Naciones Unidas A/53/202

Asamblea General

Distr. general
28 de julio de 1998
Español
Original: inglés

Quincuagésimo tercer período de sesiones
Tema 67 del programa provisional*

Función de la ciencia y la tecnología en el contexto de la seguridad internacional y el desarme

Informe del Secretario General

Índice

		Párrafos	*Página*
Introducción		1–3	2
Tendencias de la tecnología en algunas esferas		4–151	2
A.	Tecnología nuclear	4–28	2
B.	Tecnología espacial	29–56	6
C.	Tecnología de materiales	57–84	12
D.	Tecnología de la información	85–112	16
E.	Biotecnología	113–151	20

* A/53/150.

98-22228 (S) 160998 170998

Introducción

1. El presente informe se presenta en cumplimiento de las resoluciones de la Asamblea General 51/39, de 10 de diciembre de 1996, y 52/33, de 9 de diciembre de 1997. En la resolución 51/39 la Asamblea pidió al Secretario General que actualizase y ampliase un informe anterior de fecha 17 de octubre de 1990 titulado "Avances científicos y tecnológicos y su repercusión en la seguridad internacional" (A/45/568) con el fin de evaluar el efecto de los avances científicos y tecnológicos recientes, especialmente los que tenían aplicaciones militares potenciales. En la resolución 52/33, la Asamblea recordó la resolución 51/39, al igual que su petición al Secretario General de que le presentase un informe actualizado a más tardar en el quincuagésimo tercer período de sesiones.

2. En el informe de 1990 figuraban evaluaciones de las tendencias y los avances en cinco esferas importantes: tecnología nuclear, tecnología espacial, tecnología de materiales, tecnología de la información y biotecnología. Las evaluaciones fueron preparadas por científicos que presentaron monografías para analizarlas en una conferencia de alto nivel sobre el tema "Nuevas tendencias en ciencia y tecnología: repercusiones para la paz y la seguridad internacionales", celebrada en Sendai (Japón) en abril de 1990. El Gobierno del Japón actuó como anfitrión de la conferencia. Las monografías presentadas se ampliaron habida cuenta de los debates que se celebraron en esa conferencia.

3. En cumplimiento de la petición que figuraba en las resoluciones 51/39 y 52/33, se pidió a los expertos que habían preparado las contribuciones originales al informe de 1990 que actualizaran sus evaluaciones anteriores proporcionando una breve sinopsis de las nuevas tendencias generales desde el informe anterior, especificando cualesquiera nuevas tendencias con ilustraciones donde fuera posible, y formulando observaciones sobre las aplicaciones con fines pacíficos y de otra índole de los avances más recientes. Las evaluaciones actualizadas que se reproducen a continuación representan las opiniones de sus autores.

Tendencias de la tecnología en algunas esferas

A. Tecnología nuclear*

4. En el informe de 1990 se observó que, después de algunos decenios de rápido desarrollo, la tecnología nuclear parecía haber madurado, alcanzando una situación en que no parecía posible que en pocos años se lograsen mejoras apreciables. El término "mejoras" no se refería al progreso normal en las investigaciones científicas, sino más bien a avances que cabría esperar que repercutieran —favorable o desfavorablemente— en la política internacional en materia de seguridad y los esfuerzos en pro del desarme. Esta predicción ha quedado confirmada, como se demostrará más adelante.

5. En los decenios de 1970 y 1980 se decía a veces que la tecnología había tomado la delantera sobre la política. Los extensos cambios en las relaciones internacionales durante el decenio de 1990 en cierta medida han restablecido la primacía de la política. Quizás esto resulte más evidente en la esfera nuclear que en muchas otras esferas, ya que gran parte de la investigación y el desarrollo nucleares que se realizan actualmente está dirigida a la aplicación de decisiones políticas adoptadas a raíz de estos cambios.

6. Desde que se redactó el informe anterior, el mundo ha presenciado, entre otros acontecimientos, la disolución de la Unión Soviética y el traslado de todas las armas nucleares soviéticas al territorio de la Federación de Rusia, el retiro de casi todas las armas nucleares subestratégicas de Europa y probablemente el desguace de muchas de ellas, la labor continuada de aplicación del Tratado sobre la reducción y limitación de las armas estratégicas ofensivas (START), la firma (aunque no todavía la ratificación) del Tratado START II y las conversaciones preliminares con respecto a un futuro tratado START III. En el plano multilateral, se han producido la prórroga indefinida del Tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares, la concertación del Tratado de prohibición completa de los ensayos nucleares —aunque con disposiciones que pueden impedir que entre en vigor en su forma actual— y los esfuerzos renovados por lograr un tratado que prohíba la producción de materiales para armas nucleares. La guerra del Golfo y su secuela han brindado importantes lecciones. Muy recientemente, tanto la India como el Pakistán han demostrado su capacidad para

* Esta sección fue redactada por el Dr. Tor Larsson, Coordinador de Investigaciones Relacionadas con Armas Nucleares del Establecimiento Nacional de Investigaciones para la Defensa, Estocolmo.

fabricar armas nucleares al ensayar abiertamente cada uno varios dispositivos explosivos.

7. Lo ideal sería que se considerasen todos los nuevos acontecimientos mencionados anteriormente al revisar el informe de 1990, que se ocupaba de las tendencias con respecto a:

- El desarrollo de las armas nucleares;
- El desarrollo de la producción de energía nuclear para uso civil;
- Métodos para la producción de materiales nucleares;
- Las denominadas armas radiológicas;
- Los rayos láser o los haces de partículas como opciones para la defensa activa contra misiles o aplicados en otra forma en un contexto de armas nucleares;
- Tecnologías nucleares para la detección y para verificar la observancia de los tratados.

8. A decir verdad, la evolución de las circunstancias que se menciona anteriormente hace necesario reorientar la atención en comparación con 1990. También es necesario introducir temas que sólo se trataron brevemente o se omitieron por completo en el informe anterior, a fin de reflejar las orientaciones de los avances ulteriores que han cobrado importancia a la luz de los acontecimientos recientes. Como en el informe anterior, se excluyen los avances en la esfera de los vehículos vectores (misiles, etc.) y las plataformas de armamentos, ya que se consideraba que no estaban relacionados científicamente con la tecnología nuclear.

Armas nucleares

9. En el informe de 1990 se prestaba especial atención a los extremos con respecto a las potencias de las armas y a la posible manipulación, es decir, la adaptación de los efectos explosivos. Estos temas hoy en día parecen tener menos interés. Una razón estriba simplemente en que parece haber cesado el desarrollo ulterior de nuevos sistemas de armas nucleares. Otra consiste en que la posibilidad de una guerra nuclear, en que dichas características particulares de las armas podrían ser consideradas de utilidad, ahora parece ser muy remota.

10. Un importante factor para desacelerar o frenar el desarrollo de nuevos tipos de explosivos nucleares —si en efecto eso es lo que se buscaba antes— ha sido la prolongada suspensión de los ensayos nucleares mantenida por los Estados Unidos de América, la Federación de Rusia y el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte. Estos tres Estados efectuaron sus más recientes —y posiblemente últimas— explosiones de ensayo en 1992, 1990 y 1991, respectivamente, mientras que China y Francia todavía hicieron ensayos en 1996. Sin embargo, en fecha posterior a 1996 las cinco Potencias poseedoras de armas nucleares tradicionalmente reconocidas se comprometieron a cesar por completo los ensayos al firmar el Tratado de prohibición completa de los ensayos nucleares. Si bien las repercusiones políticas de los ensayos de la India y el Pakistán realizados en mayo de 1998 son muy considerables, no hay razón para creer que estos ensayos impliquen avances tecnológicos por sobre los que por mucho tiempo habían estado al alcance de los cinco Estados poseedores de armas nucleares originales.

