

DRAKONTOS

José Ángel Martín-Gago,
Carlos Briones, Elena Casero
y Pedro A. Serena

DK



El nanomundo en tus manos

Las claves de la nanociencia y la nanotecnología

CRÍTICA

El nanomundo en tus manos

Las claves de la nanociencia y la nanotecnología

José Ángel Martín-Gago
Carlos Briones
Elena Casero
Pedro A. Serena

Prólogo de Emilio Méndez
Premio Príncipe de Asturias de
Investigación Científica y Técnica, 1998

CRÍTICA
BARCELONA

Primera edición: junio de 2014

El nanomundo en tus manos

José Ángel Martín-Gago, Carlos Briones, Elena Casero y Pedro A. Serena

No se permite la reproducción total o parcial de este libro,
ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión
en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico,
mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos,
sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción
de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito
contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes
del Código Penal)

Dirijase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos)
si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.
Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com
o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

© José Ángel Martín-Gago, Carlos Briones, Elena Casero y Pedro A. Serena, 2014
Coordinador: José Ángel Martín-Gago

© Editorial Planeta S. A., 2014
Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)
Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

editorial@ed-critica.es
www.ed-critica.es
www.espacioculturalyacademico.com

ISBN: 978-84-9892-719-1
Fotocomposición: gama, sl
Depósito legal: B. 10877-2014
2014. Impreso y encuadernado en España por Huertas Industrias Gráficas, S. A.

•

Índice

<i>Prólogo</i>	7
1. Introducción al nanomundo	15
2. Nanociencia y nanotecnología	21
2.1. Hacia lo más pequeño: el mundo invisible	21
2.2. Nanociencia y nanotecnología	29
2.3. El ocaso de la tecnología actual	33
2.4. La revolución «nano»	39
2.5. Seis preceptos para hacer el camino	44
2.6. Las bases del mundo «nano»: el pasado	50
2.7. Áreas de estudio y aplicación: el presente	57
2.8. El camino hacia la tecnología: el futuro	62
2.9. Implicaciones sociales	66
3. Herramientas para construir el nanomundo	69
3.1. Necesidad de nueva instrumentación	69
3.2. Técnicas de fabricación	73
3.3. Técnicas de microscopía	78
3.4. Técnicas de caracterización	85
3.5. Manipulación en la nanoescala	88
4. Nuevos materiales para una nueva revolución tecnológica	95
4.1. Los materiales para el siglo XXI	96
4.2. Formas tradicionales de carbono: diamante y grafito ...	100

4.3. Nuevos materiales de carbono: grafeno, nanotubos de carbono y fullerenos.	102
4.4. El variado mundo de los nanocomposites.	120
4.5. Los intrincados pasadizos de los materiales nanoporosos	124
4.6. Materiales biomiméticos o bioinspirados.	129
4.7. Los nanomateriales y la vida diaria: los beneficios y riesgos de lo «nano»	132
5. Nanotecnologías para la sociedad de la información	135
5.1. Siglo xxi: la llegada del «homo digitalis».	136
5.2. El nacimiento de la electrónica: del vacío a los semiconductores.	138
5.3. La increíble historia del transistor menguante	144
5.4. Más pequeño, más datos.	149
5.5. ¿El fin de la nanoelectrónica del silicio?	151
5.6. El movimiento de los electrones en la nanoescala	157
5.7. La nanoelectrónica sin silicio	163
5.8. La caída del reinado de la electrónica.	169
5.9. Supercomputación y el ser humano «hiperrelacionado».	176
6. Nanoquímica: El puzzle de las moléculas	181
6.1. Química y nanotecnología	182
6.2. La química supramolecular	184
6.3. La formación de monocapas autoensambladas.	199
6.4. Los biosensores y sus aplicaciones.	203
6.5. Las nanopartículas metálicas: síntesis y aplicaciones.	211
6.6. Los polímeros conductores.	213
7. Nanobiotecnología y nanomedicina	217
7.1. La vida y el nanomundo	217
7.2. La química de la vida	218
7.3. Donde el microscopio no llega	221
7.4. Virus y ribosomas: dos tipos de nanomáquinas naturales	224
7.5. Manipulando biomoléculas individuales	229
7.6. El ADN como nanobiomaterial	234
7.7. Hacia la vida sintética.	240

