

DE LAS PROFUNDIDADES DE LA TIERRA A LAS PROFUNDIDADES DEL SISTEMA SOLAR

INVESTIGACION *y* CIENCIA

ENERO 2003
5,50 EURO

Edición española de
**SCIENTIFIC
AMERICAN**

Colisión estelar

Células dendríticas

Gladiadores:
un nuevo orden de insectos

Reglas del mundo cuántico

Procesos electrónico-vibracionales

Terrorismo radiactivo

La lengua originaria
de los europeos prehistóricos



SECCIONES

3
HACE...
50, 100 y 150 años.



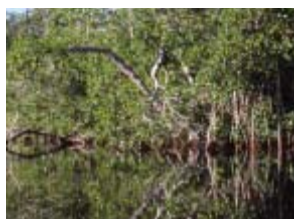
4
APUNTES



30
CIENCIA Y SOCIEDAD
Calisto, un océano en sus entrañas... Proteínas BAG... Premios Rolex a la iniciativa 2002... Inestabilidad genómica.



36
DE CERCA
Manglares: los bosques inundados.



22

El largo brazo del sistema inmunitario

Jacques Banchereau

Las células dendríticas atrapan a los invasores y comunican al sistema inmunitario cuándo y cómo debe responder. De ellas depende la eficacia de las vacunas y en ellas se confía para potenciar la inmunidad contra el cáncer.



6



Armas radiactivas

Michael A. Levi y Henry C. Kelly

Las "bombas sucias" proyectarían polvo radiactivo sobre las ciudades. Habría pánico, aumentaría la incidencia del cáncer y se necesitarían costosas operaciones de limpieza.

Colisiones estelares

Michael Shara

El choque de dos estrellas debe de ser un espectáculo maravilloso. Créase que se trataba de un fenómeno imposible, hasta que la inquisición en ciertas aglomeraciones de la galaxia ha revelado su cadencia normal.



14

38



Gladiadores: un nuevo orden de insectos

*Joachim Adis, Oliver Zompro,
Esther Moobolah-Goagoses y Eugène Marais*

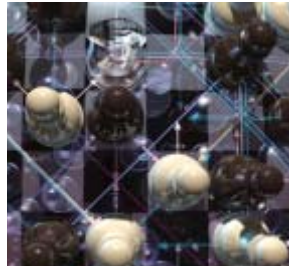
El misterio encerrado en un trozo de ámbar del Báltico se resuelve en una montaña del desierto de Namibia con un descubrimiento que ha revolucionado la sistemática de los insectos.

44

Reglas para un mundo cuántico complejo

Michael A. Nielsen

El entrelazamiento y la criptografía indescifrable son sólo muestras de lo que podría llegar a ofrecer el naciente campo de la información cuántica.



54



Procesos electrónico-vibracionales

Roberto Acevedo

La naturaleza e implicaciones del acoplamiento electrónico-vibracional, o vibrónico, hallan su explicación en el acoplamiento entre iones nucleares y electrones.

62

La lengua originaria de los europeos prehistóricos

**El vascón fue la lengua originaria
del continente**

Elisabeth Hamel y Theo Vennemann

**Tres cuartos de nuestros genes
proceden de los protovascos**

Elisabeth Hamel y Peter Forster



72



De las profundidades de la tierra a las profundidades del sistema solar

Mario Trieloff y Tilman Althaus

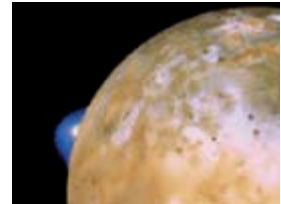
La investigación de los gases nobles guardados en las rocas del interior de la Tierra informa acerca de los primeros tiempos del sistema solar.

SECCIONES

82

CURIOSIDADES DE LA FÍSICA

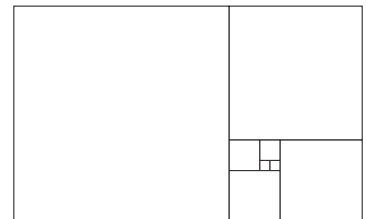
Fuerzas de marea,
por J.-M. Courty y E. Kierlik



84

JUEGOS MATEMÁTICOS

El número de oro,
por Juan M. R. Parrondo



86

IDEAS APLICADAS

Radar meteorológico
por Mark Fischetti

88

NEXOS

Salsa boloñesa
por James Burke

90

LIBROS

Ilustración... Agresividad...
Estación Espacial.



96

AVENTURAS PROBLEMÁTICAS

Billar perfecto,
por Dennis E. Shasha

INVESTIGACION CIENCIA

DIRECTOR GENERAL José M.^a Valderas Gallardo
DIRECTORA FINANCIERA Pilar Bronchal Garfella
EDICIONES Juan Pedro Campos Gómez
PRODUCCIÓN M.^a Cruz Iglesias Capón
Bernat Peso Infante
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
ADMINISTRACIÓN Victoria Andrés Laiglesia
SUSCRIPCIONES Concepción Orenes Delgado
Olga Blanco Romero
EDITA Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.^a
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344 Telefax 934 145 413
www.investigacionyciencia.es

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie
EXECUTIVE EDITOR Mariette DiChristina
MANAGING EDITOR Michelle Press
ASSISTANT MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting
NEWS EDITOR Philip M. Yam
SPECIAL PROJECTS EDITOR Gary Stix
SENIOR WRITER W. Wayt Gibbs
EDITORS Mark Alpert, Steven Ashley,
Graham P. Collins, Carol Ezzell,
Steve Mirsky y George Musser
PRODUCTION EDITOR Richard Hunt
VICE PRESIDENT AND MANAGING DIRECTOR, INTERNACIONAL
Charles McCullagh
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER
Gretchen G. Teichgraber
CHAIRMAN Rolf Grisebach

DISTRIBUCION

para España:

LOGISTA, S. A.