11. Por otra parte, algunos Estados poseedores de armas nucleares han estado preocupados por el problema de mantener la calidad técnica de sus arsenales nucleares (o los arsenales que quedaron cuando se llevaron a efecto las reducciones de armas), si ya no se puede contar con ensayos a escala íntegra. Por esta razón, el Gobierno de los Estados Unidos ha asignado considerables fondos a lo que se suele llamar un “programa de administración”, y también en Francia está en marcha un programa análogo, aunque de mucho menor cuantía. Sin embargo, existe considerable incertidumbre con respecto al contenido futuro de estos programas y, por ende, a las posibilidades que pueden ofrecer de modificaciones técnicas y mejoras de las ojivas nucleares que se proponen “administrar”.

12. Como lo describen sus proponentes, el “programa de administración” debería asegurar que: a) todos los conocimientos adquiridos de ensayos anteriores se conserven y se comprendan; b) los efectos explosivos puedan simularse en la mayor medida lo posible, y c) los métodos de computación sean adecuados para la sustitución, la renovación o la modernización de los componentes de armas que lleguen al final de su vida útil. La segunda de estas cuestiones se relaciona primordialmente con los efectos de la radiación sobre los sistemas microelectrónicos modernos, lo que reviste importancia crítica para los sistemas ofensivos al igual que los defensivos. El interés que se pone en este aspecto podría ser una indicación de que los requisitos impuestos por un duelo estratégico nuclear aún se consideran pertinentes. La tercera cuestión hace centrar la atención en un aspecto que era bien conocido, pero que en gran medida se omitió del examen al momento de redactarse el informe anterior, a saber, el envejecimiento de los diversos elementos de una ojiva nuclear.

13. Es público y notorio que si la función de la ojiva depende de la presencia de tritio, esa sustancia debe reemplazarse a intervalos periódicos, ya que se descompone con una semivida de unos 12 años. Sin embargo, muchos otros elementos, no nucleares, también pueden envejecer. Por ejemplo, puede producirse descomposición inducida por la radiación en el explosivo de gran potencia, degradación de algunos

componentes inducida por el calor o corrosión en las interfaces entre materiales diferentes. Hablando en general, se cree que las ojivas nucleares deben someterse a una reparación completa en un período de 5 a 10 años. Debido a la intranquila situación económica en la Federación de Rusia, que ha hecho difícil mantener prácticas de mantenimiento anteriores, algunos comentaristas rusos aducen en efecto que el arsenal nuclear ruso ahora en gran medida ha perdido su fiabilidad técnica. Sin embargo, muchos observadores dudan que programas de investigación tan vastos, ambiciosos y costosos sean realmente necesarios para contar con la capacidad para tratar estos problemas. Por consiguiente, estiman que también podría haber intenciones de soslayar la prohibición de los ensayos y elaborar nuevos diseños de armas.

Producción de energía nuclear

14. Si bien el desarrollo de la energía nuclear para uso civil innegablemente tiene ciertas posibilidades de redundar en la proliferación de armas, en el informe anterior se observó que en la realidad los acontecimientos no habían demostrado que esta relación fuese especialmente importante. No hay razón para modificar este juicio hoy en día, ya que la proliferación que se ha producido efectivamente ha estado impulsada por consideraciones políticas y probablemente habría ocurrido incluso si los Estados en cuestión dependieran menos de la energía nuclear. Sin embargo, la energía nuclear puede influir sobre la seguridad internacional de manera indirecta en otras formas, particularmente a causa de su función en el suministro mundial de energía, pero también debido a preocupaciones ecológicas y de seguridad entre los ciudadanos en general. Estas preocupaciones con toda probabilidad han contribuido a frenar el desarrollo de la energía nuclear en muchos países.

15. Una consecuencia de esta lenta evolución de la producción de energía nuclear es que no escasea en absoluto el combustible nuclear ni la mena de uranio como la materia prima para ese combustible. Con las técnicas existentes actualmente y con la actual tasa de crecimiento, se prevé que las reservas conocidas de uranio satisfagan las necesidades mundiales durante muchos años, aunque el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) estima que probablemente tenga que considerarse un empleo más eficiente de los recursos de uranio antes del año 2050. Con respecto al combustible para reactores, la oferta supera a la demanda, si se tiene en cuenta el plutonio.

16. En el informe de 1990 se observó que había un interés cada vez mayor en la tecnología de combustibles de mezcla de óxidos (MOX), en relación con la necesidad de encarar la cuestión de las acumulaciones cada vez mayores de plutonio. Parte de este plutonio proviene de armas nucleares desguazadas, pero la mayor parte deriva de combustible irradiado para reactores de potencia. Esta tendencia ha continuado y hoy en día hay varios programas de investigaciones orientados a encarar el problema del uranio, ya sea contribuyendo simultáneamente o no a la producción de energía. Una de las ideas que se ha planteado al respecto es la de un reactor subcrítico impulsado por un acelerador. Esto sería un mecanismo prácticamente inmune a los accidentes de reactores, ya que puede interrumpirse simplemente desconectando el acelerador. El problema de la eliminación de plutonio se analiza más adelante con mayor detalle.

17. La búsqueda de métodos para generar energía nuclear utilizando procesos distintos de la fisión avanza en pasos marginales. A pesar de vastos programas internacionales de investigación como el Joint European Torus (JET) y el Reactor experimental nuclear internacional (ITER), se mantiene incierta la utilización práctica de la energía de la fusión en el futuro. Esto parece tener validez también para otros métodos interesantes desde el punto de vista científico que se están prosiguiendo, particularmente la “fusión por confinamiento inercial”.

18. Otras ideas, un tanto exóticas, como la utilización del isomerismo del espín nuclear y la aceleración electrostática de iones de deuterio para producir un flujo intenso de neutrones, hasta el momento son aún más especulativas. Se las menciona solamente para que el análisis sea completo, y no se las ha descrito como fuentes potenciales de energía, ya que ninguna producirá más energía de la que consume.

Producción y eliminación de materiales nucleares

19. Hacia 1990 hubo interés considerable en nuevos métodos para la producción de material fisionable, especialmente los que utilizaban radiación de láser. En gran medida esto estaba relacionado con inquietudes sobre la proliferación, pero también se tenían en cuenta las posibilidades de producir uranio poco enriquecido para combustible de reactores en forma más económica. El primero de estos aspectos parece haber quedado relegado en gran medida a un segundo plano. La proliferación en todo caso se ha producido y los materiales en cuestión se han obtenido mediante métodos tradicionales. En efecto, las actividades abortadas de proliferación en el Iraq se llevaron a cabo en parte utilizando la separación electromagnética de isótopos, método abandonado hace mucho tiempo por los cinco Estados poseedores de armas nucleares reconocidos debido a su escasa eficiencia y elevado costo.

