

Esther Aramendia

# Supernano

Teresa de los Arcos

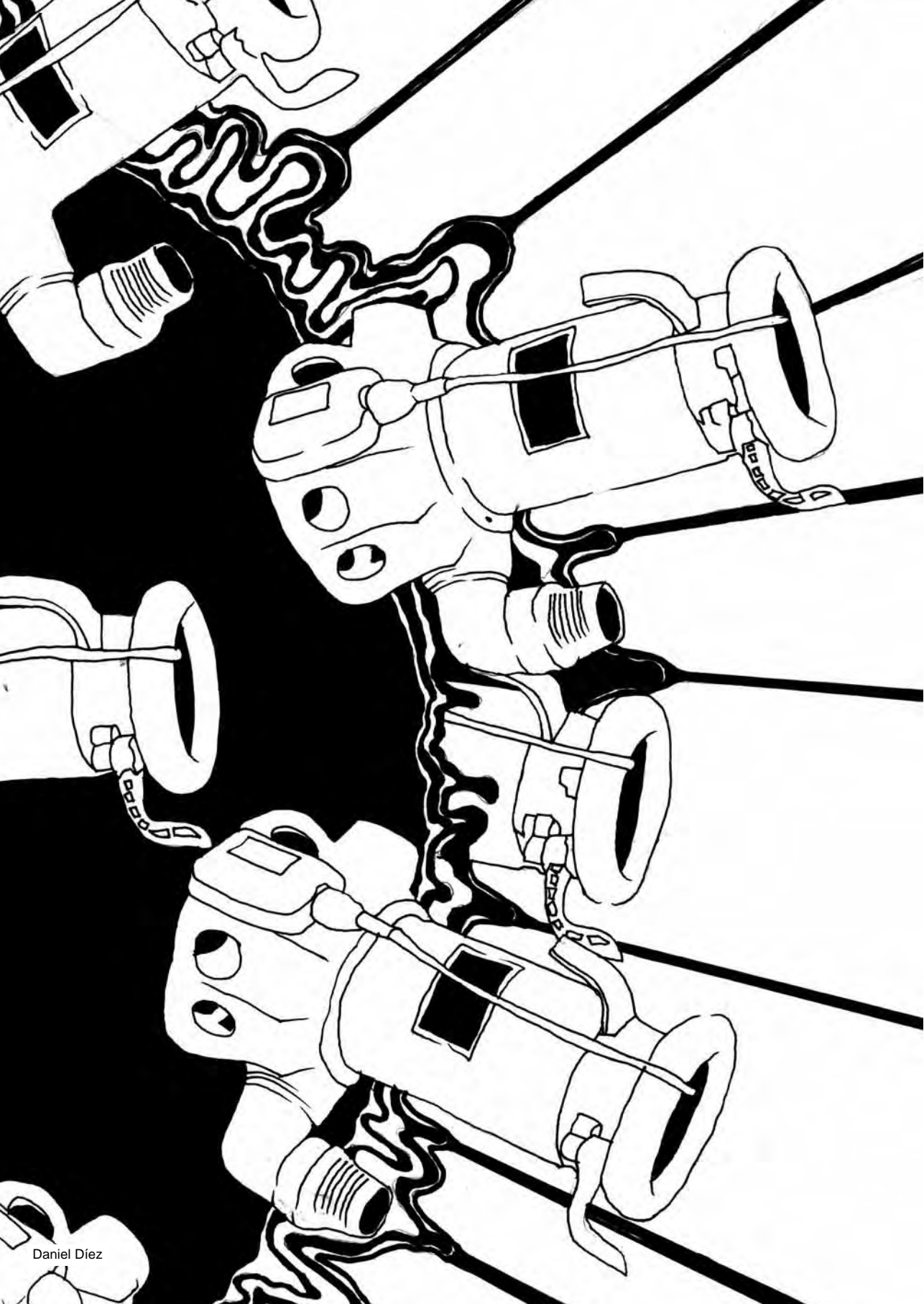


**Biografía.** *Desarrolló sus estudios de doctorado en el Instituto de Estructura de la Materia del CSIC y la Universidad Autónoma de Madrid. Tras una estancia anual en el Instituto Nacional de Investigación Industrial de Hokkaido (Japón), pasó a formar parte del Departamento de Física de la Universidad de Basilea (Suiza), y del Instituto Suizo de Nanotecnología, donde se habilitó en 2007. Actualmente trabaja en el grupo de Plasmas Aplicados de la Universidad del Ruhr en Bochum, Alemania. En 2008 ganó la tercera edición del premio de ensayo Esteban de Terreros por su obra “La era del Camaleón”, publicada por Editorial Síntesis.*