Aragoneses, 18
(Pol. Ind. Alcobendas)
28108 Alcobendas (Madrid)
Tel. 914 843 900

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.

Muntaner, 339 pral. 1.^a
08021 Barcelona
Teléfono 934 143 344

PUBLICIDAD

GM Publicidad
Edificio Eurobuilding
Juan Ramón Jiménez, 8, 1.^a planta
28036 Madrid
Tel. 912 776 400
Fax 914 097 046

Cataluña:
QUERALTO COMUNICACION
Julián Queraltó
Sant Antoni M.^a Claret, 281 4.º 3.^a
08041 Barcelona
Tel. y fax 933 524 532
Móvil 629 555 703

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

J. Vilardell: *Armas radiactivas, Hace..., Curiosidades de la física e Ideas aplicadas*; M.^a Rosa Zapatero: *Colisiones estelares*; Esteban Santiago: *El largo brazo del sistema inmunitario*; Xavier Bellés: *Gladiadores: un nuevo orden de insectos*; Ramón Pascual: *Reglas para un mundo cuántico complejo*; Juan Acordagoicoechea: *La lengua originaria de los europeos prehistóricos*; Teodoro Vives: *De las profundidades de la tierra a las profundidades del sistema solar*; A. Garcimartín: *Nexos*; Luis Bou: *Aventuras problemáticas*



Portada: Don Dixon

SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.^a
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344
Fax 934 145 413

Precios de suscripción:

	Un año	Dos años
España	60,00 euro	110,00 euro
Extranjero	85,00 euro	160,00 euro

Ejemplares sueltos:

Ordinario: 5,50 euro
Extraordinario: 6,00 euro

—El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

Difusión controlada

Copyright © 2002 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 2003 Prensa Científica S. A. Muntaner, 339 pral. 1.^a 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre y la marca comercial SCIENTIFIC AMERICAN, así como el logotipo correspondiente, son propiedad exclusiva de Scientific American, Inc., con cuya licencia se utilizan aquí.

ISSN 0210136X

Dep. legal: B. 38.999 – 76

Imprime Rotocayfo-Quebecor, S.A. Ctra. de Caldes, km 3 - 08130 Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

HACE...

...cincuenta años

RADIOTELESCOPIOS. «Conforme se ha ido trazando el mapa del firmamento con mayor detalle gracias a radiotelescopios de creciente poder separador, ha resultado más patente que las regiones con mayores concentraciones de estrellas generan las radioondas más intensas. Incluso en nuestro presente estado de incertidumbre acerca del origen de las radioondas, esa ligazón es de la mayor importancia para la astronomía. Las investigaciones precisan de un poder separador muy alto y ello requiere radiotelescopios de gran tamaño. El nuevo telescopio del observatorio de Jodrell Bank, de la Universidad de Manchester, se basa en el radiotelescopio que allí lleva en uso varios años, pero será mucho mayor y podrá apuntarse a cualquier porción del firmamento.»

TRATAMIENTO DE LA ESQUIZOFRENIA. «Ante lo abrumador del problema, hoy la mayoría de los psiquiatras se inclina por recurrir a los tratamientos, rápidos y drásticos, desarrollados durante los últimos veinte años, es decir, tratamientos de choque de tipos diversos

(con electricidad, metrazol, insulina, anhídrido carbónico) o la lobotomía prefrontal. Aunque producen unos efectos inmediatos espectaculares, tras años de experiencia parece ahora claro que sólo son temporales; una gran proporción de los pacientes recae tarde o temprano. En los últimos diez años hay cada vez más psiquiatras, especialmente los más jóvenes, que tratan la esquizofrenia con psicoterapia. En años recientes se ha demostrado que, contrariamente a la primera conclusión de Freud, es posible conseguir una relación de transferencia aprovechable entre un esquizofrénico y su terapeuta. El tratamiento dura al menos dos años, y con frecuencia más; resulta incomparablemente más caro que el rápido método de los tratamientos de choque.»

...cien años

PRODIGIO INALÁMBRICO. «Desde un árido promontorio situado en las costas de levante de Cabo Bretón (Canadá), pocos días antes de Navidad, Guglielmo Marconi intercambió, gracias a la telegrafía sin hilos, mensajes de felicitación con algunas de las cabezas coronadas de Europa. Que el brillante

joven anglo-italiano esté hoy preparado para transmitir mensajes comerciales de un lado a otro del Atlántico debe considerarse sin duda como el logro científico más notable del año.»