20. En cuanto al aspecto relativo al combustible para reactores, como se ha afirmado anteriormente, el problema principal hoy en día estriba en la abundancia de material fisionable en lugar de la carencia de éste. Además, actualmen-

te sólo se está utilizando cerca del 80% de la capacidad total en enriquecimiento en el mundo. No obstante, todavía hay interés comercial en desarrollar métodos más económicos para producir uranio enriquecido. No obstante, todavía hay interés comercial en desarrollar métodos más económicos para producir uranio enriquecido. Por esta razón, continúan las investigaciones sobre las técnicas conocidas como separación isotópica de vapores atómicos mediante rayos láser (SILVA) y separación isotópica de moléculas mediante rayos láser (SILMO), tanto en los Estados Unidos como en otros países. Además, se está desarrollando un nuevo método llamado separación de isótopos por excitación por láser (SILEX). Según se cree, todos estos, a su debido tiempo, podrán llegar a ser potencialmente superiores a la separación por centrifugado. La técnica de enriquecimiento dominante en su tiempo, la de difusión gaseosa, se considera anticuada y económicamente no viable para el futuro. Estas consideraciones no tienen repercusión inmediata en las actividades de desarme, pero deberán tenerse presentes cuando se examinen medios de verificación para un posible tratado futuro sobre cesación de la producción de material fisionable.

21. La tecnología de transmutación no se analizó en el informe anterior, ya que a la sazón se la consideraba un método un tanto especulativo y superfluo para producir materiales fisionables. Sin embargo, durante el decenio de 1990 la investigación sobre transmutación ha cobrado importancia, ya que podría ofrecer posibilidades para eliminar los desechos nucleares de reactores de potencia y los excedentes de materiales para armas. Hoy en día se están llevando a cabo programas de investigaciones en varios países, entre ellos los Estados Unidos, la Federación de Rusia, Francia y el Japón. La idea básica consiste en utilizar un acelerador de partículas para producir un flujo muy intenso de neutrones rápidos (de alta energía) mediante un proceso llamado espalación. Cuando estos neutrones interaccionan con el material que se trata de eliminar, lo transformarán en otros nucleidos que son menos propensos a la proliferación, reduciéndose (aunque no eliminándose del todo) la necesidad de vertimiento final en depósitos naturales. Algunas soluciones propuestas se consideran concretamente como métodos de eliminación de desechos, mientras otras podrían aumentar la oferta de energía si esto resulta económicamente interesante. A pesar de los muchos problemas técnicos que aún están sin resolver, la transmutación podría percibirse como el subsector actualmente más prometedor e importante de la tecnología nuclear.

22. Un factor que complica el problema del plutonio es la falta de una política convenida en lo que atañe a éste. Básicamente hay dos doctrinas diferentes: una, a la que se adhieren muchos científicos rusos, asevera que el plutonio actualmente existente representa un valor económico muy apreciable y debe aprovecharse en la mejor forma posible para producir energía. La otra doctrina, que cuenta con muchos partidarios estadounidenses, sostiene que el excedente de plutonio tiene valor negativo, ya que no se necesita para la producción de energía y ya que acarreará grandes costos en su utilización en combustible MOX o en otra forma.

Armas radiológicas

23. Este tema se incluyó en el informe anterior principalmente en aras de un análisis más completo, pero no se lo trató en mayor detalle, ya que dichas armas son muy poco atractivas por diversas razones, inclusive militares. No ha ocurrido nada que lleve a modificar ese juicio, y no se sabe que en parte alguna se haya llevado a cabo el desarrollo de armas de dicha índole. Sin embargo, aún no se ha llegado a un acuerdo internacional para proscribirlas.

Tecnologías de defensa contra misiles balísticos

24. La decisión del Gobierno de los Estados Unidos adoptada en 1983 de proceder a la “Iniciativa de defensa estratégica” instigó un debate sobre diversas posibilidades técnicas para inutilizar misiles balísticos en vuelo, incluidos haces de láser y haces de partículas de diferentes tipos. Puesto que las defensas contra misiles balísticos evidentemente guardaban relación con consideraciones de estrategia nuclear, en el informe de 1990 se formularon algunas observaciones sobre armas de haces, a pesar del hecho de que a la sazón ya estaba menguando el interés y de que las tecnologías analizadas no pertenecían a la esfera nuclear como tal.

25. La guerra del Golfo demostró a la vez la utilidad de los denominados sistemas de defensa tácticos y, paradójicamente, las deficiencias del sistema existente a la sazón. Como resultado, en los años posteriores a esa guerra se ha registrado una actividad floreciente de investigación y desarrollo en esta esfera y actualmente se están realizando cerca de 10 programas diferentes en los Estados Unidos. Si bien los láseres no están totalmente descartados, la mayoría de los sistemas considerados son “armas de energía cinética”, es decir, destruyen un misil que se aproxima chocando con éste. Aun cuando esta tecnología no está ni con mucho madura, muchos partidarios la consideran una importante piedra fundamental de la seguridad nacional en el futuro. La importancia que sigue teniendo este fenómeno para la esfera de las armas nucleares estriba primordialmente en que causa ansiedad entre ciertos observadores rusos, que estiman que uno o más de estos sistemas en el futuro pueden perfeccionarse para cumplir una función estratégica. Esto crea un nuevo obstáculo al progreso del desarme nuclear bilateral.

Tecnologías para la detección y la verificación

26. En el informe de 1990 se prestó cierta atención a la instrumentación necesaria para averiguar si un objeto determinado era o no un dispositivo nuclear, y se observó que esta instrumentación era asequible en principio, aunque la aplicación práctica podría resultar difícil en muchas situaciones. Posteriormente este problema ha adquirido una nueva dimensión debido a la preocupación que ahora se tiene en muchos Estados de que los materiales nucleares puedan hurtarse y pasarse de contrabando a través de las fronteras nacionales, lo que tendría consecuencias para la proliferación y el terrorismo nuclear. Por esta razón, las autoridades aduaneras y policiales en muchos países han sentido la necesidad de mejorar su capacidad para descubrir objetos radiactivos y, en consecuencia, se han concebido y puesto a la venta instrumentos mejor adaptados a estos requisitos. Si bien estos instrumentos no representan ninguna tecnología nueva, anuncian un nuevo aspecto de la era nuclear.

27. En el informe anterior también se mencionó la verificación de la observancia de los tratados. Tras observar que una mejor comprensión de las radiaciones de las armas nucleares y de la fenomenología nuclear podría ser de utilidad para la elaboración de métodos de verificación, en el informe también se afirmaba que la mayor parte de los métodos de verificación eran de índole no nuclear. Esta observación ciertamente conserva su validez. Sin embargo, en el ambiente político imperante durante el decenio de 1990 y, especialmente, tras la concertación del Tratado de prohibición completa de los ensayos nucleares, la verificación también ha entrado a una nueva etapa. Tampoco en este caso intervienen tecnologías nucleares básicamente nuevas, pero el nuevo interés en la vigilancia mundial y en cooperación por diferentes medios técnicos es un avance importante. Entre estos métodos se cuenta una red de estaciones automatizadas para medir la radiactividad transportada por el aire, que ahora también pueden tener la capacidad para descubrir isótopos radiactivos de gases nobles. El denominado “Programa 93+2” iniciado por el OIEA es otra forma de vigilancia en cooperación. Apunta a reducir los riesgos y los temores de proliferación mediante una mayor transparencia de las actividades nacionales en materia de tecnología nuclear y también reviste importancia en virtud de que está elaborando nuevos métodos, cuando no nuevos instrumentos técnicos.