7.8. Los nanobiosensores y sus aplicaciones	245
7.9. Los retos de la nanomedicina	249
7.10. Nanosistemas dispensadores de fármacos	252
7.11. Los nanorobots del futuro	256
8. Perspectivas, aplicaciones actuales e implicaciones sociales	261
8.1. La evolución de la tecnología y el conocimiento	262
8.2. La convergencia NBIC: Nano+Bio+Info+Cogno	264
8.3. El miedo a la nanotecnología	269
8.4. Los esfuerzos por la regulación y la formación	274
8.5. Nanotecnología, sostenibilidad y medioambiente	279
8.6. Productos en el mercado.	281
8.7. El nanomundo en la cultura	291
9. Lecturas recomendadas	297

Introducción al nanomundo

Desarrollo de la investigación y tecnología al nivel atómico molecular o macromolecular, en la escala de 1-100 nanómetros, para obtener una comprensión de los fenómenos fundamentales y materiales en la nanoescala, y crear y utilizar estructuras, dispositivos y sistemas con nuevas propiedades y funciones originadas por su pequeño y/o intermedio tamaño.

Definición de la Fundación Nacional de la Ciencia de EE.UU.
(http://www.nsf.gov/crssprgm/nano/reports/omb_nifty50.jsp)

La nanotecnología estudia la manipulación de la materia a escala atómica y molecular.

Definición de Wikipedia

La figura con la que comenzamos este libro (Figura 1.1) muestra un ejemplo del trabajo realizado por algunos de los científicos del centro IMDEA Nanociencia situado en Madrid. Esta «sonrisa de CO» se obtuvo manipulando diez moléculas individuales de monóxido de carbono para colocarlas en las posiciones deseadas sobre una superficie de cobre, y el «nanoemoticono» pudo ser visualizado empleando un potente microscopio de efecto túnel. Hoy en día, este tipo de experimentos no nos sorprenden. En primer lugar, porque probablemente no se alcanza a comprender su significado último o su relevancia. Así, en los foros abiertos de la edición digital donde se publican este tipo de noticias, un lector escribía el siguiente comentario: «en esto se divierten y malgastan el dinero de investigación nuestros científicos».

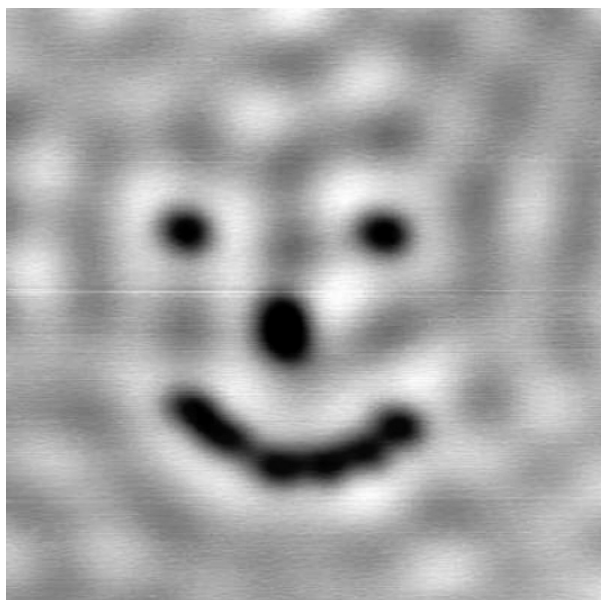


FIGURA 1.1. Sonrisa de CO. Cada bola negra es una molécula de monóxido de carbono (CO) depositada sobre una superficie. Gentileza de IMDEA-Nanociencia.