UTIL PARA BORRACHOS. «En la Feria de los Tenderos de Londres se ofreció un premio de 250 libras por una lámpara de keroseno que no presentase peligro, esto es, para quienes emplean las lámparas cual proyectiles. El deseo de los directores era conseguir una lámpara barata, que pudiera venderse hasta en los distritos más pobres y usarse con la máxima seguridad. Uno de los problemas más graves de Londres era proteger de sí mismos a los afligidos de embriaguez. Era su deseo dar con una lámpara que, arrojada por un borracho a su mujer o a sus hijos, se apagase automáticamente, de modo que el individuo, aunque por desgracia lastimase a su esposa, no quemara a la vez la casa y prendiera fuego a los hijos.»

...ciento cincuenta años

FRUTOS DE LA INDUSTRIA. «El *Providence Journal* (Rhode Island) se lamenta, con voz pesarosa, del desordenado avance del lujo: 'La suma hoy necesaria para que una joven pareja se instale en un hogar habría resultado una fortuna para sus abuelos. Los muebles, la vajilla y las insensatas fruslerías con las que toda recién casada piensa que debe decorar su casa, puestos a interés en valores bancarios, equivaldrían a una hermosa previsión ante los desastres financieros. El gusto por muebles ostentosos es de lo peor y más vulgar. Quien no prefiera el tictac del reloj de pared tras la puerta antes que un ampuloso reloj de repisa francés en cada habitación de su casa, no merece saber la hora del día.' Aunque estamos de acuerdo con algunas de sus observaciones, disintimos de otras. Nos agrada el progreso en la edificación, en el vestir y en todo lo que no sea inmoral.»



El tratamiento de choque de la esquizofrenia pierde aceptación, 1953

APUNTES

OBJETOS CERCANOS A LA TIERRA

Falsos ataques nucleares

Un asteroide con una envergadura de 25 a 50 kilómetros borraría de la faz de la Tierra a casi toda la especie humana. El mismo daño podría hacer una piedra espacial de sólo cinco o diez metros de diámetro si alguna nación presta a apretar el gatillo confundiese su caída con un ataque nuclear. El general de las Fuerzas Aéreas Simon P. Worden renovó esta vieja preocupación en una comparecencia ante un subcomité del Congreso de los Estados Unidos. Reveló que un meteorito así ardió sobre el Mediterráneo el 6 de junio de 2002, justo cuando la tensión entre la India y Pakistán, potencias nucleares ambas, estaba en lo más alto. Los satélites de alerta temprana divisaron el destello producido por la entrada de la roca, que generó una explosión comparable a la de Hiroshima. Si hubiese ingresado en la atmósfera a la misma latitud, pero unas horas antes, quizá hubiera caído sobre la frontera entre la India y Pakistán y se lo habría confundido con una detonación nuclear. Se han analizado los datos de los satélites: unos trescientos meteoritos con un diámetro entre el metro y los diez metros estallaron en la atmósfera superior en los últimos ocho años.

—Charles Choi



Una estrella fugaz podría ser confundida con la explosión de una cabeza nuclear

FISICA

Hielo que se hunde

Imagine unos cubos de hielo que, en vez de subir a la superficie, se hundiesen como piedras al echarlos en un vaso de agua. Altas presiones y temperaturas de casi -200 grados pueden formar un hielo así, un 25% más denso que el agua líquida (el hielo ordinario es alrededor de un 8% menos denso que el agua). Unos científicos británicos y australianos han establecido con haces de neutrones que, a diferencia del hielo normal, éste tan denso es amorfo, como el vidrio y la mayor

parte del agua helada del universo. Se trata de la quinta forma de hielo amorfo descubierta (por trece tipos de agua cristalina). Si se supiese mejor cómo quedan las moléculas atrapadas en esas estructuras, cabría explicar el comportamiento de los sistemas desordenados en general y en particular el del agua en sistemas que mantienen formas de vida con fríos extremos. Quizá hasta se verificase la hipótesis de que existe una segunda forma de H_2O .

—Charles Choi

PALEONTOLOGIA

Las aletas de los plesiosaurios

Durante el Mesozoico, mucho antes de que las ballenas se enseñoreasen de los mares, unos reptiles marinos, los plesiosaurios, eran los gigantes oceánicos. Hace mucho que se quiere saber cómo capturaban sus presas estos animales, cuya morfología hace pensar en un cruce de jirafa y tortuga. Se creía que los plesiosaurios de cuello más corto y cabeza mayor, los pliosauromorfos, estaban capacitados para las persecuciones a gran velocidad, mientras que a los plesiosauromorfos, de cuello más largo y cabeza menor, se les daba mejor cazar emboscados.

F. Robin O'Keefe ha estudiado la geometría de las aletas de aquellos reptiles. Ha

determinado que la baja razón entre largo y ancho de las aletas de los pliosauromorfos optimizaba la maniobrabilidad y el ataque —como las alas cortas y corpulentas de los halcones y los cazas—, virtudes oportunas para dar alcance a presas veloces. Pero las aletas de los plesiosauromorfos tenían una razón de largo y ancho alta, comparable a la de las alas más largas y finas de las gaviotas y los bombarderos, idóneas para los vuelos de larga distancia. O'Keefe sostiene, pues, que los plesiosauromorfos no debían de andar al acecho, sino que navegaban trechos muy largos en busca de presas menores y no tan escurridizas.

