



CONTRA EL CÁNCER.
Interpretación realizada por ordenador de un nanorobot atacando un tumor en el interior del cuerpo humano.

Bienvenidos al nanomundo

El tamaño sí importa. La revolución de lo pequeño, de la nanotecnología, está en marcha. Tratar a las moléculas de una en una puede abrir puertas insospechadas en medicina, electrónica, industria. La realidad, a ese nivel, presenta características muy distintas al macromundo que vemos. Por **Mónica Salomone**.

El lema apropiado podría ser: “Está pasando... Pero no lo estás viendo”. Nos encontramos en un laboratorio de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM), un laboratorio de nanotecnología, término de moda hace ya tiempo en la ciencia y la ciencia-ficción y que pronto invadirá también, previsiblemente, ambientes no científicos. Nanotecnología suena a robots minúsculos, a *chips* prácticamente invisibles, a máquinas diminutas que se construyen a sí mismas. Pero aquí hay poco *glamour* futurista: sólo un par de ordenadores y un dispositivo irreconocible montado

sobre una mesa. Con este último está trabajando Silvia Hormeño, becaria de doctorado, mientras un monitor nos muestra a cuatro testigos lo que está ocurriendo en el corazón del instrumento. Al menos hasta donde es posible verlo. La pantalla revela la imagen muy aumentada, en blanco y negro, de un tubo puntiagudo con una pequeña esfera en un extremo. Hormeño manipula para aproximar despacio la esfera a otra bolita similar que permanece quieta, y antes de que ambas se toquen vuelve a alejarlas. Repite la operación un par de veces. “Nada. A ver si es una bola

calva...”, dice Ricardo Arias González, visitante posdoctoral en la UAM. “¡Ya está!”. Durante unos instantes la esfera fija sigue a la del tubo en sus movimientos, como arrastrada por un hilo invisible; de repente, una pequeña vibración y la bola vuelve a su posición inicial. “Eso es que se ha roto. Hay que probar otra vez”.

Está pasando, pero no lo estás viendo. Las imágenes en la pantalla dan pistas de lo que sucede entre las dos bolas, pero sólo pistas. Lo que ocurre de verdad no se puede ver; no de la manera en que vemos un perro o una bacteria. Son >



EN EL LABORATORIO. De izquierda a derecha, Julio Gómez, Ricardo Arias González, Silvia Hormeño y Nicolás Agrait, investigadores en la Universidad Autónoma de Madrid.

> procesos que ocurren a una escala de milionésimas de milímetro, de una sola molécula: algo demasiado pequeño como para que la luz visible pueda iluminarlo, así que ni el mejor microscopio basado en esta luz lo puede mostrar. La onda de la luz visible tiene un *grosor* de 380 nanómetros, o sea, no cabe, por así decir, en el mundo de las moléculas. Pero hay otras formas de penetrar en el universo de lo minúsculo. En el experimento anterior ambas esferas son partículas neutras de poliestireno, cada una de dos milésimas de milímetro (micras) de diámetro; la que está quieta tiene pegadas a su superficie varias hebras de ADN –ha sido preparada para que las ten-

ga, aunque podría ser que algo hubiera salido mal y la bola estuviera “calva”-. Al acercar ambas partículas, Hormeño está tratando de que ambas queden enganchadas por una de esas hebras de ADN, y eso

La nanociencia promete nuevos materiales de construcción y ‘balas mágicas’ que guíen a los fármacos sólo a sus objetivos

es efectivamente lo que pasa durante los instantes en que una arrastra a la otra. Este instrumento, llamado pinzas ópticas, permite a los físicos estudiar, entre otras

muchas cosas, la fuerza necesaria para romper una molécula, cuánto es capaz de estirarse, cómo interacciona con otras...

No es como sacar una foto, como *ver*; pero es otra forma muy eficaz de obtener información de un sistema. ¿Por qué es importante? El ADN mide unos dos nanómetros de ancho –dos millonésimas de milímetro–; hasta hace poco no había sido posible estudiar aisladamente una única molécula de ADN. Cuando los biólogos trabajan con ADN lo hacen con muchísimas moléculas, no con una sola. Y hay una enorme diferencia. Trabajando con una sola molécula se puede entender por qué es como es, por qué hace lo que hace.