**Resumen.** Un lingote de oro tiene las mismas características físicas que una pepita: los dos son reconocibles como oro. Pero un pequeño agregado de apenas cien átomos de oro es un animal de otra especie. Existe una frontera por debajo de la cual tiene lugar un cambio *cuantitativo* en las propiedades de la materia. El origen de este cambio se debe a que, conforme consideramos fragmentos cada vez más pequeños, emergen propiedades típicamente cuánticas que raramente se ponen de manifiesto en nuestro mundo macroscópico. Propiedades que son patrimonio del mundo de átomos y moléculas, el mundo que estudia la nanotecnología. Esta ciencia de lo minúsculo ha abierto un enorme abanico de nuevas posibilidades en campos tan alejados entre sí como la lucha contra las enfermedades, las nuevas tecnologías informáticas o la aparición de nuevos materiales. Las nanopartículas son materiales extremadamente reactivos debido a que cuanto menor es el tamaño de una partícula mayor es la cantidad de superficie disponible para la misma cantidad de masa. Además, su reducido tamaño les permite moverse sin impedimentos a través de las diversas barreras externas e internas de los organismos y penetrar en el interior de las células de los órganos vitales. Estas características las hacen tremendamente interesantes en diversas aplicaciones biomédicas pero también obligan a profundizar en el estudio de su posible toxicidad.

**Summary.** A gold ingot has the same physical characteristics as a seed: both are recognizably golden. However, a small aggregate of barely one hundred atoms of gold is something altogether different. There is a limit below which a *qualitative* change takes place in the properties of matter. This change occurs because, as the fragments become smaller, quantum properties emerge that are rarely visible in our macroscopic world. These properties belong to the world of atoms and molecules, the world studied by nanotechnology. This science of the minuscule has opened up a huge range of new possibilities in fields as different as disease prevention, new computer technologies or new materials development. Nanoparticles are extremely reactive materials because the smaller the particle the greater the surface area available for the same amount of mass. Also, their small size allows them to move freely through the different external and internal barriers of organisms and penetrate the cells of vital organs. These characteristics make them tremendously interesting in different biomedical applications but also require in-depth research in order to study their possible toxicity.

**Résumé.** Un lingot d'or possède les mêmes caractéristiques physiques qu'une pépète : les deux sont reconnaissables comme de l'or. Mais un petit agrégat d'à peine cent atomes d'or est un animal d'une autre espèce. Il existe une frontière sous laquelle a lieu un changement *qualitatif* dans les propriétés de la matière. L'origine de ce changement est due au fait que, au fur et à mesure que nous considérons des fragments de plus en plus petits, il émerge des propriétés typiquement quantiques qui sont rarement mises en évidence dans notre monde macroscopique. Des propriétés qui sont patrimoine du monde des atomes et moléculas, le monde qui étudie la nanotechnologie. Cette science du minuscule a ouvert un énorme éventail de nouvelles possibilités dans des domaines aussi éloignés entre eux que la lutte contre les maladies, les nouvelles technologies informatiques ou l'apparition de nouvelles matières. Les nanoparticules sont des matières extrêmement réactives compte tenu que plus la taille d'une particule est petite, plus la quantité de surface disponible pour la même quantité de masse est grande. De plus, leur taille réduite leur permet de se déplacer sans aucune gêne à travers les diverses barrières externes et internes des organismes et de pénétrer dans les cellules des organes vitaux. Ces caractéristiques les rendent énormément intéressantes dans diverses applications biomédicales mais obligent également à approfondir dans l'étude de leur éventuelle toxicité.



