NBIC es producir nano-bio-dispositivos, que incidan en nuestra salud, nos permitan interaccionar mejor entre nosotros o con nuestro entorno y que generen información con la que efectuar una adecuada toma de decisiones. Llevada al límite, la convergencia NBIC podría ser usada para mejorar nuestras capacidades físicas y mentales, por lo que no se descarta la posibilidad de llegar a convertirnos en “superhombres” mediante la aplicación de dispositivos y máquinas basadas en el conocimiento NBIC. Esta visión radical, muy cercana a la corriente intelectual desarrollada en la segunda mitad del siglo XX y denominada “transhumanismo”, contrasta con otra propuesta menos conflictiva que plantea el uso de la convergencia NBIC como herramienta para enfrentarse a enfermedades como la diabetes, los distintos tipos de cáncer, alzhéimer, parkinson u otras patologías neuro-degenerativas asociadas al envejecimiento, así como mejorar la vida de invidentes, sordos, para y tetrapléjicos, personas que han sufrido amputaciones, etc.

Tres ejemplos de logros actuales en esta dirección con grandes potencialidades son: el Grafeno, la Transmutación Nuclear y la Radiación de Terahertz. La primera, aislada en 2004 y que mereció el Premio Nobel Física 2010, son cristales de un átomo o del grueso de una molécula, esencialmente planos bidimensionales, que a pesar de su delgadez tienen la mayor área de superficie conocida por peso, es impermeable y conduce la electricidad mejor que el cobre. La transmutación nuclear, - a partir de la similitud, de las reacciones radioactivas, que forjan los metales pesados en una Supernova – permitirá bombardear con neutrones el combustible irradiado de las 12 000 Toneladas anuales de desperdicios de los reactores energéticos, que producen el 14% de la electricidad mundial y descomponerlo en algo menos problemático e inofensivo en 500 años, en lugar de los cientos de miles de años por el método tradicional. La radiación Terahertz o T – rays es un tipo de radiación situada entre la longitud de onda de las microondas y el infrarrojo, que al igual que los rayos - X, pueden traspasar la ropa y la piel, pero sin los efectos secundarios de la primera. Ello permite identificar todo desde drogas a explosivos, y ya se están usando en los primeros escáneres de los aeropuertos.

A manera de resumen podemos decir que, más cultura que contenido, la nanotecnología es una intersección, una confluencia en el centro de la ciencia contemporánea, un punto de vista reciente, una valoración nueva, es una búsqueda activa de convergencia entre disciplinas tradicionalmente dispares, una indagación para ver la unidad de las ideas. Es un movimiento coordinado, una danza coreografiada entre átomos y moléculas para lograr un efecto deseado. Se armoniza dentro del conjunto de reglas de la Naturaleza para lograr que la materia se ensamble en nuevas formas. La nanotecnología origina pensamiento convergente cuando los representantes de varios modos de pensar se reúnen, aprenden sus lenguajes respectivos y agrupan las ideas que resultan al colisionar los paradigmas. Ahora la cultura de la investigación en las comunidades científicas, médicas y de ingeniería está pasando por un segundo Renacimiento.

### *El tsunami nanotecnológico*

Veremos cómo se inserta la nanotecnología en el desarrollo de la Ciencia. Inicialmente, los avances científicos que han impulsado el progreso de la humanidad, fueron muy importantes pero muy espaciados en el tiempo. En la actualidad los avances se suceden a un ritmo vertiginoso y no acabamos de acostumbrarnos a una nueva tecnología cuando aparece otra que la reemplaza. Además de esta notable “aceleración del conocimiento” desde la llegada de la revolución industrial se ha producido un hecho curioso: por lo general estos avances científico-técnicos se agrupan en oleadas que producen impulsos económicos en la sociedad (Fig.6). El

modelo de las oleadas de conocimientos se debe a uno de los economistas más influyentes del siglo XX, J. Schumpeter.