Un cambio de enfoque es sobre todo

lo que ofrece la ciencia de lo *nano*, de lo que ocurre a escalas de millonésimas de milímetro. Muchos han anunciado este cambio como revolucionario en muchísimos ámbitos, no sólo en el biológico. La nanociencia promete *chips* tan pequeños que se podrán llevar en la ropa, embebidos en el tejido. Promete nuevos materiales y técnicas de construcción. Promete *balas mágicas* que guíen a los fármacos sólo hasta las células que los necesitan. En realidad, los máximos promotores de la nanociencia dicen que se podrá hacer casi de todo, ya sean trajes flexibles pero impenetrables, máquinas descontaminantes o materiales capaces de multiplicar enormemente la eficacia de las células solares fotovoltaicas. En 1986, Eric Drexler –charlatán visionario para unos, eficaz divulgador para otros– imaginó y publicó un futuro utópico con nanorrobots autorreplicantes capaces desde construir un edificio hasta patrullar por el cuerpo humano para repararlo desde dentro. Esa *visión* tuvo mucho éxito y puede que sea el ingrediente principal de ese futurismo *hollywoodiano* que el término nanotecnología evoca en el público.

Pero, Drexler o no Drexler, en general hasta los más comidos admiten hoy que de la manipulación del nanomundo derivan muchas aplicaciones potenciales. “Las perspectivas que abre la nanotecnología son impresionantes, y será posible, a lo largo de las dos próximas décadas, obtener potenciales avances que ahora parecen de ciencia-ficción”, escriben en un informe los expertos de la red española de

investigación en nanotecnología, Nanospain. “Está claro que la lista de aplicaciones es muy grande y que el impacto en la sociedad será decisivo. La implantación de

la nueva forma de pensar es tan arrolladora que las diversas comunidades científicas se han apresurado a bautizar algunas de las parcelas donde trabajaban con nombres donde el prefijo nano es el indicador de este cambio de tendencia. Ya se habla de nanoquímica, nanomedicina, nanomecánica, nanomagnetismo, nanobiología, nanobiotecnología, nanoelectrónica... Estamos saliendo de la era de lo micro y entrando en la era de lo nano".

Las fuertes inversiones en lo nano de Estados Unidos, Japón y Europa demuestran que la nanotecnología se toma muy en serio. El presupuesto de George W. Bush para 2007 destina 1.200 millones de dólares a la Iniciativa Nacional en Nanotecnología, establecida en 2001. En la UE, nanotecnología es una macroárea de investigación calificada de estratégica que recibe 1.300 millones de euros (casi el 7,5%) del actual Programa Marco de Investigación (2004-2006). Para 2007-2013 se ha propuesto una inversión de 4.800 millones de euros. Los inversores, por su parte, no olvidan que el gran *boom* de la genética y la biotecnología pilló a muchos por sorpresa, y no están dispuestos a que vuelva a pasar. La nanotecnología se les ha pre-

sentado como la próxima gran revolución.

¿Por qué tanto entusiasmo? ¿Qué tiene de especial penetrar en el nanomundo? Mucho. Para empezar, es la escala más pequeña a la que se pueden construir cosas, y a la que trabaja la naturaleza. Un átomo mide una décima de nanómetro; una molécula de agua, apenas un nanómetro; por seguir con la escala, un glóbulo rojo sanguíneo mide 7.000 nanómetros de diá-