28. Finalmente, cabe mencionar un tema que no se trató en absoluto en el informe de 1990: la contaminación radiactiva ambiental resultante de la producción y el ensayo de armas nucleares en el pasado y de la falta de mantenimiento de componentes de sistemas nucleares, como los reactores de submarinos. En el mundo anterior a 1990 en gran medida estos problemas se pasaban por alto por tener escasa importancia para los intereses de seguridad nacional o, en algunos casos, se los desconocía en absoluto. Sin embargo, después de que se relajó la tirantez política entre las grandes Potencias, las cuestiones ambientales han pasado al primer plano y ahora están sujetas a actividades internacionales de investigación. Al mismo tiempo, se han elaborado métodos para la medición y el análisis radioecológicos a raíz del accidente de Chernobyl. Si bien el peligro que significan estas contaminaciones para los seres humanos a veces se exagera en el debate público, la atención que se les presta es sumamente apropiada en un mundo que sigue empeñándose en el mejoramiento del clima internacional, tanto metafórica como literalmente.

B. Tecnología espacial*

29. Desde el punto de vista de la seguridad, se pueden discernir las siguientes esferas principales de actividades en el espacio ultraterrestre:

- El uso de objetos espaciales para mejorar, no sólo la capacidad de las armas nucleares terrestres, sino también de las armas convencionales;
- Una necesidad percibida de desarrollar y, en cierta medida, desplegar armas antisatélite;
- El uso de la capacidad espacial para defender a una nación contra los misiles de corto y largo alcance de un adversario;
- El aumento de la capacidad de los satélites civiles de teleobservación y la comercialización de las imágenes obtenidas de este modo.

En las secciones siguientes se pasa revista brevemente a las tendencias en estas esferas junto con ciertas novedades.

Satélites para misiones de apoyo militar

30. En el período transcurrido desde 1990 se han registrado ciertos cambios en la forma en que se utiliza el espacio ultraterrestre y se ha mejorado la capacidad espacial. En los Estados Unidos continúa ampliándose la utilización del espacio ultraterrestre con fines militares debido a que se considera que los sistemas espaciales “desempeñan una función singular”[1]. En la Federación de Rusia, continúan las actividades espaciales con fines militares en esferas tradicionales, como la meteorología, la navegación, las comunicaciones y el reconocimiento.

---

* Esta sección fue redactada por el Dr. Bhupendra Jasani, Profesor del Departamento de Estudios Bélicos, King's College, Londres, Universidad de Londres

31. **Satélites meteorológicos**. En los Estados Unidos se han puesto en órbita satélites meteorológicos militares y civiles de baja altitud separados y ambos están siendo utilizados por las fuerzas armadas y son fabricados por la misma empresa. Los artefactos espaciales militares se lanzan con arreglo al Programa de Satélites Meteorológicos para la Defensa. La tendencia actual consiste en integrar los satélites militares en las fuerzas armadas para utilizarlos en situaciones de combate. Los satélites meteorológicos no son excepciones. Están previstos para su uso, por ejemplo, durante desembarcos del ejército o en la echazón aérea de suministros[2]. En la Federación de Rusia está desplegada una red única de satélites meteorológicos. No hay razón para creer que la Federación de Rusia esté utilizando sus objetos espaciales en forma diferente de los Estados Unidos.

32. Ahora también se centra la atención en el pronóstico del "clima espacial", que principalmente se refiere a fenómenos de actividad solar como erupciones y la expulsión de diversos tipos de materiales de la superficie del Sol. Esto ocasiona radiación electromagnética que varía desde ondas radioeléctricas hasta rayos X, protones de alta energía y cambios en los vientos solares interplanetarios. Las interacciones de estas radiaciones con satélites en órbita de la Tierra afectan los sensores y los sistemas electrónicos de éstos.

33. **Satélites de navegación**. La Federación de Rusia explota satélites de navegación militares y civiles discretos en órbita próxima a la Tierra que utilizan el mismo tipo de plataforma. En contraste, tanto los usuarios militares como los civiles utilizan los satélites Transit de los Estados Unidos y del Sistema Mundial de Fijación de la Posición (GPS). Los artefactos espaciales en el GPS, que consisten en un conjunto de 24 satélites, transmiten dos señales separadas. Una para las fuerzas armadas genera una precisión de cerca de 10 metros. Para usos civiles, ésta se degrada para dar una precisión de cerca de 100 metros. Esto se conoce como, disponibilidad selectiva", que puede cesar para el año 2006[3]. Esto significará que se mejorará la precisión de la determinación de la posición para otras entidades de 100 metros a 10 metros. Si se utiliza la corrección diferencial, esto puede mejorarse a cerca de 5 metros o menos[4]. Recientemente también se anunciaron también recientemente planes de los Estados Unidos para añadir señales de navegación para uso civil en una segunda frecuencia del GPS. Se propone transmitir señales de corrección diferencial en esta nueva frecuencia para uso civil[5].

34. **Satélites de telecomunicaciones**. Tanto los Estados Unidos como la Federación de Rusia están poniendo en órbita satélites de telecomunicaciones para fines militares y civiles. El sistema de satélites de telecomunicaciones de los Estados Unidos está integrado por el satélite de telecomunicaciones de la Fuerza Aérea (AFSATCOM), el sistema de telecomunicaciones por satélite para la defensa (DSCS), el satélite de telecomunicaciones de las flotas (FLTSATCOM) y los satélites de retransmisión militares, estratégicos y tácticos (MILSTAR). Todos los servicios militares y varios organismos gubernamentales utilizan el DSCS. Los datos de comunicaciones e inteligencia estratégicos se retransmiten a través del sistema de datos obtenidos por satélites, pero los satélites MILSTAR los van a reemplazar. Estos últimos se concibieron para resistir los ataques de armas nucleares e incluso armas antisatélite. Tres satélites de la serie MILSTAR 1 construidos y modificados para aumentar sobremanera su capacidad se convirtieron en la serie MILSTAR 2[6].

35. **Satélites de reconocimiento**. Básicamente hay cuatro tipos de satélite de reconocimiento, a saber, fotográfico, electrónico, de vigilancia de océanos y de alerta temprana. Tanto los Estados Unidos como la Federación de Rusia siguen poniendo en órbita vehículos espaciales de ese tipo, aunque se ha reducido su número total. Por ejemplo, en 1990, China, los Estados Unidos, Francia, Israel, el Reino Unido y la ex Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas pusieron en órbita 132 satélites relacionados con la defensa; en 1992 la cifra se redujo a unos 74 y en 1998 fue aún menor, principalmente porque la Federación de Rusia estaba lanzando menos satélites que en el pasado. China, Francia e Israel han colocado en órbita satélites de observación óptica. Desde hace ya varios años, los Estados Unidos no han lanzado gran número de satélites, posiblemente debido a que ha desarrollado satélites más avanzados y de mayor capacidad y duración.