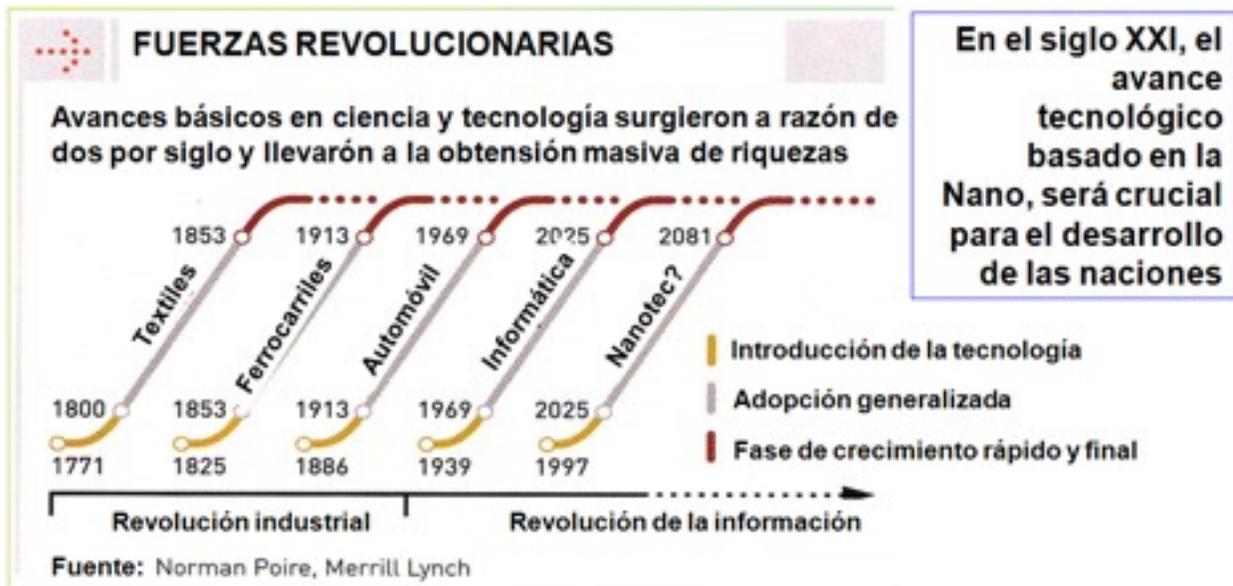


Fig. 6. Dos siglos de Revolución Tecnológica

Cada oleada científico-técnica ha dejado tras de sí un evidente rastro de progreso. Sin embargo, si miramos hacia atrás también podemos identificar algunos impactos negativos: la sobreexplotación de recursos, los daños medioambientales, la desigualdad social, el desequilibrio regional, el aumento de la población de las ciudades, la construcción de armamento de mayor peligrosidad y capacidad destructiva, etcétera.

Las técnicas y procesos de nanoescala se perfilan como un tsunami tecnológico, y su turbulencia tiene serias implicaciones sociales, especialmente en el Sur, en un mundo donde prevalecen la privatización de la ciencia y la concentración corporativa sin precedentes. Hay quienes predicen que la nanotecnología detonará una utopía económica y cultural de abundancia material, desarrollo sustentable y ganancias. La historia de las olas tecnológicas sugiere lo contrario: las más importantes tecnologías nuevas, al menos en un principio, desestabilizan a los pueblos marginados mientras que los ricos pueden prepararse, manipular y colocarse en la cresta de la ola. Tienen la flexibilidad económica para permanecer en su abundancia mientras los que de por sí están luchando por sobrevivir se ahogan junto con la economía obsoleta.

*Implicaciones para el Sur.*

Vivimos en un mundo donde el desarrollo tecnológico está determinado por la arbitraria distribución de la riqueza y del desarrollo social y económico. En virtud de esto el mundo se encuentra hoy particularmente desequilibrado y polarizado: el norte desarrollado con menos de la quinta parte de la población mundial controla aproximadamente el 80% de los recursos del mundo. En contraste, en el Sur subdesarrollado prevalecen el hambre, las enfermedades, el desempleo, la pobreza, y sumado a lo anterior, en plena Era del Conocimiento, padece también la exclusión de oportunidades, el robo de cerebros (eufemísticamente nombrado migración del talento) y la apropiación del conocimiento.

Revisando las solicitudes de patentes que hay relacionadas con nanotecnología, los países del Sur (y la sociedad en general) pueden ver quién tiene más posibilidades de controlar los mercados de materias primas y mercancías en el siglo XXI. La cantidad de patentes de nanotecnología que se han otorgado quita el aliento, pues atraviesan múltiples ramos empresariales y además reclaman la propiedad de áreas enteras de la tabla periódica. Aquí podemos apreciar la materialización de la propiedad privada sobre el conocimiento mismo. En un mundo dominado por la ciencia privada, son los dueños de las patentes y los que pueden pagar licencias de uso, quienes determinarán el acceso a las nanotecnologías y sus precios. Este sistema de privatización del conocimiento no sólo es injusto e inmoral, sino que es también infuncional, y terminará siendo un sistema de relaciones que frene el desarrollo de las fuerzas productivas.