—Kate Wong



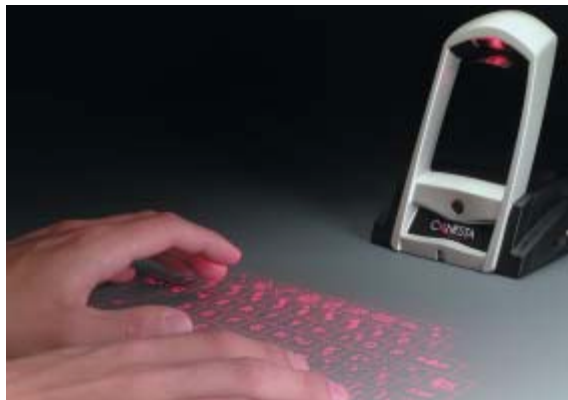
Los plesiosaurios reinaron en los mares del Mesozoico

INFORMATICA

Teclados virtuales

Se puede ya manejar un ordenador o cualquier otro dispositivo electrónico personal con un teclado de luz proyectado sobre una mesa. Se basa en un procedimiento de identificación de movimientos tridimensionales, tarea para la que antes se empleaban dos cámaras; las imágenes que captaban se comparaban píxel a píxel. Los ingenieros Nazim Kareemi, Cyrus Bamji y Abba Rafii han presentado en septiembre de 2002 un teclado virtual, el “teclado integrado Canesta” —ése es el nombre de la firma que han creado—, con una unidad de percepción del teclado que no actúa de esa manera. Consta del proyector de teclado —utiliza un láser de nueve milímetros de lado—, de una fuente de infrarrojos y de un sensor. La fuente, cilíndrica, de 6,5 milímetros de diámetro, emite un haz de luz infrarroja que rebota en los objetos y vuelve al sensor, una batería de cien por veinte píxeles fotosensibles no mayor que un guisante. Cuando se enciende la luz, se pone en marcha un cronómetro en cada píxel, que se detiene cuando vuelve la luz. El tiempo se convierte en distancias, las recorridas por la luz antes de incidir en algo, por ejemplo un dedo que toca una de las teclas virtuales. La colección de distancias proporciona un mapa tridimensional del área barrida, cosa que el dispositivo hace más de 50 veces por segundo. Como el proyector de teclado, la luz infrarroja roza la superficie de la mesa. Se espera que el dispositivo de Caneca cueste sólo unas decenas de euros.

—Mike May



Un teclado virtual de luz

ECOLOGIA Y TEORIA DE JUEGOS

El arrendajo azul y el dilema del prisionero

Sólo si uno de los dos individuos coopera se evitará que ambos salgan escaldados, pero si uno coopera y el otro no, éste se lo llevará todo y dejará al primero sin nada. Esta situación, o dilema del prisionero, expresa un obstáculo económico central con el que tropieza el establecimiento de la cooperación. Pero la cooperación existe, y no sólo entre los seres humanos. La repetición de la situación parece explicar cómo se llega a aquélla: cada participante acaba por cooperar si el otro responde a sus acciones en cada repetición con reciprocidad, con un “donde las dan las toman”. Sin embargo, los estudios empíricos que intentan generar un dilema del prisionero repetido efectuados con animales arrojan que la cooperación que pueda surgir no es estable. Una de dos: bien los animales aplican un descuento temporal (una preferencia por lo inmediato) más fuerte que los seres humanos, bien no aplican la estrategia de la reciprocidad. Tres ecólogos de la Universidad de Minnesota, Stephens, McLinn y Stevens, han llevado a

cabo un experimento con arrendajos azules para calibrar el papel que le toca a cada uno de esos factores. En una pajarera, el salto del arrendajo ante un estímulo luminoso a uno de dos palos equivalía a que cooperase o no. El estímulo luminoso le imponía al otro arrendajo, situado en una pajarera contigua de forma que el primer animal viese qué hacía, una respuesta concreta (recíproca o no, según eligiesen los experimentadores). Por otra parte, al primer arrendajo se le entregaba el pago por sus acciones, bien de inmediato, bien de manera acumulada —el pájaro iba viendo el monto creciente— tras varias repeticiones. La cooperación sólo resultaba estable cuando el descuento era bajo (se acumulaban los premios) y el segundo pájaro respondía con reciprocidad. Si no, la cooperación acababa desbaratándose. No garantiza su estabilidad la mera repetición, ni siquiera con reciprocidad. El problema estriba en descubrir en la naturaleza, donde haya cooperación, qué disminuye el descuento en la medida suficiente.

REGENERACION DE TEJIDOS

No más dentaduras postizas

Un equipo encabezado por la bióloga molecular Pamela C. Yelick, del Instituto Forsyth de Boston, extrajo seis muelas inmaduras a seis lechones de seis meses y las disolvió en enzimas. Dispuso las células procedentes del caldo resultante en un andamiaje de polímero biodegradable y las implantó en los abdomenes de ratas desinmunitizadas, cerca de tejidos ricos en sangre. Al cabo de treinta semanas afloraron coronas molares de dos milímetros de ancho, completas, con cámaras de pulpa, raíces y capas óseas de dentina cubiertas de esmalte. Afirman que quizás se puedan cultivar dentro de diez años sustitutos de nuestros dientes perdidos, acaso con formas y tamaños a medida.