■ Imaginen un compilador de materia, un aparato no mucho mayor que un microondas, capaz de generar cualquier objeto –un colchón, una comida completa, una aspirina– a partir de sus átomos constituyentes. Imaginen diminutas máquinas del tamaño de un virus, auténticos cirujanos moleculares navegando por nuestras venas, capaces de atacar enfermedades y reparar el daño producido a nivel celular. Imaginen membranas capaces de extraer átomos individuales de cobre, plomo, o azufre para su reciclaje a partir de agua y aire polucionados, purificando agua y aire en el proceso. Imaginen sistemas inteligentes de dosificación de fármacos que una vez implantados liberan la medicación en la dosis precisa, sólo cuando es necesaria.

Si piensan que esta lista de ejemplos parece cosa de ciencia ficción no van descaminados. Parte son ideas explotadas por el escritor americano Neal Stephenson en su novela «La era del diamante», cuyo argumento se desarrolla contra el telón de fondo de una sociedad basada en nanotecnología. Parte son temas bajo discusión entre la comunidad científica actual.

¿Pueden distinguir cuáles son cuáles?

A poco que rebusquemos información sobre nanotecnología, una de las primeras cosas que saltan a la vista es el uso de los superlativos. No parece haber problema que no se pueda solucionar o paliar a través de la nanotecnología, bien se trate de la lucha contra el cáncer, el desarrollo de nuevas tecnologías informáticas o la cuestión del agua. La nanotecnología está de moda. Se presenta con frecuencia como una solución mágica a nuestras dificultades presentes y futuras y se hace tomando prestado un tipo de lenguaje reservado hasta ahora para los escritores de ciencia ficción. Así, como justamente recalca Colin Milburn en su estupendo análisis del lenguaje empleado en nanotecnología, se habla de visiones futuras no como de una proyección mental, sino como si fueran una consecuencia lógica e *inevitable* de la investigación que se lleva a cabo hoy en día. Personalmente, comparto la opinión de que el tremendo potencial de la nanotecnología es real. Entiendo también que el deseo de transmitir sus fascinantes posibilidades –que los avances realizados nos permiten ya vislumbrar– es irresistible. Sin embargo, la enorme zanja existente entre promesa y realidad actual provoca gran confusión, contribuye a crear falsas expectativas y pudiera incluso terminar por generar desilusión y desconfianza. Esto de la nanotecnología, en realidad... ¿qué es?

Antes de hablar de la tecnología, debemos considerar la ciencia. O mejor dicho, la nanociencia, que estudia las propiedades del mundo nanométrico. Al contrario que las especialidades «clásicas», como física, o química, o biología –definidas por los objetos bajo estudio o por las metodologías empleadas–, la nanociencia se define única y exclusivamente por las dimensiones de los objetos a estudiar. ¿Por qué? ¿Dónde radica la fascinación del nanómetro? De hecho, ¿qué *es* un nanómetro?

Un nanómetro es la milmillonésima fracción de un metro, información que de por sí quizás no ayude demasiado. Las dimensiones de interés en nanociencia son difíciles de visualizar. Una esfera de un nanómetro de diámetro tiene la misma relación con una manzana que la manzana con el planeta Tierra. Un pelo humano mide en torno a los cincuenta mil nanómetros de diámetro; un grano de polen, unos diez mil; un glóbulo rojo unos setecientos; los virus oscilan entre los doscientos y los veinte nanómetros; la molécula de

ADN tiene una dimensión lateral de dos nanómetros; un átomo de hidrógeno ocupa la décima parte de un nanómetro.