De cualquier manera, la nanotecnología afectará profundamente la economía del Sur, independientemente del manejo de la propiedad intelectual. La codicia de patentes sobre productos y procesos nanotecnológicos puede llevar a que se formen megamonopolios sobre los elementos químicos. Si continúan las tendencias actuales, las tecnologías de nanoescala harán que se concentre aún más el poder económico en las manos de las corporaciones multinacionales. ¿Cuántas posibilidades hay verdaderamente de que los desposeídos se beneficien de una tecnología que no pueden controlar?

En un contexto justo y razonable, la nanotecnología podría traer beneficios a los desposeídos y un gran beneficio ambiental. Sin embargo, el panorama actual se caracteriza por las débiles infraestructuras en Ciencia y Tecnología en el Sur; la ausencia de soporte oficial al desarrollo y de una eficaz colaboración Norte-Sur. De no asumir una actitud proactiva y revolucionaria en políticas científicas y sociales, la nanotecnología incrementará los márgenes de lucro, expandirá el rango de la propiedad intelectual, desalentará la competencia; los avances en nanomedicina crearán una brecha basada en las “habilidades”, entre quienes pueden pagarlas y

quienes no pueden. La rapidez con que se están otorgando patentes nanotecnológicas sugiere que las naciones en desarrollo participarán solamente pagando regalías.

La innovación científica es inútil si las personas marginadas no tienen acceso a las tecnologías o a los tratamientos ya existentes. Una verdad simple es que las nuevas tecnologías resolverán viejas injusticias. El hambre, la pobreza, y la degradación ambiental son consecuencia de sistemas inequitativos, no de tecnologías inadecuadas.

#### *Nanotecnología y desarrollo sostenible.*

La nanotecnología será un gran aliado para impulsar el desarrollo sostenible, proporcionando herramientas que garanticen la habitabilidad de este frágil planeta. Se trata de lograr un desarrollo que asegure las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para enfrentarse a sus propias necesidades. La concepción cubana de desarrollo sostenible promueve un desarrollo económicamente viable, socialmente justo y ecológicamente equilibrado. En estos momentos el desarrollo sostenible se ha convertido en la gran opción de desarrollo que debe intentar terminar con las terribles desigualdades entre los pueblos, con el hambre, y a la vez puede intentar frenar la destrucción de nuestros ecosistemas y atenuar los efectos del cambio climático, al que tanto estamos contribuyendo los seres humanos.

Apoiada en sus múltiples frentes de aplicación, la nanotecnología podrá incidir en el almacenamiento, producción y conversión de energía; tratamiento y descontaminación del agua y de la atmósfera; diagnóstico y tratamiento de enfermedades como el cáncer, administración de fármacos y monitorización de la salud; mejora de la producción agrícola, de las tecnologías de la alimentación y el control de plagas; y brindará nuevos materiales para el transporte y la construcción, entre otras.

#### *Ética y Nanotecnología.*

Por otra parte, la nanotecnología presenta las dos caras de la misma moneda. La convergencia NBIC puede generar, indirectamente, problemas de sostenibilidad y equilibrio. Además, la nanotecnología por si misma puede tener otros impactos negativos. Muchos de los productos que la nanotecnología ha comenzado a producir están basados en nanopartículas y nanomateriales. En algunos casos no se sabe cómo estos nuevos materiales afectarán a nuestro entorno y nuestra salud.

Por eso desde distintos organismos se está impulsando la realización de estudios para poder establecer normas de uso y manipulación, reglamentos sobre niveles de exposición en las fábricas, etcétera. A pesar de que las promesas y ventajas sin límite que vienen de la mano de la nanotecnología, existen investigadores, asociaciones, y organismos que reclaman que su implantación se lleve a cabo de forma muy

controlada, sopesando sus ventajas y riesgos. Las administraciones públicas y muchas empresas han tenido en cuenta esta situación y están tomando medidas para que la nano-revolución sea más segura y controlada, transmitiendo confianza a los ciudadanos.

La ética sirve para mantener la moral siempre alta, y un pueblo se defiende también con su ética y moral, decía nuestro querido Comandante Fidel Castro. La ética es decisiva también en la ciencia, y existe un código de conducta para la investigación responsable en Nanociencias y Nanotecnologías. Estas deben ser comprensibles para el público; ser seguras, éticas y contribuir al desarrollo sostenible; llevarse a cabo de acuerdo con el principio de precaución, anticipando sus posibles impactos; contar con una gestión transparente y que garantice el derecho legítimo de acceso a la información; deben cumplir las normas científicas más exigentes, incluyendo las buenas prácticas de laboratorio; deben poseer la máxima creatividad, flexibilidad y capacidad de planificación; y deben ser asumidas de forma responsable por los investigadores y los centros de investigación ante las repercusiones sociales, medioambientales y para la salud humana que éstas tengan.