36. En el pasado era habitual realizar tareas de reconocimiento fotográfico. En fecha reciente, el Gobierno de los Estados Unidos ha autorizado que se desclasificaran las imágenes de inteligencia obtenidas entre 1960 y 1972 por satélites reconocimiento fotográfico de algunas de las antiguas generaciones de los Estados Unidos. Las imágenes obtenidas por esos satélites pueden obtenerse actualmente en el mercado. Las mejores imágenes, con una resolución de aproximadamente 15 centímetros, provienen de la versión más avanzada de los satélites KH, KH–11 y las versiones mejoradas de los KH–11 o KH–12, que despliegan sensores sensibles a las bandas visible e infrarroja cercana del espectro y las radiaciones infrarrojas térmicas a fin de detectar el calor emitido por las instalaciones industriales. Con los sensores de infrarrojo se puede detectar el camuflaje. Es posible descubrir estructuras enterradas observando las diferencias entre las características térmicas. El primero de estos nuevos satélites se lanzó el 28 de noviembre de 1992.

37. A fin de perfeccionar estos satélites para que pudieran observar a través de las nubes, se elaboraron e instalaron sensores de radar. La información obtenida a partir de un

radar de formación de imágenes, como el radar de apertura sintética, es muy diferente de la obtenida a partir de sensores ópticos, puesto que el radar de apertura sintética es particularmente sensible a las características geométricas de la superficie y el objeto que se observa, así como a sus propiedades dieléctricas. La radiación de microondas puede penetrar distancias apreciables dentro de un objeto, cuya profundidad es comparable a las longitudes de onda de la radiación. En general, cuanto mayor es la longitud de onda, mayor es la penetración. Por ejemplo, la radiación con longitudes de onda de banda–C puede penetrar distancias muy cortas; sin embargo, se ha establecido que un haz de radar SIR–C de banda–L penetra varios metros de arena seca[7].

38. Hasta ahora, sólo los Estados Unidos y la Federación de Rusia mantienen satélites militares de radar en órbita. El más reciente vehículo espacial de los Estados Unidos que se ha puesto en órbita es el satélite de radar de apertura sintética Lacrosse, que gira alrededor de la Tierra a una altura de poco menos de 700 km y tiene una resolución de aproximadamente 1 metro. Se han lanzado tres satélites de ese tipo: el primero en diciembre de 1988, que ha dejado de estar en órbita, el segundo en marzo de 1991 y el tercero en 1997. El 23 de octubre de 1997 se lanzó un nuevo satélite Lacrosse perfeccionado cuya inclinación orbital era de 68º y su altura de unos 680 km[8]. La Federación de Rusia sigue lanzando sus satélites de radar en las series de vehículos espaciales Almaz y Cosmos.

39. La otra categoría muy importante de satélites son los vehículos espaciales de reconocimiento electrónico, pero se conoce muy poco sobre su capacidad puesto que la información sigue siendo muy confidencial. Los Estados Unidos han desplegado cuatro grupos de ese tipo de satélites, a saber, los satélites de información de comunicaciones (COMINT) en la órbita geoestacionaria y los satélites de exploración por radio o exploración electrónica (ELINT) en la órbita geoestacionaria y en órbita terrestre elíptica de gran excentricidad y órbita cercana a la Tierra. Los satélites ELINT están concebidos para detectar transmisiones de señales de comunicaciones como las transmitidas por radio y teléfono, así como las señales de radar y telemetría de misiles emitidas durante sus ensayos.

40. La mayoría de los satélites de inteligencia de señales y de reconocimiento electrónico (SIGINT/ELINT) de los Estados Unidos están colocados en la órbita geoestacionaria y no obtienen buenos datos de las partes más septentrionales y meridionales de la Tierra. Este problema se resuelve con los satélites de la serie Trumpet ubicados en órbitas de gran excentricidad cuyo apogeo (el punto más alejado de la superficie de la Tierra) está a unos 37.000 km por encima del hemisferio boreal y su inclinación orbital es 63º. En 1994 y 1995 se lanzaron dos satélites, y a fines de 1997 estaba listo para ser lanzado un tercer satélite perfeccionado dotado de una antena de escucha de barrido electrónico compleja de banda ancha cuyo diámetro medía unos 90 metros[9]. El satélite puede vigilar todo tipo de tráfico de señales electrónicas militares procedente de China y la Federación de Rusia. La misma tecnología de antena se aplicará a los satélites avanzados de comunicaciones comerciales.

41. Tanto los Estados Unidos como la Federación de Rusia han instalado satélites de alerta temprana. Los Estados Unidos los instala en la órbita geoestacionaria. Los satélites utilizan sensores infrarrojos para detectar el calor de las estelas de misiles tan pronto éstos son lanzados o el calor generado por una explosión nuclear atmosférica o espacial. Además rastrean el misil y determinan su trayectoria. La eficacia de esos vehículos espaciales quedó demostrada en la guerra del Golfo de 1991. Los satélites de alerta temprana de los Estados Unidos detectaron el lanzamiento de los misiles scud iraquíes, lo que alertó a las fuerzas de la coalición con la suficiente antelación. La vulnerabilidad de esos satélites a los ataques en sus estaciones terrestres se reducirá al mínimo desplegando un sistema de comunicaciones por láser a bordo[10]. Se prevé que en la nueva generación de satélites Follow-on Early Warning System (FEWS) se instalarán sistemas como los de Piedras Brillantes y Ojos Brillantes creados en el contexto de la Iniciativa de defensa estratégica. Estos últimos tendrán una capacidad de procesamiento de datos a bordo que permitirá enviar mensajes de alerta temprana directamente al campo de batalla para uso táctico.

Nuevos acontecimientos

42. Además de innovaciones técnicas como las mencionadas anteriormente, se están desplegando grandes esfuerzos en los Estados Unidos para desarrollar nuevos sistemas de reunión de información. Los satélites que anteriormente estaban en etapa de desarrollo, como los de radar Lacrosse y los satélites avanzados de inteligencia óptica KH–11 están pasando actualmente a la etapa operacional. Además, se está desarrollando asimismo un nuevo satélite de detección de lanzamiento de misiles que puede utilizar la tecnología de sensores creada en el contexto del programa del sistema de vigilancia y rastreo de la Iniciativa de defensa estratégica.

43. Entre las novedades también figuran los satélites pequeños y livianos conocidos como “Cheapsat”, los satélites de inteligencia de señales en la órbita geoestacionaria y un nuevo sistema de vigilancia espacial de superficie amplia utilizado para la observación aérea y marítima mundial. Por ejemplo, comandantes sobre el terreno están estudiando un sistema de satélites integrado por 24 vehículos espaciales con radares de apertura sintética (STARLITES) a bordo para usos

tácticos, con un tiempo rápido entre pasadas de unos 15 minutos. Se prevé que seguirán desarrollándose satélites más pequeños y asequibles de ese tipo.

44. Se ha logrado mejorar apreciablemente la calidad de los satélites de teleobservación para usos civiles. En los últimos 25 años, la capacidad de esos satélites ha aumentado unas 180 veces y la resolución oscila entre los 2 metros y los 30 metros. Actualmente es posible adquirir imágenes obtenidas por varios países. En el cuadro 1 figura un resumen de esos satélites comerciales.