En parte es comprensible el malestar del lector, ya que los investigadores, en muchas ocasiones, no somos capaces de difundir la motivación que lleva a realizar este tipo de experimentos. En un afán por atraer la atención de un público con poca formación científica, presentamos los resultados de la manera más espectacular posible, tanto que finalmente pueden llegar a perder su sentido. Algunas veces, la ciencia transmite la sensación de que se estudian cuestiones intrascendentes o de que los investigadores realizan su trabajo fundamentalmente «para divertirse». Una divulgación adecuada es realmente difícil de conseguir ya que los lectores poseen una formación muy heterogénea, con una cultura científica por lo general escasa y además los temas que se pretenden divulgar son muy especializados.

Por otra parte, figuras como ésta pueden no sorprender al público porque nos hemos acostumbrado a leer o escuchar infinidad de noticias científicas espectaculares. Tenemos la impresión de que con la ciencia y la tecnología todo es posible, y si no lo es en el presente lo

será en un futuro muy cercano. La rápida evolución de la electrónica, que ha invadido nuestros hogares con dispositivos cada vez más potentes y versátiles, o los continuos progresos en medicina no invasiva, han ayudado a afianzar esta idea. Y no cabe duda de que tal percepción sobre los avances científico-tecnológicos es particularmente acertada cuando hablamos de nanotecnología.

Cuando se oye la palabra «nanotecnología» la mayor parte del público, aun sin tener claro su significado, piensa en robots o dispositivos de muy pequeño tamaño que llegarán a nuestras vidas para convivir con nosotros. Se espera que la gran capacidad de la ciencia para manipular lo más pequeño revolucione aún más nuestra forma de vida, y que sus creaciones se instalen de manera definitiva en todos los ámbitos, desde la medicina hasta el ocio, pasando por campos tan dispares como los nuevos materiales o la construcción de edificios. Esta percepción de la nanotecnología es una espada de doble filo. Por una parte alimenta nuestra imaginación y esperanza en un futuro mejor, pero por otra nos genera incertidumbre y miedo. Miedo a los efectos para la salud, a la deshumanización e incluso a que los «nanorrobots» se acaben apoderando del mundo en un escenario catastrófico similar al que hemos visto en tantas películas de Hollywood. De hecho, en una parte del imaginario colectivo, los peores enemigos de la especie humana son unos personajes peculiares: los científicos locos y ansiosos de poder. Ellos desencadenan devastadoras epidemias, fabrican terroríficas armas letales, están detrás del cambio climático, contaminan el planeta, provocan guerras nucleares, o fabrican en sus laboratorios clones que se apoderan de los humanos. Ahora, además, son capaces de construir nanomateriales y nanodispositivos que pueden incluso controlarnos desde nuestro interior. Así, comienzan a aparecer libros y películas en los que «los malos» han sido contruidos en laboratorios secretos y tienen un nombre propio: nanorrobots autorreplicantes. ¿Qué superhéroe parará la ambición de estos nuevos villanos? Un ejemplo real del miedo generado lo encontramos nada menos que en el príncipe Carlos de Inglaterra, quien, temeroso de que los nanorrobots aniquilen la vida en nuestro planeta, pidió a la Real Sociedad de Londres que investigase el riesgo de la nanotecnología y pusiese en marcha una moratoria a su implantación. Esta peti-

ción fue aplaudida por muchos grupos radicalmente opuestos al desarrollo científico.

Los riesgos de la implantación de cualquier nueva tecnología son inciertos y sin duda deben ser evaluados. Por ello, en la actualidad los científicos están debatiendo la eventual peligrosidad de la nanotecnología, mientras la población mira con ojos críticos estos nuevos avances. Se plantea un dilema entre aceptar el progreso que supone un nuevo desarrollo científico revolucionario o escudarnos en el miedo a generar un efecto no deseado a escala global. Como resultado, la sociedad no sabe si acoger con ilusión las nuevas ideas o rechazarlas e impedir su desarrollo.