Entre otros aspectos de carácter social, es muy importante la labor de los especialistas de las Ciencias Sociales, quienes deberán velar por cómo se conduce y cómo se desarrolla la Nanotecnología. Deberán también identificar y potenciar elementos culturales que pueden tener mayor impacto en la creatividad científica, la capacidad de innovación, la recombinación de conocimientos entre áreas diferentes. Deberán además insistir en la importancia de hacer ciencia desde la cultura pues esto no solamente parte del ideal de defensa de la soberanía nacional (que contiene en sí poderosas razones éticas), sino que parte también de la convicción de que es esta la mejor manera de aportar al conocimiento científico universal.

Es de absoluta necesidad la creación de recursos humanos altamente calificados que puedan moverse por entornos multidisciplinarios, y principalmente, con formación ideológica y cultural. Se trata de formar científicos que no sólo saben lo que hacen, sino por qué y para qué lo hacen, y qué relaciones tiene lo que hacen con la labor de muchos otros, que hagan suya la herencia de ideas, ética y valores que entrega nuestra historia, que comprendan su mundo, para ayudar mejor a partir de éste y a través de éste, a todo el mundo. Como decía también Fidel Castro, se necesitarán de ellos valores éticos y morales por encima del talento, y que tengan una “conciencia revolucionaria, que es la suma de muchas conciencias, es la suma de una conciencia humanista, la suma de una conciencia del honor, de la dignidad, de los mejores valores que puede cosechar un ser humano; es hija del amor a la patria y del amor al mundo, y no olvida aquello de que Patria es humanidad (...)”.

La naturaleza altamente interconectada de los avances experimentados por la nanotecnología aumenta la importancia de que exista una amplia comunicación de las ideas más recientes de la ciencia: sólo así se generalizarán ideas y conocimientos que se necesitan para avanzar hacia objetivos compartidos. Decía Fidel Castro que “sin cultura política no puede haber conciencia política”, y este pensamiento es también válido para la ciencia. Es por ello que se debe estimular, de forma activa y programada, la circulación de nuevos conocimientos dentro de la sociedad y la interrelación entre diferentes campos de la creación científica y cultural.

Citando al Dr. Fidel Castro Díaz Balart: “si prima la justicia, el debate deberá centrarse sobre el más amplio y absoluto acceso a la riqueza inmaterial de una nación, a sus saberes, a su cultura y al libre, irrestricto y universal acceso a la enseñanza, al conocimiento, y al bienestar equitativo. Estos y otros valores y principios, deberán ser asumidos consciente y comprometidamente por las nuevas generaciones de profesionales”.

#### *Intersección Arte – Ciencia – Cultura – Tecnología.*

Nuevamente el ideario Martiano permite introducir la tercera parte de la exposición: “Toda ciencia empieza en la imaginación y no hay sabio sin el arte de imaginar, que es el de adivinar y componer”.

La sociedad debe identificar a la ciencia entre sus valores culturales: así conseguirá evitar que minorías poderosas sigan utilizando al conocimiento en su contra. La Ciencia no termina en las tecnologías que surgen de su desarrollo, es también la única vía para resolver este problema al proveer educación racional a todos los ciudadanos, quienes al adquirir una formación de base adecuada podrán estar preparados para recibir las tecnologías de punta, convivir con ellas y encontrar mecanismos para que aparezcan soluciones originales. No existe camino más democrático para borrar las desigualdades sociales que el que pasa por una adecuada educación de base que incluya a la Ciencia.

Los científicos para hacer Ciencia usan de su imaginación y de su inspiración en muchas oportunidades. Entonces, Arte y Ciencia son nada más que diferentes formas de la creatividad. Por lo tanto podemos decir que Arte y Ciencia son realmente complementarias. Al decir de Martí: “La imaginación es como una iluminadora, que va delante del juicio, avivándole, para que vea lo que investiga”.

Nuestro alfabeto atómico no muestra signos de agotamiento creativo. La premisa del nanotecnólogo es que quedan por escribir asombrosas obras materiales de las que todavía no es autora la naturaleza. Son reglas de la naturaleza que esperan que las

descubramos plenamente y nos invitan a inventar nuevas armonías dentro de sus marcos establecidos.