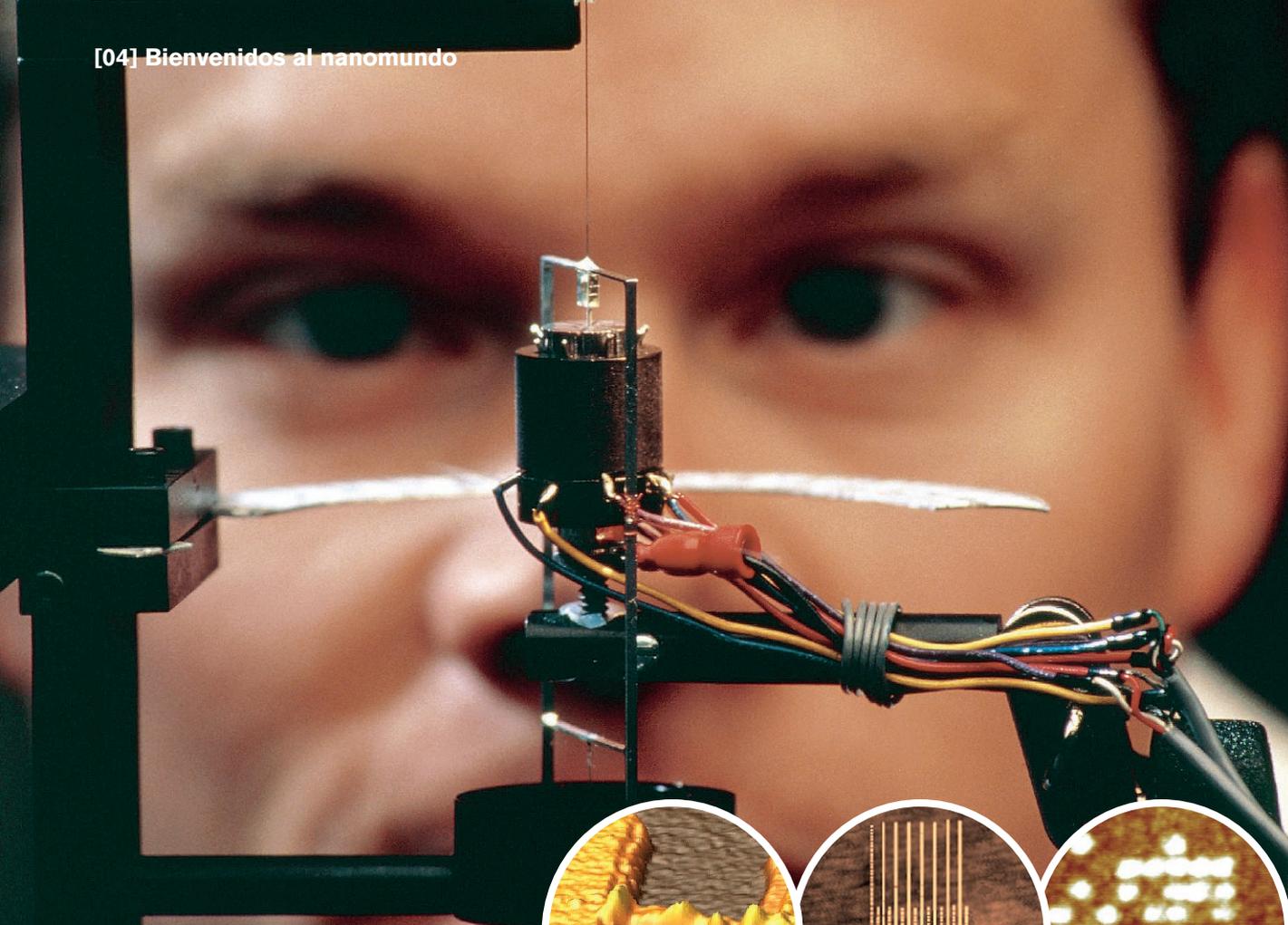
“En lugar de hacer crecer un árbol, talarlo y fabricar una mesa, seremos capaces de hacer crecer directamente la mesa”

metro, y un pelo humano, 80.000 nanómetros. O sea, entrar en lo nano implica poder manipular las mismas piezas con que ha jugado la naturaleza a lo largo de miles de millones de años de evolución. Como un *nanolego* universal. Con ellas la naturaleza ha producido bacterias, carbón, peces, flores, agua, personas... ¿Podrán construir los actuales nanotecnólogos, o sus descendientes, un mundo artificial tan variado? Está por ver, pero muchos aseguran que sí. Se trata de construir *de abajo arriba*, colocando uno a uno los ladrillos de la forma

deseada. Como ha dicho Rodney Brook, director del Laboratorio de Inteligencia Artificial, en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), “nuestro objetivo a 30 años es tener un control tan exquisito sobre la genética de los sistemas vivos que, en lugar de hacer crecer un árbol, talarlo y hacer con él una mesa, seremos capaces de hacer crecer directamente la mesa”.

Alguien dirá: la química convencional

ya juega con moléculas para hacer plásticos, pesticidas o pantallas de cristal líquido. ¿Dónde está la diferencia? En que la química tradicional hace reaccionar millones de moléculas con millones de moléculas, no las controla una a una. Es un matiz importante, porque al manipular la materia a escala nanométrica aparecen propiedades distintas de las habituales en el mundo macro. La elasticidad, conductividad, resistencia, color, dureza de una sustancia puede cambiar drásticamente en el nanomundo. El carbono en forma de >



MINI. Micromotor en la Universidad de Utah. En pequeño, nanohilo de oro, nanocircuitos (su grosor es como 50 átomos de hidrógeno en fila) y el número pi a nanoescala.