Uno de los conceptos fundamentales en nanociencia es que existe una frontera natural por debajo de la cual tiene lugar un cambio *cualitativo* en las propiedades de la materia. Consideraciones adquisitivas aparte, un lingote de oro tiene las mismas características físicas que una pepita de un milímetro: los dos son reconocibles como oro. Pero un pequeño agregado de apenas cien átomos de oro es un animal de otra especie. El origen del cambio se debe a la emergencia gradual, conforme consideramos fragmentos cada vez más pequeños, de propiedades típicamente cuánticas que raramente se ponen de manifiesto en nuestro gigantesco mundo macroscópico; propiedades patrimonio del mundo de átomos y moléculas. Las dimensiones concretas para las que se exterioriza esta transición son distintas para cada material pero se encuentran en el rango de entre uno a cien nanómetros. La metamorfosis se manifiesta de distintas formas. Por ejemplo, sustancias inertes por excelencia, como los metales nobles, pueden ser muy reactivas en forma de nanopartículas; las propiedades electrónicas de los cuerpos cambian de forma drástica; los sólidos se funden; los materiales cambian de color.

La transición no es abrupta. Entre el mundo macroscópico y el mundo molecular se extiende una zona fronteriza. Una jungla poblada por criaturas fantásticas con excitantes e inesperadas características. Los estudios de la nanociencia nos ayudan a comprender cómo funciona el mundo a esas escalas –las escalas, por cierto, de las máquinas moleculares por excelencia, como son proteínas o enzimas–. La ciencia nos muestra también que las propiedades de estos objetos dependen de forma crucial de su tamaño y su forma. Nos permite por tanto elaborar predicciones del estilo de «si pudiéramos construir algo *así* y *así*, podríamos conseguir *esto* y *aquello*». «Esto y aquello» son las frases que acaban en los titulares de los periódicos y en las novelas de ciencia ficción. Pero sin el crítico condicional de la frase original. La ciencia nos muestra el potencial, pero... ¿está la tecnología a la altura del desafío? ¿Hasta dónde se extiende nuestra capacidad de manipular? ¿Es realmente posible imitar o incluso superar a la naturaleza en la construcción física de máquinas moleculares? ¿Alcanzaremos en un futuro próximo una gloriosa era diamantina gracias a la nanotecnología o se trata de un espejismo pasajero?

La hipótesis del control omnipotente a nivel molecular ha contribuido mucho a la confusión en cuanto a qué supone realmente la nanotecnología. Esta idea fue popularizada en torno a la década de los noventa por Eric Drexler, ingeniero americano, en su libro «El surgimiento de las máquinas de creación». El motivo central de esta obra, concebida como tratado científico y de gran influencia en su momento, es el convencimiento de que es físicamente posible desarrollar «nanorrobots» con la capacidad de manipular la materia átomo a átomo, molécula a molécula. Con la capacidad por lo tanto de construir cualquier cosa a base de poner sus átomos constituyentes en posición. La viabilidad teórica de este concepto rechazado por la mayoría de los científicos, incluyendo gigantes del campo como Richard Smalley, es algo que podemos dejar para un debate en otro momento. Lo que está fuera de toda discusión es que la nanotecnología, hoy por hoy, no funciona así.

Las estrategias básicas de la nanotecnología son dos. La más evidente es la empleada por el «nanoingeniero», y consiste simplemente en alcanzar –usando métodos que no tienen nada de simple– el rango nanométrico a través de miniaturización progresiva. Esto

es lo que se hace por ejemplo en la elaboración de circuitos integrados, cuyos componentes son cada vez más pequeños, y que, de hecho, ya han alcanzado las dimensiones míticas del «nano». Es también la filosofía tras los microscopios de efecto túnel o de fuerzas atómicas, capaces de distinguir átomos individuales y que interactúan con la materia a través de puntas finísimas –elaborando una imagen a partir de un estímulo «táctil», en lugar del estímulo «visual» de los microscopios ópticos o de electrones–.