Los nuevos nanoinstrumentos no han limitado su repercusión al ámbito científico, su legado es también cultural. Su estética arrastra a los científicos y armoniza sus mentes y visiones por vastos paisajes intelectuales. Establecer como meta emular la creación de la vida de la complejidad funcional a partir de la simplicidad de los átomos constituye un proyecto aún más ambicioso que el de la propia naturaleza.

Quisiera, en este último apartado, presentarles algunas consideraciones sobre una expresión artística reciente que surge, precisamente, de la convergencia entre arte contemporáneo y nanotecnología, con resultados que, poco a poco, se van extendiendo en circuitos internacionales.

Como todos conocen, Arte y Ciencia han establecido históricamente relaciones estrechas. Desde los paradigmáticos Hombres del Renacimiento (que pretendieron hacerse de lo más avanzado de todas las ramas del saber en su época), hasta la fascinación que despertaron en los artistas los avances tecnológicos (la fotografía, la invención de la radio, la televisión y los nuevos medios de comunicación) y que implicaron una radical transformación en sus prácticas. Video Arte, Video Instalación, Arte Digital, Net Art son solo algunas expresiones que, desde la segunda mitad del pasado siglo hasta hoy, dan fe de las posibilidades que supone para el arte la apropiación de las nuevas tecnologías.

En los últimos años, científicos y artistas repararon en que la Nanociencia y Nanotecnología revelaban un sugestivo y amplio universo visual, susceptible de interpretaciones artísticas. De esta revelación nace el denominado *Nanoart* o Nanoarte, una tendencia legítima y coherente en el contexto del arte contemporáneo si revisamos sus problemáticas más recurrentes. En la Fig. 7 se muestra una selección de imágenes de nanoarte.



Fig. 7. Selección de obras de nanoarte. a) *Untitled (Eigler's Eyes)*, Chris Robinson ; b) *Nebula of Man*, Darcy Lewis ; c) *Fire in the Cave*, Renata Spiazzi; d) *Ressurrection*, K. Elise Cohen.

El NanoArte es una nueva disciplina en las intersecciones de Arte – Ciencia – Tecnología. Su concepto más conocido, acuñado por el científico-artista de origen rumano Chris Orfescu, refiere que “comprende *nanopaisajes* (paisajes que son estructuras naturales de materia a escala atómica y molecular) y *nanoesculturas* (estructuras creadas por científicos y artistas por manipulación de la materia a escala atómica y molecular por medio de procesos químicos y físicos). Estas estructuras pueden ser visualizadas con el uso de poderosas herramientas de investigación como los microscopios electrónicos de barridos, de transmisión y microscopios de fuerzas atómicas. Las imágenes científicas son capturadas y posteriormente procesadas

usando diferentes técnicas artísticas para convertirlas en obras de arte, y posteriormente exhibirlas a grandes audiencias”.

Dicho de otro modo, el concepto de nanoarte puede resumirse de la siguiente manera:

1. Creación de una nanoescultura o el descubrimiento de un “nanopaisaje”
2. Visualización y captura de la imagen que se realiza mediante microscopía avanzada;
3. Interpretación o intervención de las imágenes científicas, usando diferentes técnicas artísticas para convertir estas imágenes en obras de arte, con el objetivo de exhibirlas a grandes audiencias y para educar al público con imágenes creativas que sean aceptables y atrayentes.

Debemos advertir que el nanoarte no es microfotografía. La profundidad y tridimensionalidad obtenida en el nanoarte se obtiene por imágenes creadas por electrones, lo cual difiere de la fotografía donde las imágenes son creadas por fotones. Los electrones, al ser partículas cargadas eléctricamente, penetran más profundo en la estructura creando imágenes con más profundidad, más aspecto natural de tridimensionalidad que las imágenes fotónicas.

Más allá del mensaje y la calidad estética que las obras contengan, el nanoarte es una excelente herramienta educativa para el público.

El nanoarte ya circula de manera fluida en los circuitos contemporáneos del arte y, sobre este particular, vale la pena destacar que participa de algunas de sus líneas conceptuales más sostenidas, como las dicotomías real/aparente, unicidad/homogeneidad y la coexistencia de universos o realidades diferentes, susceptibles de modificación y de alta densidad de significados. Una potencialidad de la nanoescala que ha interesado a los artistas es el contraste entre la apariencia perceptible por el ojo humano y la materia a escala nano, con propiedades totalmente diferentes.