—Charles Choi



CANESTA (arriba); HANS NELEMAN / Photonica (abajo)



Armas radiactivas

Difundirían polvo radiactivo por las ciudades; cundiría el pánico, aumentaría el número de casos de cáncer y se necesitarían costosas descontaminaciones

Michael A. Levi y Henry C. Kelly

La explosión y la gran llamarada que la sigue son terribles, pero la mayoría de los residentes en el edificio están ausentes, en su trabajo; nadie resulta gravemente herido. Un desfile de coches policiales, ambulancias y camiones de bomberos se sube a los bordillos, acompañado de destellos de luces y resonar de sirenas. Los equipos de emergencia zigzaguean rápidamente entre fragmentos de escombros humeantes y se preparan para entrar en el edificio atacado.

De golpe, destella en el cuadro de sensores de un camión de bomberos una luz de alarma. “¡Los detectores de radiación se han disparado!”, exclama el conmocionado jefe de bomberos. “¡Parece una bomba sucia!” La actividad cesa bruscamente y la alarma se extiende entre el personal de los distintos equipos. Lo que parecía un incendio normal es en realidad un ataque terrorista con un arma radiactiva.

Avisadas por radio, las agencias de control de desastres envían al lugar equipos de mitigación de radiaciones. El personal de rescate se pone rápidamente sus trajes protectores de vivos colores. Los agentes de policía, con máscaras antigás, comienzan a evacuar a los espectadores, pero la mayoría de los aterrados mirones ya se aleja corriendo, presas del pánico, con pañuelos sobre la boca.

El ingenio explosivo, con el aditamento de cesio radiactivo, ha liberado una nube de polvo tóxico. Cuando el viento la arrastra, la radiación cae sobre unas sesenta manzanas de la

ciudad. Edificios, aceras, calles y vehículos no tardan en cubrirse de residuos radiactivos. Cuando los sistemas de ventilación de los edificios vecinos aspiran ese polvo, las personas inhalan pequeñas cantidades de partículas cancerígenas.

Tras permanecer deshabitadas y en cuarentena durante un corto período, las inmediaciones se convierten en el campo de trabajo de cuadrillas de operarios que descontaminan las superficies con aspiradoras, chorros de agua y otros aparatos; la limpieza se prolongará largo tiempo.

El incidente ha causado pocos daños personales, la mayoría por accidentes de tráfico durante el frenético éxodo. Los residentes, medrosos, se niegan a volver. Los ingresos de los negocios y los valores inmobiliarios se desploman. Hay que demoler algunos edificios cercanos a la zona cero. El costo final se eleva a decenas de miles de millones de euros.

Situaciones así podrían ser una realidad en un futuro no muy lejano. Defendernos de la amenaza de las armas radiactivas se ha convertido en una cruel necesidad. Los componentes y conocimientos necesarios para preparar una bomba sucia están al alcance de cualquiera. El arresto a principios del 2002 del simpatizante de Al Qaeda José Padilla (Abdullah al Muhajir) bajo la sospecha de que tramaba construir y hacer estallar una bomba sucia nos indica el interés en construir esa arma.

Un arma radiactiva, o bomba sucia, no es sino un tosco dispositivo compuesto de explosivos ordinarios, tales como TNT o una mezcla de fuel-oil y fertilizante, a los que se han añadido materiales de intensa radiactividad. Los explosivos generan un golpe de calor que

1. VIENTO MALIGNO: El mayor peligro de una bomba sucia no es el estallido en sí, sino las partículas radiactivas que proyecta al aire.

vaporiza o convierte en aerosol el material radiactivo y lo dispersa por una zona muy extensa.

Los expertos en armas consideran que las bombas radiactivas, pese a su pobreza técnica, pueden ser efectivas y producir unos daños psicológicos tremendos, habida cuenta del miedo popular a las radiaciones invisibles. Armas de desestructuración masiva, que no de destrucción masiva, esos ingenios causarían grandes estragos económicos al convertir sus objetivos en zonas prohibidas durante largos períodos. Nunca se han usado las bombas radiactivas, sobre todo porque durante mucho tiempo se las ha considerado inapropiadas para fines militares: su efecto se demora demasiado y resultan demasiado impredecibles para decidir una batalla.

Aunque en principio parezca bastante sencillo, construir y desplegar uno de esos ingenios es difícil. No se trata sólo de envolver un cartucho de dinamita con materiales robados. Un arma tan chapucera se limitaría a esparcir grandes trozos de material; se reduciría la zona afectada y facilitaría la descontaminación. Eso sí, una bomba sucia es mucho más fácil de ensamblar que un arma nuclear, aunque se requiere de todas maneras una pericia considerable. Un problema importante es que el constructor podría exponerse fatalmente a isótopos radiactivos. Pero una dosis mortal de radiación quizá tarde semanas en surtir efecto; no disuadiría a unos suicidas.