► grafito –la mina de un lápiz– es blando; en la nanoescala, el carbono es más fuerte que el acero y seis veces más ligero. El óxido de zinc es blanco y opaco, pero en el nanomundo se vuelve transparente. El aluminio, por su parte, se convierte en un material capaz de quemarse espontáneamente; la plata muestra propiedades antibacterianas. Y esas nuevas características pueden ser extrapoladas a nuestra realidad cotidiana, porque lo que ocurre en el mundo nano influye en el macro. Por ejemplo, los instrumentos de la nanotecnología han revelado que las superficies aparentemente lisas tienen en realidad un relieve irregular. Es un cambio con grandes implicaciones para la industria, porque tiene que ver con la generación de fracturas en materiales, con la fricción, con el desgaste...

En el mundo natural han resultado seleccionadas de forma espontánea determinadas propiedades de la materia. Cuando los nanocientíficos juegan con el *nanolego* tienen la posibilidad de

explotar propiedades diferentes, y tratar así de obtener materiales más duros y ligeros, o más elásticos, mejores conductores... La lista es larga.

El laboratorio de Nicolás Agrait está también en la UAM, y como el de Ricardo Arias, también parece ajeno al brillante futuro nanotecnológico anunciado. Cables, máquinas, poco sitio. Sin em-

Las propiedades de una sustancia pueden cambiar en la nanoescala. El carbono se vuelve más fuerte que el acero

bargo, aquí está el tipo de instrumento que abrió la puerta al nanomundo: el microscopio de efecto túnel, STM en siglas inglesas. Este aparato, creado en 1982, tiene su forma particular de *ver*: mide la corriente eléctrica que fluye entre una finísima punta metálica y una muestra. El STM coloca a los investigadores cara a cara con los bloques con que se construye todo. No en vano quienes lo inventaron obtuvieron el Nobel.

Agrait se ha puesto a los mandos de su microscopio y en la pantalla aparece una gráfica en movimiento. En esta ocasión la punta es de oro y la muestra también. “Ya está. Estoy contactando con un solo átomo”. ¿Cómo lo sabe? “Reconocemos el tipo de señal en la pantalla. La verdad es que trabajando en esto te acostumbras, no piensas: estoy tocando

un átomo”. Pero lo está haciendo, y no sólo tocándolo, sino también moviéndolo. Con este microscopio se puede coger un átomo y cambiarlo de sitio. Se puede escribir cosas con átomos –la famosa imagen del logo de IBM, la compañía a la que pertenecían los inventores del STM–. Y se puede hacer, según descubrió Agrait en 1998, cadenas o nanohilos de ocho a diez átomos. El hallazgo se publicó en la revista científica *Nature* y ►



OTRA ESCRITURA. Ricardo García, en cuyo laboratorio se guarda el 'Nanoquijote'.

► tuvo mucho impacto. Ahora los esfuerzos se concentran en estudiar sus propiedades. Son muy interesantes. Por ejemplo, conducen en proporción miles de millones de veces más corriente que un macrocable. ¿Serán éstos los nanocables de los futuros *nanochips*?

Hay otras nanoestructuras con más papeles para ese cargo: los nanotubos. Son “los candidatos idóneos a sustituir los circuitos electrónicos basados en el silicio”, dice Julio Gómez, que dirige otro laboratorio del mismo departamento que Agrait. En el macromundo, los nanotubos no son más que un polvillo negruzco. Haciendo *zoom*, y más, y más y más *zoom* (y aún más), se verían unos hilillos alargados: son en realidad tubos formados por átomos de carbono. Son unas estructuras durísimas, ligerísimas y por las que la electricidad corre sin casi ninguna resistencia. Gómez y su grupo han descubierto cómo ajustar su resistencia eléctrica haciendo nanotubos *defectuosos*, algo que podría abrir la puerta a su uso en circuitos integrados, que son la clave de la era electrónica.

Otro tipo de nanoestructuras, las nanopartículas, están resultando más sencillas de domar. De hecho hay ya muchas en el mercado: en barras de labios y cremas solares, con nanopartículas transparentes que absorben luz ultravioleta; en pinturas impermeables o re-

[04] Bienvenidos al nanomundo

sistentes a los raspones; en cristales que repelen la suciedad; en tiritas con nanopartículas de plata antibacterianas...