Habría que añadir que la doble dimensión propia de la nanotecnología, promisoriosa y riesgosa, es coherente con la suspicacia con muchos artistas contemporáneos miran el vertiginoso avance de tecnología. Puede acentuar brechas, distanciar o retrotraer al ser humano. En tal sentido, los usos que se le den a las aplicaciones de la nanociencia pueden ser tanto beneficiosos como destructivos y esas analogías resultan atractivas a la sensibilidad de los artistas de hoy.

Aún cuando se trata de una forma joven de expresión, ya es posible agrupar y juzgar algunas prácticas que oscilan desde el “asombro” que ciertas imágenes provenientes del nanomundo provocan, hasta propuestas de trabajo conjunto entre artistas y científicos con resultados de mayor complejidad conceptual. Veremos a continuación algunos ejemplos organizados tomando en consideración estas posibles parcelas.

En las imágenes mostradas en la Fig. 8 prima evidentemente el deseo de mostrar cómo a escala nano, algunas imágenes capturadas establecen conexiones caprichosas con referentes de nuestra vida cotidiana. Tal es el caso de estas “flores” u otros paisajes “vegetales”.

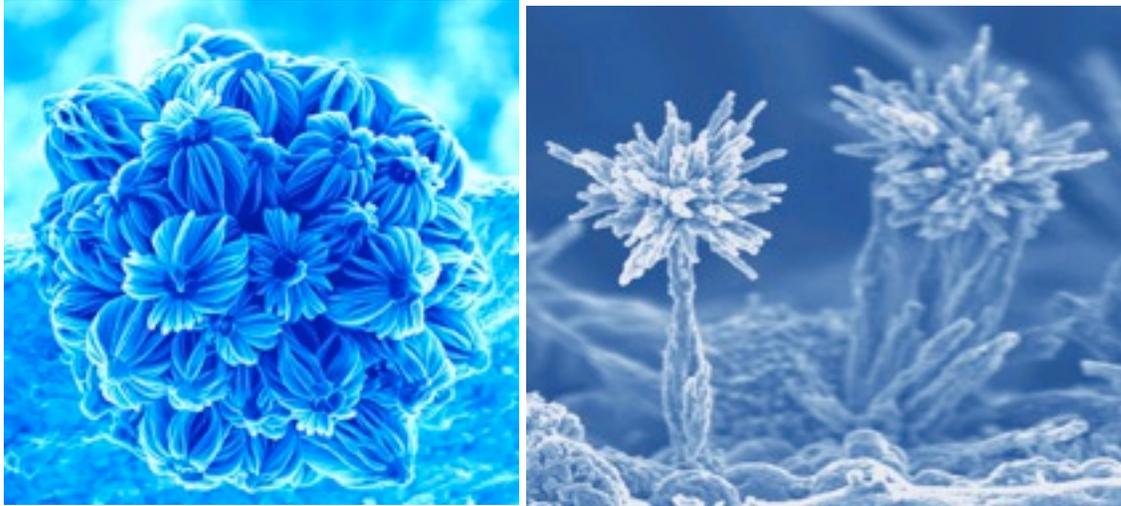


Fig. 8. *Paisajes gélidos o marinos, extrañas criaturas, formas vegetales o rocosas, abstracciones geométricas o informalistas. (Fuente: Ghim Wei Ho, graduate student , Nanoscale Center, Cambridge University, UK).*

La riqueza de texturas y la sensación de profundidad que posibilitan los instrumentos de microscopía electrónica son otra motivación para la exhibición de estas obras, donde luces, sombras y contrastes articulan composiciones dramáticas y sensitivas, como aparece en la figura 9. Mientras que, en otros casos, la imagen originalmente capturada se somete a modificaciones más o menos sustanciales a través de programas de computación o, incluso, es intervenida la obra ya impresa.