A todos nos cuesta discernir si muchas de las propuestas científicas se convertirán en realidad o quedarán como mera ciencia ficción. Así, la imagen mostrada en la Figura 1.1 ¿es el reflejo de una revolución tecnológica que puede tener aplicaciones en nuestra vida o no es más que un entretenimiento de frikis que resultará irrelevante en el mundo real? Por lo general, faltan criterios y se carece de la cultura necesaria para comprender los fundamentos esenciales que están detrás de los avances científico-técnicos. Resulta paradójico que hoy en día, viviendo en una sociedad altamente tecnificada en la que no podemos imaginar la vida sin los ordenadores, los teléfonos móviles o los medicamentos, una parte de la sociedad haya vuelto la espalda al conocimiento científico. La ciencia y la tecnología no son consideradas parte de un saber imprescindible, pilares de la cultura como lo son las humanidades y las artes. Así, esta ignorancia se convierte en un terreno abonado para quienes se lucran con el auge de las pseudociencias de toda índole, desde las cartas astrales hasta las «energías ocultas», pasando por todo tipo de creencias irracionales.

La sociedad vive un momento de confusión ante la nanotecnología y no sabe si ya existen nanorrobots submarinos que patrullan por la sangre buscando infecciones o si están a punto de fabricarse en algún laboratorio clandestino. La rapidez con la que las nuevas tecnologías se han instalado en la sociedad, la ingente cantidad de noticias (muchas veces contradictorias) que se suceden sobre estos temas y la falta de comprensión de las mismas han contribuido a que no sepamos diferenciar entre lo posible y lo imposible, entre la ciencia ficción del pre-

sente y lo que será tecnología del futuro. Sin embargo, queramos o no, formamos parte de una realidad condicionada por los avances científico-técnicos y el siglo *xxi* va a ser el de la nanotecnología. Por tanto, debemos hacer un esfuerzo para prepararnos y conocer las tendencias actuales en tecnología. Ése es uno de los objetivos de esta obra: proporcionarnos algunos de los conocimientos necesarios, y por tanto dotarnos de criterios, para poder forjarnos una opinión seria y personal sobre el tema. Porque todo tiene una doble vertiente: su *ying* y su *yang*, sus costes y sus beneficios. También la nanotecnología. Para entender esta contradicción podemos pensar en un ejemplo cercano, tomado de otro ámbito: el problema de la generación de la energía. La sociedad necesita obtener energía, pero la podemos obtener barata y sucia, accesible rápidamente para todos, o por el contrario más cara y limpia, lo que supone invertir para disminuir el impacto ambiental. De igual manera, la nanotecnología es un tema complejo que nos afecta a todos, es una realidad sobre la que la sociedad tiene que opinar y legislar. Es, por tanto, necesario formarse una opinión sobre este nuevo reto tecnológico: entender lo que es, sus riesgos, sus dificultades, su coste.

En cualquier caso, la nanotecnología se nos muestra hoy como una potentísima herramienta capaz de volver a transformar la sociedad como ya lo hiciese la microelectrónica a mediados del siglo *xx*. La potencialidad de sus nuevos desarrollos en todas las áreas del conocimiento parece verdaderamente ilimitada. Uno de los objetivos de este libro es mostrarnos qué se entiende en realidad por nanociencia y nanotecnología, darnos una idea certera y actualizada sobre la «hoja de ruta» para su implantación y discutir tanto sus promesas como sus peligros.

El libro está compuesto por un capítulo general (el Capítulo 2), en el que se revisan los conceptos principales de la nanociencia y la nanotecnología, seguido de varios capítulos específicos (del 3 al 7) dedicados a las diversas áreas de aplicación en distintos ámbitos científico-técnicos. La obra acaba con un capítulo en el que se revisan las consecuencias sociales y las perspectivas de la nanotecnología, mostrando además los principales «nanoproductos» que ya están en el mercado. El objetivo que los autores nos propusimos al escribir esta obra fue que cada uno de los capítulos especializados se pudiese leer

de manera independiente, sin requerir muchas ideas o conceptos de partes anteriores. Así un lector que tuviera curiosidad, por ejemplo, en nanoelectrónica y nanomateriales, podría leer sólo esos capítulos. Por ello es posible que el lector encuentre algunos ejemplos reiterados, que se tratan en distintos capítulos, aportando en cada caso una visión complementaria. Esperamos que la obra resulte interesante a todos los que ahora la tienen en sus manos, y que al terminar este «viaje por el nanomundo» sientan que comprenden mejor las claves de la nanociencia y la nanotecnología.