Hormigón armado radiactivo

En centenares de aplicaciones médicas, industriales y académicas se emplean materiales muy radiactivos. Sólo en EE.UU., hay del orden de dos millones

de fuentes de radiación ionizante, miles de las cuales son de buen tamaño. Sus usos comprenden la destrucción de bacterias en los alimentos, la esterilización de productos farmacéuticos, la aniquilación de células cancerosas, la inspección de soldaduras, la prospección petrolífera y la investigación en física e ingeniería nuclear. Durante las décadas de 1960 y 1970, el gobierno federal propició la distribución de isótopos del plutonio para la investigación. Gran parte de ese material sigue allá adonde fue a parar porque el gobierno estadounidense no ha estado dispuesto a pagar su recuperación.

Hay fuentes de radiación ionizante —el cobalto 60, el cesio 137, el iridio 197— que emiten rayos gamma; otras, así el americio 241 y el plutonio 238, producen partículas alfa. Esos materiales suelen ser caros. Las autoridades supusieron siempre que sus propietarios ya se cuidarían, por razones económicas, de no dejarlos al alcance de los ladrones. Los responsables políticos no pensaban que fuese necesaria una mayor vigilancia de esas sustancias; nadie se arriesgaría a exponerse a los niveles de radiación letales que producen.

Pese a esas garantías, en chatarrerías, vehículos y domicilios, tanto en EE.UU. como en Europa, se han hallado abandonadas cantidades de material suficientes para construir bombas sucias. Según un estudio reciente de la Comisión Reguladora Nuclear de EE.UU. (NRC), desde 1996 la industria y las instalaciones de investigación americanas han perdido la pista de casi 1500 aparatos que contenían piezas radiactivas; muchas bastarían para una bomba sucia. La mitad aún no se han recuperado. A principios del año pasado, se encontró en una planta de reciclado de acero, entre la chatarra, una fuente radiactiva. Hace varios años, una cantidad de cesio radiactivo pasó, sin que lo detectaran, por una instalación de recuperación de material; acabó fundida y moldeada como barras de acero para el hormigón armado.

En junio pasado, la Agencia de Energía Atómica declaró que casi todos los países del mundo disponen de los materiales radiactivos necesarios para construir una bomba sucia. Más de cien naciones carecen de los controles suficientes para evitar el robo de esos materiales. Un caso: a fines de 2001, dos leñadores resultaron irradiados en la ex república soviética de Georgia por un generador radiotérmico (una fuente grande de estroncio 90 radiactivo) que hallaron en los bosques y emplearon como calefactor. En 1995 los rebeldes chechenos sembraron el miedo al dejar en un parque de Moscú un recipiente blindado de cesio 137 (sustraído de un equipo de tratamiento del cáncer); informaron del lugar a los periodistas rusos. Ocho años antes, unos chatarreros irrumpieron en una clínica oncológica abandonada de Goiânia (Brasil) y robaron un aparato médico que contenía cesio radiactivo. A esa fuente estuvieron expuestas unas 250 personas, de las que ocho enfermaron y cuatro murieron. El incidente produjo 3500 metros cúbicos de desechos radiactivos —suficientes para cubrir un campo de fútbol hasta la altura de las caderas— y dejó devastada la economía local.

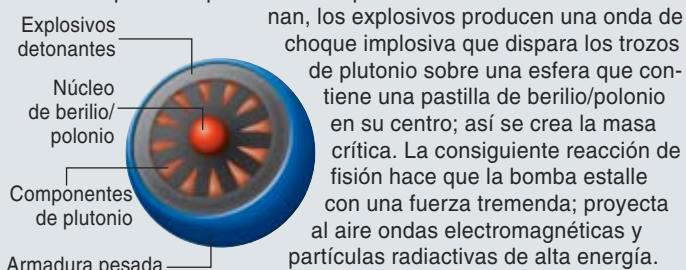
BOMBAS SUCIAS Y BOMBAS NUCLEARES

A veces se confunden las armas radiactivas con las armas nucleares

UNA BOMBA SUCIA es una suerte de dispositivo elemental donde el TNT o el fuel-oil y explosivos de fertilizantes se combinan con materiales muy radiactivos. La bomba, una vez detonada, vaporiza o se convierte en aerosol y lanza al aire los isótopos tóxicos.



UNA BOMBA DE FISION es un mecanismo más complejo, que se basa en la creación de una reacción nuclear en cadena desbocada en el uranio 235 o el plutonio 239. Un tipo de bomba de fisión consta de un conjunto de largos conos de plutonio apuntados hacia dentro, rodeados por un caparazón de explosivo detonante. Cuando detonan, los explosivos producen una onda de



choque implosiva que dispara los trozos de plutonio sobre una esfera que contiene una pastilla de berilio/polonio en su centro; así se crea la masa crítica. La consiguiente reacción de fisión hace que la bomba estalle con una fuerza tremenda; proyecta al aire ondas electromagnéticas y partículas radiactivas de alta energía.

Efectos de la radiación

Además de problemas sanitarios agudos —el mal de radiación—, los materiales radiactivos producen cáncer. Cuantificar los niveles de irradiación peligrosos es difícil; no se conocen con certeza sus efectos concretos sobre la salud.