Cuadro 1
Satélites de teleobservación comerciales actuales y futuros pertenecientes a varios países

País/Satélite	*Fecha de lanzamiento del primer satélite*	*Resolución en tamaño de pixel (m)*		
		Pancro-mática	*Multi-espectral*	*Térmica*
China/Brasil				
CBERS	1998	20	20	160
Francia				
SPOT–1, –2, –3, –4	1986	10	20	
SPOT–5A, –5B	2002–3	2,5–5	10	
India				
IRS–1C, –2D	1995, 1997	5,8	23	
IRS–P6	1998?	2,5		
Israel				
Eros–1, –2	1998	1,5	5 (3–4 bandas)	
David	1998	5		
Japón				
ALOS	2002	2,5	10	
Rusia				
Kosmos	1991	2	20	
Estados Unidos de América				
Landsat–4, –5	1982		30	120
Landsat–7	1998?			60
IKONOS–1, –2	1998	0,8–1	4	
Quickbird–1, –2	1999	1	3,3	
Orbview–3, –4	1999	1	4	
Earlybird–1	2000	3	15	

45. Varios países explotan satélites sensores de radar de apertura sintética a bordo. Los nombres figuran en el cuadro 2. La interacción entre la energía de microondas y los materiales depende no solamente de su frecuencia, sino también de la polarización del haz del radar. Por consiguiente, es posible generar una imagen multiespectral utilizando haces de distintas frecuencias con polarizaciones diferentes y asignándoles distintos colores. En los experimentos SIR–C/X–SAR llevados a cabo por los Estados Unidos en abril y octubre de 1994 se generaron datos multiespectrales de ese tipo a partir de la información recibida del espacio. Si estos datos se combinan con datos ópticos, la técnica podría convertirse en un instrumento muy útil para vigilar la superficie de la Tierra. Los satélites de teleobservación civiles actualmente pueden emplearse para obtener información acerca de los objetivos militares del adversario. También se los puede utilizar para vigilar los acuerdos de control de armamentos y otras medidas de fomento de la confianza. Por esos motivos esos satélites se han convertido actualmente en posibles objetivos de las armas antisatélite lanzadas desde el aire.

Cuadro 2
Características de algunos satélites comerciales de radar de apertura sintética pasados, actuales y futuros

País/ satélite	Fecha de lanzamiento	Resolución (metros)	Banda/ frecuencia (GHz)	Polarización
Canadá				
Radarsat–1	1995	8–100	C/5,3	HH
Radarsat–2	2001	3	C/5,3	QUAD
Europa				
ERS–1, –2	1991, 1995	26–28	C/5,3	VV
ENVISAT	1999	30	C/5,3	HH, VV
Japón				
JERS–1	1992	18	L/1,3	HH
ALOS	2002	10	L/1,3	HH, VV
Rusia				
ALMAZ–1	1991	15	S/3,125	HH
ALMAZ–2	1998	5	S/3,125	HH
Estados Unidos de América				
SEASAT	1978	25	L/1,3	HH
SIR–C	1981	8–30	L/1,28, C/5,3	HH, VV, VH, HV

Armas antisatélites, satélites conexos y defensa

46. La importancia de los satélites se hizo evidente durante la guerra del Golfo de 1991. A comienzos del conflicto, los Estados Unidos tenían en órbita un satélite de radar de apertura sintética Lacrosse, tres satélites más antiguos KH–11 y tres satélites de reconocimiento óptico KH–11 de avanzada. Con esos satélites fue posible realizar 12 pasadas por día por la región del conflicto[11]. Además, había entre 15 y 20 satélites de inteligencia de señales que interceptaban transmisiones de baja y alta potencia[12]. Durante el conflicto se hallaban en órbita tres satélites del Programa de Datos de los Satélites Meteorológicos[13], unos 15 satélites del sistema mundial de

fijación de posiciones (GPS)[14], así como dos satélites FLTSATCOM[15] y por lo menos dos satélites del sistema de telecomunicaciones y satélite para la defensa (DSCS-III)[16]. Los Estados Unidos también utilizaron imágenes obtenidas del Landsat civil de los Estados Unidos y de los satélites de teleobservación del Sistema Experimental de Observación de la Tierra (SPOT) de Francia para actualizar los mapas de la región de conflicto[17].

47. En ese conflicto se utilizaron por primera vez de manera activa casi todos los tipos de satélites. En un plan sobre los programas espaciales militares de los Estados Unidos hasta el año 2020 publicado en fecha reciente, se formulaban varias recomendaciones. Una de ellas se refería al desarrollo y despliegue de un arma espacial para destruir blancos en la Tierra. La otra trataba de los métodos para repeler ataques contra los sistemas espaciales (por ejemplo, las armas antisatélite) y también la manera de disuadir dichos ataques[18]. Con respecto a la primera, que constituye un proyecto a largo plazo, la Fuerza Aérea de los Estados Unidos ha abierto un concurso de diseño para un arma espacial de láser[19]. Si bien ello sólo demostraría la viabilidad de la destrucción de misiles balísticos por láser en su etapa inicial, las armas antisatélite pueden convertirse en una realidad a corto plazo.

48. **Armas antisatélite.** Actualmente se están desarrollando y ensayando dos tipos de armas antisatélite. Son las armas antisatélite de energía cinética (KEASAT), que destruirían un objetivo por colisión, y el Láser Químico de Avanzada de Banda Infrarroja Media (MIRACL), que podría dañar los sensores o el satélite en su totalidad. Se están investigando varios tipos de KEASAT, entre ellos, un cañón electromagnético, un vehículo interceptor y un vehículo autoguiado en miniatura. Los últimos dos tipos pueden constituir un arma de lanzamiento espacial, aéreo o terrestre.

49. Muchos de los sistemas de armas espaciales de los Estados Unidos tienen equivalentes en la ex URSS y, en alguna medida, en la actual Federación de Rusia. La principal diferencia ha sido que en esta última se ha hecho gran hincapié en la función antisatélite de estas armas. A comienzos del decenio de 1970, el desarrollo de armas espaciales se llevó a cabo en dos etapas. La primera etapa cuyo nombre en clave era Fon–1, consistió en la elaboración de conceptos y tecnologías de avanzada. El objetivo de la etapa Fon–2 era plasmarlos en realidad[20]. El programa Fon–1 comenzó oficialmente alrededor de 1976, y se hizo más hincapié en las armas antisatélite que en la defensa contra misiles balísticos. La investigación se ha centrado en armas láser estratégicas y tácticas instaladas en aeronaves, vehículos blindados y buques. Además de las armas antisatélite convencionales de energía cinética que utilizan misiles interceptores de base terrestre de ascenso directo, se construyeron un modelo de láser de electrones libres en Storozhevaya, un láser de gases de 1 MW en Troisk cerca de Moscú, y un importante complejo de láser en Sary Shagan. La Federación de Rusia ha reconocido que posee sistemas de armas antisatélite[21].

50. **Defensa contra misiles balísticos**. Aunque los sistemas de defensa contra misiles balísticos son principalmente terrestres, se los examina en esta sección porque una parte de las posesiones espaciales, como los satélites de reconocimiento, de telecomunicaciones y de navegación, constituye parte importante del sistema. Por ejemplo, un satélite de observación localizaría el despliegue de misiles; un satélite de alerta temprana puede advertir que se está por lanzar un misil; gran parte de esta información y las comunicaciones subsiguientes se transmitirían por medio de satélites de comunicaciones militares; y, por último, el lanzamiento de un arma antimisil estaría guiado por un vehículo espacial de navegación. Además, algunos de los misiles que serían contraatacados viajan a través del espacio ultraterrestre.