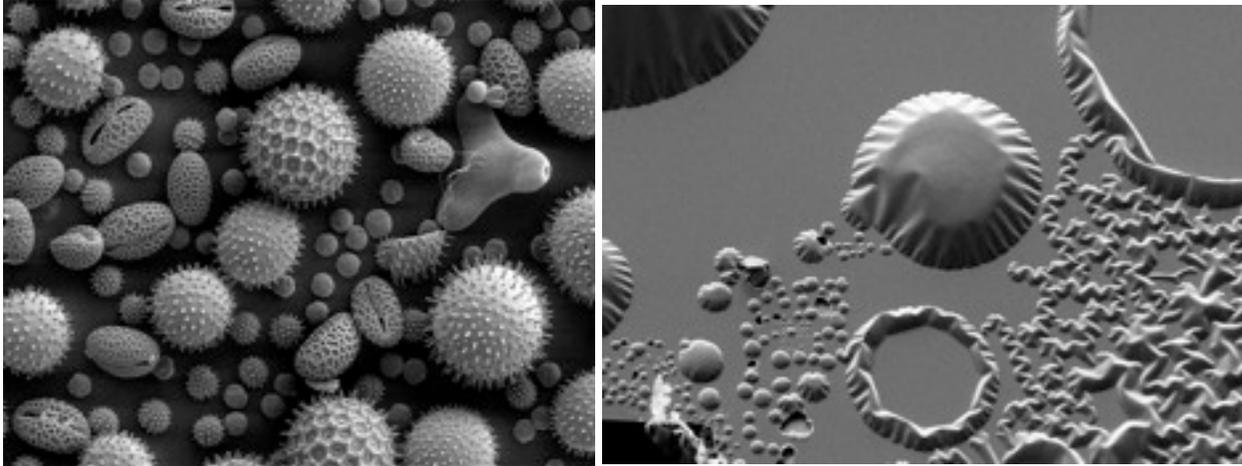


Fig. 9. *Acentuado contraste de luces y sombras, juegos de profundidad.*

En las figuras 10 y 11 se muestran nanoesculturas y nanopaisajes manipulados digitalmente. En el primer caso, el resultado es una suerte de “nano mariposa” derivada de las modificación de los colores y la acentuación de determinadas líneas, mientras que, la segunda, es una abstracción de trazos y manchas de color muy libres y expresivas.



Fig. 10. **NanoMoth**, Ursula Freer



Fig. 11. **Black Eye NanoOctopus**, Cris Orfescu

A los artistas que practican el nanoarte les resulta especialmente interesante cómo ciertas imágenes de la nanoescala dialogan con estilos y tendencias artísticas. Así pues, el propio Chris Orfescu homenajea al maestro de la escultura moderna Constantin Brancusi en una singular imagen que recuerda la pureza de sus volúmenes (figura 12).



Fig. 12. **NanoMaiastra, Brancusi – In Memoriam**, Cris Orfescu.

Algunos artistas ya practican de manera sistemática el nano arte, involucrando a científicos y centros de investigación en sus proyectos, tal es el caso de Alessandro Scali y Robin Goode, autores de esta Estatua de la Libertad de tamaño micrométrico (figura 13). Y de esta “nano África” (figura 14), donde se ha perfilado la silueta del más empobrecido continente del mundo, espacio sometido al más escaso acceso a los beneficios de las nuevas tecnologías. Esta imagen del empequeñecido continente supera el mero ejercicio de habilidades técnicas, para convertirse en una reflexión en torno a las desigualdades del acceso a las tecnologías en el mundo contemporáneo, que invisibiliza a grandes grupos humanos, e incluso a regiones y continentes enteros.