Más sutil y conceptualmente mucho más interesante es la segunda estrategia, que se basa en controlar no el objeto de interés, sino las condiciones de su entorno, creando una situación en la que sus átomos componentes se reorganizan por sí mismos espontáneamente. Se puede operar de distintas formas: el «nanobioquímico» emula la forma de interactuar de la materia viva y opera en entornos líquidos; el «nanofísico» elabora sus nanomateriales en condiciones de vacío. Tomemos por ejemplo la famosísima molécula de C<sub>60</sub>, descubierta en 1985 por los premios Nobel Kroto, Smalley y Curl. El C<sub>60</sub>, convertido prácticamente desde su descubrimiento en un icono cultural, es el miembro estrella de la amplia familia de los fullerenos, moléculas huecas de carbono de dimensiones diminutas. Se trata de una molécula de apenas un nanómetro de diámetro, compuesta por sesenta átomos de carbono dispuestos en una estructura esférica como la de un balón de fútbol –concretamente, el clásico de los pentágonos negros–. No hay manera de elaborar semejante estructura a base de pulverizar un bloque sólido de carbón hasta convertirlo en fragmentos nanométricos. Pero si creamos un vapor de átomos de carbono bajo las *condiciones adecuadas*, estos se reorganizan formando las esferas deseadas, de forma tan inevitable como que todo lo que sube, baja. El desafío en estos casos, obviamente, está en avanzar en nuestra comprensión básica del entorno hasta alcanzar el grado de sabiduría necesario para manipularlo de forma controlada. Encontrar las condiciones adecuadas para cada caso.

Lo que se puede conseguir con la combinación de estas tres metodologías básicas no es de desdeñar y es más que suficiente para hacernos ver que, efectivamente, la nanotecnología tiene un potencial superlativo para afectar prácticamente todos los campos del conocimiento. Hemos aprendido ya a crear y manipular un número ingente de distintas nanopartículas, nanovesículas, nanotubos, y nanocables, materiales todos ellos con rangos de aplicabilidad amplísimos. Estos objetos poseen exóticas propiedades que nos permiten interactuar con la materia de formas nuevas y con gran precisión. Son nuestra puerta de acceso a una nueva forma de controlar nuestro entorno: son sensores tan delicados que pueden detectar una sola molécula; son focos de luz capaces de marcar la posición de células individuales; son pilas con la habilidad de donar electrones uno a uno. Al poseer las mismas dimensiones que los bloques básicos tanto de los organismos vivos como de la materia inorgánica son, en fin, nuestras manos y nuestros ojos al nivel más elemental de manipulación. Así pues, ¿nanopartículas con la capacidad de introducir profundos cambios en técnicas de diagnóstico o tratamientos en medicina? Sin duda. ¿Ordenadores cuánticos? Quizás. ¿Compiladores de materia? No.

Por otra parte, existe otro aspecto de la nanotecnología que hay que considerar. Como todo, tiene también un potencial negativo que se presenta a veces, en la misma línea sensacionalista que hemos comentado, como una amenaza de dimensiones apocalípticas que tiene poco que ver con la realidad. Un ejemplo bastante burdo al respecto es «Presas», una

novela de Michael Crichton donde enjambres organizados de nanocosas voladoras escapadas de un laboratorio aguardan al acecho para caer sobre pasantes indefensos y devorarlos. No tan burda, y mucho más influyente, fue de nuevo la obra de Drexler, quien, en su desarrollo de la idea de máquinas moleculares llegó a la conclusión de que éstas tenían un potencial real de destruir el mundo a base de auto replicarse sin control, dismantelar la materia átomo por átomo y terminar por convertir la superficie del planeta en una papilla uniforme. Esta forma insustancial de hablar de los posibles aspectos negativos de la nanotecnología resulta particularmente discordante a muchos, ya que por un lado es sin duda inquietante y, por otro, distrae de los problemas reales. Smalley, tras una serie de inicialmente educados intercambios por carta abierta con Drexler –donde ninguno convenció al otro– acabó aullando desde sus líneas: «¡Estás asustando a nuestros hijos!» Sin embargo, y a pesar de los temores de Smalley, afortunadamente la nanotecnología no se percibe como algo negativo entre el público. Al menos de momento. Pero si la teoría de la papilla gris no es creíble, ¿en qué consiste entonces el lado oscuro de la nanotecnología?