51. El actual programa de defensa contra misiles balísticos de los Estados Unidos consiste en la tecnología de defensa contra misiles balísticos en el teatro de operaciones, la tecnología nacional de defensa contra misiles y la tecnología de defensa de avanzada contra misiles balísticos. Algunos de los misiles son capaces de llegar al espacio ultraterreste, por lo que también se los puede considerar armas antisatélite potenciales. Un importante programa de defensa táctica contra misiles de los Estados Unidos se denomina Defensa de la Zona de Gran Altura del Teatro de Operaciones (THAAD) y su objetivo es la defensa contra misiles de alcance de hasta varios cientos de kilómetros. Los misiles THAAD están destinados a chocar con los misiles balísticos y no a destruir a estos últimos explotando cerca del objetivo, por lo que llevan instalado un vehículo interceptor. Una cabeza autobuscadora de rayos infrarrojos ubicada en el vehículo proporciona la orientación final hacia el objetivo. La intercepción ocurre a gran altura en la atmósfera terrestre o muy por encima de ella en el espacio ultraterrestre. Se prevé que el alcance del sistema THAAD sea de 200 km en línea horizontal y 150 km en línea vertical. Ello convertiría el sistema en una posible arma antisatélite.

52. Por último, en relación con la tecnología de defensa contra misiles balísticos de avanzada, se investigarán los vehículos interceptores con sensores mejorados, estructuras de proyectiles y sistemas de orientación y control. También se investigarán las armas de energía dirigida, en particular las de láser químico, como alternativa de la capacidad de intercepción espacial mundial de etapa inicial. Esos sistemas requerirían tecnologías de sensores de avanzada, como sistemas de instrumentos de plano focal y radar de láser. Será

importante estudiar y catalogar las características de las estelas de los misiles y características de otra índole a fin de identificar y rastrear los misiles. El arma de energía dirigida es fundamentalmente un láser aerotransportado. La aeronave, YAL–1A, volará a una altura de poco más de 12 km. Se prevé que sin instrumentos ópticos de adaptación, el alcance de intercepción del láser podría ser unos 240 km, mientras que con esos instrumentos podría ampliarse a unos 400 km. En el primer ensayo, el láser aerotransportado puede derribar su primer misil balístico en el teatro de operaciones en el año 2002[22].

53. No hay mucha información publicada sobre los sistemas rusos de defensa contra misiles balísticos. Sin embargo, la Federación de Rusia ha decidido no instalar ojivas nucleares en los misiles SH–11 Galosh y SH–08 Gazelle en el único sistema de defensa contra misiles balísticos desplegado alrededor de Moscú[23]. A comienzos del decenio de 1970, en el contexto del programa Terra–3, la ex URSS había construido un láser experimental en el polígono de pruebas de defensa aérea de Sary Shagan. Si bien la URSS adquirió muchos conocimientos sobre la interacción entre el láser y los vehículos de retorno de misiles, el programa Terra–3 no resultó promisorio como arma viable.

Algunas conclusiones

54. En los ocho últimos años han aumentado considerablemente la capacidad de realizar operaciones militares desde el espacio y su utilización. Una de las aplicaciones más importantes fue el empleo de arsenales espaciales para librar una guerra convencional durante la crisis del Golfo en 1991, ocasión en que se recurrió a 40 satélites estadounidenses para aumentar la capacidad de reunir información de las fuerzas terrestres. El hecho de que la información recogida mediante satélites de reconocimiento se comparta en grado muy limitado puede despertar el interés en adquirir esa capacidad en otros países que carecen de ella. Así pues, no cabrá sorprenderse de que un número cada vez mayor de Estados trate de comprar satélites militares.

55. La multiplicación de dichos ingenios espaciales se acrecentará aún más si se demuestra que se pueden construir y poner en órbita satélites pequeños de costo módico, sin que ello desvirtúe su eficacia. Estos satélites incrementan la transparencia de las operaciones, lo que es de mucha consecuencia cuando se verifican tratados bilaterales y multilaterales de control de armas. En este contexto, el aumento de capacidad de los satélites civiles de observación adquiere gran importancia. Cualquiera que tenga los medios para comprar las imágenes puede obtener la información recogida por esos satélites. Sin embargo, la difusión de esta capacidad ha suscitado cierta preocupación y ha inducido a algunos Estados a comenzar a desarrollar armas antisatélite, lo que a su vez puede desencadenar una carrera de armamentos en el espacio ultraterrestre. Una manera de impedirlo sería alentar la creación de organismos regionales de control y verificación de armamentos. En Europa, por ejemplo, la Unión Europea Occidental (UEO) estableció su Centro de Comunicaciones por Satélite cerca de Madrid, cuya función es verificar el cumplimiento de tratados, seguir la evolución de crisis y vigilar el medio ambiente[24]. Si un organismo multinacional o internacional lleva a cabo la verificación y adopta las medidas de fomento de la confianza, es posible que disminuya la propensión a hacer un uso indebido de los datos provistos por los satélites.

56. También se han registrado progresos en el ámbito de la defensa estratégica. Pese a que en 1972 los Estados Unidos de América y la ex Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas concertaron el Tratado sobre la limitación de los sistemas de misiles antibalísticos, se ha seguido investigando, desarrollando y, en cierta medida ensayando, ciertos tipos de armas. Así ocurre con las armas terrestres y espaciales que utilizan la energía cinética y los rayos láser. Esos avances obedecen a que se piensa que algunos de estos armamentos son sistemas de defensa antimisiles tácticos balísticos y no sistemas de defensa antimisiles estratégicos balísticos. En todo caso, ahora pueden fabricarse los primeros, ya que los Estados Unidos y la Federación de Rusia han aceptado que el Tratado sobre la limitación de los sistemas de misiles antibalísticos no los prohíbe. Las tecnologías que se emplean para la fabricación de sistemas de defensa antimisiles tácticos y balísticos y los sistemas antisatélite sirven en buena medida para ambos y muchos de los elementos que se utilizan entran en la categoría de armas espaciales[25]. Así pues, cabe concluir que, aunque la guerra fría haya terminado, existe una posibilidad real de que cobre impulso la carrera de armamentos en el espacio ultraterrestre.

C. Tecnología de materiales*

57. La ciencia de los materiales consiste en el estudio de los principios que regulan las propiedades útiles de las sustancias. La tecnología de los materiales comprende los procedimientos que se aplican a un producto o proceso con objeto de explotar los materiales con fines comerciales. La primacía del criterio de utilidad implica que las aplicaciones son las que hacen avanzar la tecnología de los materiales. En el último decenio se han descubierto nuevas aplicaciones

* Esta sección fue redactada por el Dr. Leslie E. Smith, Director del Laboratorio de Ciencia de los Materiales e Ingeniería del Instituto Nacional de Normas y Tecnología, con sede en Maryland (Estados Unidos de América).

comerciales, principalmente en el sector civil, en el que los costos y la capacidad de adaptarse a un gran volumen de producción cobran gran importancia. La exigencia de que un escaso número de productos costosos funcione a la perfección, criterio típico de la industria de la defensa, tiene hoy una incidencia relativamente menor como estímulo del desarrollo de nuevos materiales.