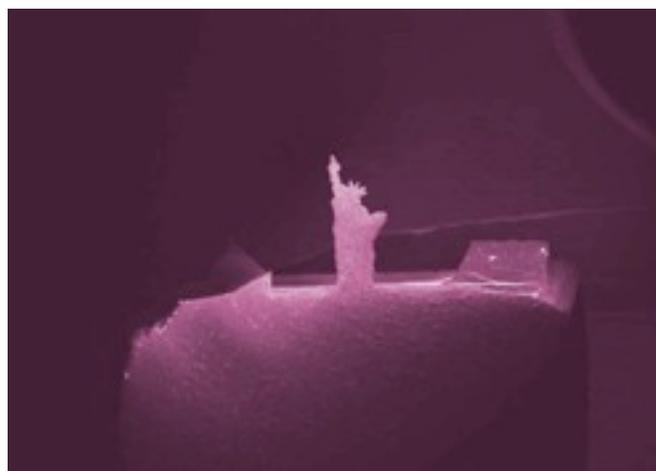


Fig. 13. **Probation**, Alessandro Scali & Robin Goode

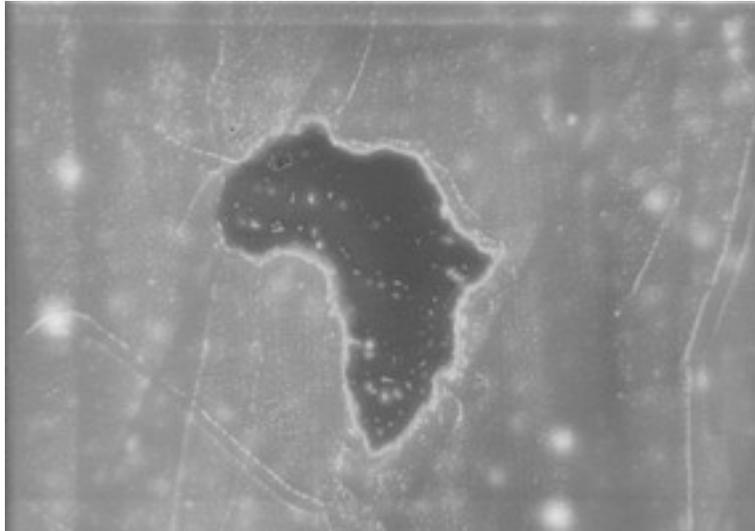


Fig. 14. **Actual size**, Alessandro Scali & Robin Goode.

Al final de estas consideraciones en torno al binomio Ciencia-Cultura, en un escenario internacional complejo, donde coexisten el vertiginoso desarrollo tecnológico (expresión acabada de la inteligencia del hombre), junto a la ambición, desigualdad e injusticia, quisiera citar por última ocasión a Martí: “donde yo encuentro poesía mayor es en los libros de ciencia, en la vida del mundo, en el fondo del mar, en la verdad y música del árbol, y su fuerza y amores, en lo alto del cielo, con sus familias de estrellas, - y en la unidad del universo, que encierra tantas cosas diferentes, y es todo uno”.

Decía Fidel Castro, a poco tiempo de que comenzaran a surgir la nanociencia y la nanotecnología, que “el futuro de nuestra patria debe ser necesariamente un futuro de hombres de ciencia, un futuro de hombres de pensamiento”. Son los hombres de ciencia y los hombres de pensamiento quienes deberán aprovechar las riquezas del nanomundo desde la fortaleza que las posturas éticas y cultas proveen, y de esta manera protagonizar una Revolución Científica justa y emancipadora. Y si de definir el alcance de una Revolución se trata, finalizo con otra afirmación de Fidel Castro: “Una Revolución es una lucha contra lo imposible; y lo posible se alcanza siempre luchando contra lo imposible”.

Muchas gracias.

### **Bibliografía consultada.**

1. J.A. Martín Gago, "Nanociencia y Nanotecnología: Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro". Publicación de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología [<http://www.fecyt.es>] (2009).
2. A. Correia, J.J. Sáenz y P. A. Serena, "El lento despertar de la nanotecnología en España", Revista Sistema Madri+d 35, 3-7 (2006).
3. P. A. Serena y A. Correia, "La Nanociencia y sus Aplicaciones", Física y Sociedad 16, 10-15 (2005).
4. T. Sánchez, V. Velazco Rodríguez y J.M. Martínez Duart, "Nanociencia y Nanotecnología: La tecnología Fundamental del Siglo 21" (2005).
5. A. Correia, "Nanociencia y Nanotecnología en España". Publicación de la Fundación Phantoms. (2009).
6. F. Castro Díaz Balart, Conferencia Magistral "Física y Contemporaneidad". (2012).
7. F. Castro Díaz Balart, Conferencia Magistral "La ciencia contemporánea en un mundo desigual" . (2012).
8. A. Lage Dávila, La ciencia y la cultura: Las raíces culturales de la productividad.
9. A.Hernández, "Implicaciones Sociales de la Nano-Tecnología", opiniónynoticias.com, Venezuela (2009).
10. T. Sargent, "La Danza de las Moléculas" (2007).
11. C. García Canal. Ciencia = Cultura. [<http://ific.uv.es/rei/arte/cienciacultura.htm>] (2009).
12. Grupo ETC, Manual de bolsillo en tecnologías nanoescalares y la teoría del Little BANG". (2005).
13. Grupo ETC, La inmensidad de lo mínimo. (2003).
14. J. Martí, Obras Completas, Editorial Nacional de Cuba, La Habana, 1963 – 1973.
15. [Is NanoArt the New Photography? - The New York Times](http://www.nytimes.com/slideshow/2008/01/17/technology/20080117_NANOART_SLIDESHOW_index.html/) [[http://www.nytimes.com/slideshow/2008/01/17/technology/20080117\\_NANOART\\_SLIDESHOW\\_index.html/](http://www.nytimes.com/slideshow/2008/01/17/technology/20080117_NANOART_SLIDESHOW_index.html/)]