Las ventajas de las nanopartículas son, por un lado, que cuanto menor es su tamaño, mayor es la cantidad de superficie disponible para la misma cantidad en masa de una sustancia. Este cambio cuantitativo, combinado con el cambio cualitativo de propiedades una vez cruzada la frontera del mundo cuántico hace de las nanopartículas materiales extremadamente reactivos. Por otra parte, su reducido tamaño les permite moverse sin impedimentos a través de las diversas barreras externas e internas de los organismos y penetrar el interior de células de órganos vitales como corazón, hígado o incluso el cerebro. Estas características, que son precisamente lo que las hace interesantes en posibles aplicaciones biomédicas, son también lo que las convierte en factores de riesgo.

Hoy en día el revuelo indiscriminado que levanta todo aquello con el prefijo nano ha hecho que ya se encuentren en el mercado una serie de productos que dicen contener nanopartículas. De momento se trata sólo de productos de primera generación, que básicamente utilizan las nanopartículas para mejorar sus propiedades: nanotubos de carbono como refuerzo en raquetas de tenis, partículas de plata con excelentes propiedades antibacteriales o nanopartículas de óxidos de cinc y titanio en cremas de protección solar, por ejemplo. Este es sólo el comienzo. Si la nanotecnología sigue avanzando –lo que, dada la inversión en el tema, parece inevitable–, no es irrazonable preguntarnos acerca de la posibilidad de que nuestro entorno se vea progresivamente inundado por una serie de nanomateriales de los cuales se desconoce su posible impacto tóxico o medioambiental. Con esto en mente, resulta un tanto inquietante el que la mayoría de los «nanoproductos» existentes estén pensados para ser usados en contacto directo: cosméticos, vendajes antisépticos, envoltorios de alimentos, filtros para grifos, e incluso, a nivel de anécdota escafoliante, ositos de peluche para bebés.

El problema es que las legislaciones actuales todavía no tienen en cuenta que la posible toxicidad de estos nanomateriales no está controlada tanto por su composición química como por su forma y su tamaño. Esta información no aparece en la descripción de los productos nano presentes en el mercado. Pero aunque la información acerca de las características concretas de las nanopartículas empleadas estuviera disponible, lo más probable es que no nos resultara muy útil ya que la ciencia dedicada al estudio de la toxicidad de estos nuevos materiales todavía está en su infancia. No olvidemos lo que ya

sabemos: el incremento masivo de emisiones de partículas a raíz de la Revolución Industrial –producto en general de procesos de combustión– nos ha permitido constatar su tremendo efecto negativo en caso de inhalación. ¿Qué ocurrirá con las nanopartículas del futuro próximo? ¿Existe peligro de inhalarlas de forma incontrolada? ¿Podemos absorberlas a través de la piel por el uso de cosméticos o cremas? Y si las absorbemos, ¿suponen un peligro para nuestros órganos internos? ¿Qué pasa si las tragamos? ¿Cómo afectan a plantas o animales? ¿Y el impacto medioambiental? De momento, se trata de preguntas sin respuesta que es necesario y urgente clarificar.

Dicho esto, lo cierto es que la nanotecnología se encuentra en un estadio fascinante. Nos encontramos ante un océano de nuevas posibilidades que de momento no sabemos navegar, pero cuyos misterios intuimos desde nuestra posición en la orilla. La construcción de barcos que nos permitan explorar esta inmensidad ha comenzado. El viaje promete ser apasionante; la aventura, digna de ser vivida. Incluso si resulta que, después de todo, no encontramos la civilización perdida de la Atlántida. No lo veo como un problema. Al fin y al cabo, para sueños de ese tipo es para lo que tenemos la ciencia ficción.

### **Bibliografía y fuentes de información**

- [1] Colin Milburn, 2002: “Nanotechnology in the age of posthuman engineering: Science fiction as science”. *Configuration* 10: 261-295. Ed. Johns Hopkins University Press y la Sociedad para Ciencia y Literatura.
- [2] Informe de la «Royal Society» acerca de las oportunidades e incertidumbres de la nanociencia y nanotecnología (en inglés). Accesible a través de Internet: [www.nanotec.org.uk/finalreport.htm](http://www.nanotec.org.uk/finalreport.htm).
- [3] Eric Drexler, 1993: “La nanotecnología: el surgimiento de las máquinas de creación”. Editorial Gedisa. (Título original en inglés: “Engines of Creation”).