Los efectos de la radiación suelen medirse en rem. Todos recibimos alrededor de un cuarto de rem al año por exposición a las fuentes naturales, comprendidos los rayos cósmicos y el uranio de los lechos graníticos. En general, las personas sometidas a 100 o más rem desarrollan radiopatías y requieren una atención médica inmediata. La mitad de las personas expuestas a 450 rem muere en un plazo de 60 días. Incluso dosis inferiores aumentan el riesgo de contraer cáncer. Por término medio, si 2500 personas se exponen a sólo un rem, una de ellas morirá de cáncer inducido.

Científicos y legisladores hace tiempo que debaten sobre los niveles de exposición tolerables. Las normas federales prohíben que los trabajadores sometidos a irradiación reciban más de cinco rem al año. La Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA) recomienda abandonar las zonas contaminadas si las medidas descontaminadoras no reducen el riesgo añadido de muerte por cáncer a un caso por cada 10.000 personas, aproximadamente. Ese riesgo añadido equivale a 25 radiografías de tórax en toda la vida o a una exposición a la radiación cósmica en Denver (en el interior, como contraposición a estar en la orilla del mar) durante tres años. Como regla, la NCR fija un umbral menos exigente, equivalente a un incremento del riesgo de muerte por cáncer de uno entre quinientos a lo largo de 50 años. Pero tales estimaciones son discutibles, pues no hay estadísticas aceptables que muestren en qué cuantía aumenta el cáncer como consecuencia de unos niveles de irradiación bajos. Hoy en día, los expertos evalúan los peligros de la exposición suponiendo que la probabilidad de desarrollar un cáncer disminuye en proporción a la radiación recibida. Presuponen también que no hay un nivel mínimo inocuo.

Nube radiactiva en la ciudad

Para entender las repercusiones potenciales de una bomba sucia, examinamos toda una gama de ataques verosímiles. Estudiamos cómo se dispersaría la radiación en diversas situaciones hipotéticas y calcu-

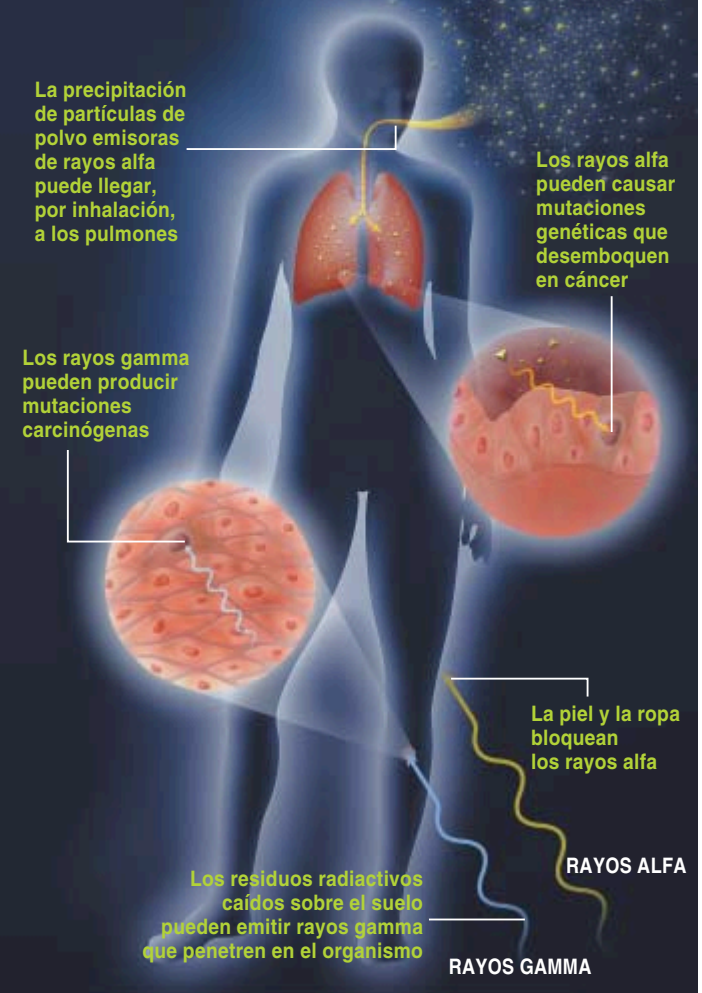
Los autores

MICHAEL A. LEVI y HENRY C. KELLY, físicos, trabajan para la Federación de Científicos Americanos (FCA), una organización para la investigación y defensa legal con sede en Washington que se interesa por la ciencia y la política pública. Levi dirige el Proyecto de Seguridad Estratégica de la FCA y sus investigaciones se centran en la no proliferación nuclear y en la política de armas nucleares. Kelly es presidente de la FCA. Antes de ingresar en ésta, fue director ayudante para la tecnología en la Oficina de Ciencia y Técnica de la Casa Blanca entre 1993 y 2000. Los autores expresan su agradecimiento a Jaime Yasif, de la FCA, por haberles ayudado en la investigación.

EFFECTOS DE LA RADIACION SOBRE EL CUERPO HUMANO

LOS RAYOS ALFA generan mutaciones genéticas; las células se dividen rápidamente y convierten en cancerosas. Las partículas suspendidas en el aire que emiten rayos alfa se alojan en los pulmones, donde dañan los tejidos internos y causan tumores.