Pero quizá las aplicaciones más impactantes, aunque todavía en pañales, de las nanopartículas sean las biomédicas. Los investigadores en esta área insisten en que son trabajos experimentales y que el avance es lento, pero a la vez describen un panorama esperanzador. Está el posible uso de las nanopartículas como transportadoras de fármacos, para hacer que éstos lleguen más y mejor donde deben. Algunas administran fármacos por inhalación; otras se introducen en el organismo, pero sólo liberan el principio activo cuando son *encendidas* desde fuera –por campos magnéticos, láser, rayos X o incluso ondas acústicas–; otras se inyectan en un tumor y descargan el fármaco poco a poco. También las hay –de nuevo, aún no en el mercado– que segregan insulina en función de los niveles de azúcar que detectan en la sangre del paciente. Por no hablar de las que encuentran las células tumorales y las destruyen selectivamente. Para convertir este sueño en realidad, las nanopartículas aún deben aprender, entre otras cosas, a no perderse en su camino hacia sus células objetivo, o a no ser devoradas por el sistema inmunológico.

Salto al Instituto de Microelectrónica de Madrid, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), en Tres Cantos (Madrid). Aquí se guarda *El Quijote* más pequeño. Bueno, el primer párrafo de *El Quijote*. Está impreso sobre una minúscula plaquita de silicio y ocupa un espacio de dos por cuatro micras (milésimas de milímetro). Tampoco habría ocupado mucho más de ha-

cio con un trazo de sólo 10 nanómetros de grosor. Escribir el textito de *El Quijote* les llevó apenas 15 minutos.

Aunque, en esta línea de buscar técnicas de construcción en el nanomundo más rápidas y eficaces, uno de los *atajos* más curiosos es el que recurre a nanoestructuras ya inventadas por la naturaleza. En concreto, virus y proteínas. La investigadora del MIT Angela Belcher descubrió a mediados de los noventa que un tipo de moluscos usaba proteínas para construir los cristales de carbonato cálcico para su concha. Copió la idea, pero con virus. Ahora construye con esos virus, entre otras cosas, nanocables y tejidos con diminutos sensores que detectan patógenos.

Ella no ha sido la única en volver la mirada a la naturaleza. En 2002, Carlo Montemagno, de la Universidad de California (Los Ángeles), creó un nanomotor que se podía encender y apagar manipulando una conocida proteína. Recientemente este grupo ha hecho crecer células de músculo cardíaco de rata sobre pequeños *esqueletos* de silicio y plástico. Por cierto, Montemagno firmó el pasado octubre un contrato de cuatro millones de euros con Acciona para desarrollar un prototipo de placa solar fotovoltaica flexible usando proteínas que reproducen la fotosíntesis.

La unión de lo biológico con lo mecánico no es nueva, pero algunas ONG consideran que cuando se aplica en el mundo nano puede tener consecuencias imprevisibles y no necesariamente buenas. Varias asociaciones de nanoética ya han pedido una moratoria en la investigación, y que se frene la comercialización de las nanopartículas mientras no se garantice su inocuidad –algunos

Ya hay ONG que advierten de las peligrosas consecuencias de manipular el 'nanolego' de la naturaleza

ber sido la obra entera: “Un área equivalente a la superficie de las puntas de seis pelos humanos”, explica Ricardo García, cuyo grupo, y en especial el doctorando Ramsés Martínez, es autor de la hazaña. “No pasa de ser una curiosidad”, dijo García al enseñar el trabajo el año pasado, pero lo importante es que se ha hecho con una técnica desarrollada por el propio grupo que permite mover a los átomos en grupos de decenas de miles de átomos. Los investigadores logran usar la punta de un microscopio de fuerzas atómicas como la de un bolígrafo, de forma que *escribe* sobre el sili-

estudios las relacionan con ciertos tipos de cáncer y enfermedades respiratorias-. Esta vez los gestores de política científica se toman muy en serio estas peticiones. La peor pesadilla para los políticos es que el público desarrolle un rechazo a lo nano como ocurrió con los transgénicos. Las obras de ficción en que nanomáquinas autorreplicantes acaban con los humanos –como la reciente *Presa*, de Michael Crichton– no ayudan mucho. ¿Con qué quedarse, con las enormes expectativas de la revolución nano o con sus hipotéticas consecuencias más negras? ●