Los rayos gamma, que penetran en el cuerpo, también producen mutaciones genéticas y cáncer.



lamos la extensión de las zonas cuya contaminación sobrepasaría distintos umbrales de irradiación. Nos servimos del código informático HOTSPOT, desarrollado en el Laboratorio Nacional Lawrence de Livermore, que simula los movimientos de las partículas radiactivas. Los resultados del modelo los combinamos seguidamente con datos experimentales y teóricos sobre los efectos de la radiación para evaluar los riesgos relativos a la salud y la contaminación.

Una dispersión simulada depende de todo un conjunto de variables, entre las que se cuentan la hora del día, el tiempo atmosférico, la velocidad del viento y los métodos de dispersión. Así, unos vientos intensos esparcen los materiales sobre zonas más extensas y reducen la contaminación en cada punto concreto. Para asegurarnos de que nuestras conclusiones no eran sólo el resultado de unas condiciones iniciales específicas, ejecutamos el programa para más de 100 situaciones



2. UN PENACHO MALSANO de desechos radiactivos se extiende sobre la isla de Manhattan tras la detonación simulada de una bomba sucia de cesio radiactivo (se supone que sopla viento del sudoeste). En las zonas resaltadas cabría esperar unos niveles de irradiación comparables a los que causaron el aislamiento de las regiones contaminadas en torno a la central nuclear de Chernobil.

de dispersión diferentes. Dada una fuente radiactiva concreta, las variaciones en las condiciones ambientales alteraron nuestras estimaciones como mucho en un factor de 10. Ese intervalo de error no afecta a las conclusiones básicas, aunque sólo sea porque los distintos factores tienden a compensarse unos a otros. Por cada factor que podría reducir a la mitad las consecuencias de una bomba, hay otro que las duplicaría.

Si las personas próximas a una explosión no abandonan la zona antes de que llegue la nube, inhalarán pequeñas partículas. Por incidentes pasados, sabemos que si el material es un emisor alfa, americio o plutonio por ejemplo, se alojará en los pulmones de las víctimas durante años e inducirá una irradiación a largo plazo. Pero si a los evacuados se los descontamina sin perder tiempo, con una limpieza concienzuda de la piel y deshaciéndose de las ropas contaminadas, la exposición total será mínima.

El polvo producido por un arma radiactiva permanecería atrapado durante largos períodos en las grietas y resquicios de los edificios, aceras y calles; parte sería arrastrado a los interiores. Ciertos materiales que podrían emplearse en un ataque radiactivo, como el cesio 137, se unen químicamente al vidrio, hormigón y asfalto. Más de 15 años después de la catástrofe de la central nuclear de Chernobil, sucedida en 1986, el cesio sigue adherido a las aceras de numerosas ciudades escandinavas, adonde lo llevó el viento. Por suerte, la exposición a las radiaciones que manan del suelo es bastante baja; aumentan el riesgo de cáncer en menos de un caso por cada 10.000 personas.

Si el material contiene emisores alfa, los riesgos para la salud a largo plazo proceden de respirar el polvo radiactivo suspendido en el aire por el viento, por los

neumáticos, por los peatones. En Kiev, a más de 100 kilómetros de Chernobil, el polvo de las calles aún contiene bajos niveles de plutonio. Si el material que quedase en la zona contuviera cesio 137 u otros emisores gamma, todos los que entrasen en ella se expondrían a una radiación de baja energía que, a diferencia de los rayos alfa, traspasa la ropa y la piel.

Consideremos la dispersión de 3500 curios de cesio 137 a causa de una explosión en la punta sur de la isla de Manhattan. Fuentes capaces de liberar tal radiación han quedado “huérfanas” en la ex Unión Soviética; recientemente, EE.UU. ha destinado 25 millones de dólares para seguir, junto con Rusia, la pista a esos materiales. A unos terroristas que se hubiesen hecho con una fuente de ese tipo les sería difícil manejarla; se necesitaría cierto blindaje para que el constructor de la bomba no recibiese una irradiación que lo dejara incapacitado. Pero el cesio ya estaría en forma pulverulenta; no sería muy difícil dispersarlo.

Si se hiciera estallar una fuente así, resultarían contaminados, con un nivel superior a lo marcado por la EPA, unos 800 kilómetros cuadrados. El desastre no tendría la magnitud del de Chernobil; en total liberaría menos radiación, y ninguna en la forma de isótopos potentes de corta duración, como el yodo 131. Pero por lo estratégico del blanco, los estragos serían considerables. En un área de unas 20 manzanas, el riesgo de morir de cáncer aumentaría entre los residentes (si no se descontaminase esa zona) en un caso por cada diez en 30 años, un aumento del 50 por ciento sobre la tasa de fondo. La contaminación de una zona más extensa, de 15 kilómetros cuadrados —entre 4 y 20 kilómetros cuadrados, según las condiciones atmosféricas— sobrepasaría el umbral de reubicación recomendado por la Comisión Internacional de Protección

SARA CHEN (arriba); YUN JAI-HYOUNG AP Photo (abajo)



3. UNA LIMPIEZA COSTOSA sigue a la explosión de una bomba sucia. Operarios con trajes protectores friegan las superficies con chorros de agua o arena y aspiradoras para eliminar los residuos dañinos, además de retirar las plantas y la tierra contaminadas.