58. El comportamiento y la fiabilidad de los materiales de técnica avanzada dependen de su composición y microestructuras, que dotan a los productos y artefactos de una funcionalidad única. En la esfera de la tecnología de materiales se manifiestan tres tendencias principales, todas ellas dictadas por la necesidad de fabricar con precisión microestructuras con las composiciones físicas y químicas deseadas. En los párrafos siguientes se describen esas tendencias.

a) Tendencia a estructuras de tamaño cada vez menor. A medida que disminuye las dimensiones físicas de un material o de las microestructuras que lo componen, las propiedades del material por lo general cambian. Se ha logrado medir propiedades mecánicas eléctricas, térmicas y químicas en materiales con nanoestructuras que son superiores a las de materiales similares compuestos de cristales o partículas más grandes. Los investigadores están tratando de idear métodos rentables para poder fabricar esas nanoestructuras;

b) La producción y caracterización de materiales nuevos que se necesitan para aplicaciones altamente especializadas. Guías industriales y otros indicadores han permitido determinar las necesidades que surgirán en numerosos sectores de gran crecimiento, como los de los artefactos biomédicos, de los componentes de computadoras y las comunicaciones. Regularmente se desarrollan nuevos materiales o se mejoran el comportamiento y la fiabilidad de los materiales existentes para satisfacer la demanda futura. Además, se están investigando intensamente nuevas moléculas que fueron descubiertas fortuitamente, a fin de determinar cómo explotar sus propiedades poco comunes;

c) La influencia de la biología, que utiliza la composición molecular de un material para generar espontáneamente una determinada microestructura. La transformación de los materiales en estructuras rigurosamente controladas y a menudo muy pequeñas presenta enormes inconvenientes para la producción en gran cantidad y a bajos costos de dispositivos de tecnología avanzada. Las estructuras biológicas resultan de la agrupación de moléculas que contienen en su estructura la información codificada que determina esa configuración. El concepto de creación espontánea de microestructuras con posibilidades de uso práctico estimula la investigación de materiales, en particular cuando tienen aplicación en medicina y electrónica.

59. Las tendencias descritas anteriormente se manifiestan claramente en las secciones que siguen, en las que se describe brevemente el estado de desarrollo de determinados tipos de materiales si las cuestiones que se plantean en su investigación.

Materiales con nanoestructuras

60. Estos materiales contienen estructuras cuyas dimensiones oscilan entre 1 y 100 nanómetros, gama de tamaños en la que se han observado algunas propiedades novedosas y útiles. Las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales con nanoestructuras pueden diferenciarse considerablemente de las propiedades de los materiales en masa de composición análoga. Los factores principales que determinan esas diferencias son el tamaño y la distribución por tamaño de las fases y estructuras, la composición química de las fases y la interacción de éstas en las interfases.

61. Los nanomateriales mixtos, que constan de una materia de base o matriz continua de metal, polímero o cerámica y de elementos de refuerzo con dimensiones del orden del nanómetro, constituyen una clase importante de los materiales con nanoestructuras. Los nanomateriales mixtos con matriz de cerámica se pueden conseguir en el mercado para aplicaciones especializadas. Algunos polímeros reforzados con arcillas que se han exfoliado para obtener láminas con separación del orden del nanómetro han mejorado considerablemente sus propiedades mecánicas y las temperaturas de servicio al agregárseles sólo un escaso porcentaje del aditivo arcilloso. Si se pudiera comprender este comportamiento y trasladarlo a los polímeros corrientes que se utilizan en los bienes de consumo, los nanomateriales mixtos de este tipo podrían competir eficazmente con plásticos industriales de mayor precio y su uso podría generalizarse a muchos otros ámbitos. El futuro de los materiales nanoestructurados depende en última instancia de que se desarrollen métodos de producción comercialmente viables.

Películas delgadas y capas periféricas

62. Las propiedades de la superficie de un material son distintas de las de su masa; a medida que el tamaño del material disminuye, aumenta la preponderancia de las propiedades de la superficie. Las microestructuras de las capas periféricas y las interfases determinan el comportamiento y la fiabilidad de muchos materiales modernos. Las necesidades surgidas en la esfera de la electrónica y las comunicaciones avanzadas han despertado gran interés en la obtención y modificación de superficies laminares con estructuras y composiciones estrictamente controladas.

63. Se ha desarrollado un número considerable de técnicas a fin de fabricar esos materiales. La deposición química de vapor en vacío, la deposición física de vapor en vacío y métodos que emplean rayos láser y haces de electrones y de iones se han transformado en técnicas viables para la formación de películas delgadas. En la deposición química, en la que se utilizan principalmente sustratos de silicio, material cerámico o carbono, la obtención de películas delgadas se realiza a altas temperaturas. La deposición física requiere una temperatura menor (<500º C), por lo que puede utilizarse para recubrir materiales ferrosos.

64. La producción de diamantes sintéticos a altas presiones se conoce desde hace unos 50 años. Por el contrario, sólo recientemente se han creado procedimientos eficientes y, en algunos casos, de bajo consumo energético para sintetizar películas de diamante y de carbono con propiedades de diamante. Las posibilidades de usar esas películas en circuitos electrónicos, para los que tienen un valor único por su alta conductividad térmica y aislación eléctrica, así como en los cabezales de herramientas de corte y laborado, han acrecentado el interés y la actividad comerciales.

Estructuras de carbono amorfo

65. Se considera desde hace mucho que el carbono se da sólo en dos variedades alotrópicas: el diamante y el grafito. La estructura del diamante es un cristal tridimensional, mientras que la del grafito consta de columnas de láminas bidimensionales. En 1985, el asombroso descubrimiento de una nueva clase de moléculas constituidas únicamente de átomos de carbono formadas en hornos de arco a temperatura elevada dio lugar a una intensa actividad para explotar sus propiedades únicas. Estos compuestos se denominaron fullerenos porque sus formas curvas se asemejan a las utilizadas por el destacado arquitecto Buckminster Fuller. La variedad más simétrica es el C_{60}, cuyos 60 átomos de carbono se disponen en forma de esfera hueca. Poseen algunas propiedades poco comunes; por ejemplo, son sumamente solubles en solventes y tienen una presión de vapor increíblemente alta para los materiales compuestos cuyas moléculas constan únicamente de átomos de carbono. Se han descubierto nuevos métodos para sintetizar estos compuestos en cantidades lo suficientemente grandes como para posibilitar la investigación extensa. Sus estructuras peculiares en forma de jaula han llevado a los científicos a utilizar el interior hueco para incorporar una gran diversidad de átomos que luego pueden ser protegidos o enviados a otros puntos de fijación. Tal vez en el futuro estos materiales puedan emplearse como catalizadores, superconductores, materiales para dispositivos de almacenamiento de hidrógeno o células fotovoltaicas. Por ejemplo, el C_{60} puede intercalarse con tres átomos de un metal alcalino y los superconductores que resultan poseen temperaturas de transición inferiores únicamente a las de los materiales superconductores de cerámica.

66. Los nanotubos son fullerenos gigantes cuyas estructuras constan de numerosos tubos concéntricos. Sus propiedades eléctricas, térmicas y mecánicas poco comunes obedecen a su forma geométrica y gran proporción dimensional. Los fullerenos y sus derivados no han sido aún explotados comercialmente pero, a juzgar por los interesantes resultados de investigación que se han dado a conocer en los cuatro últimos años, se puede afirmar que en el próximo decenio estos materiales se emplearán en la fabricación de artículos y dispositivos.

Materiales cerámicos estructurales

67. Los materiales cerámicos estructurales perfeccionados se utilizan en aplicaciones que requieren como parámetros de importancia crítica alta resistencia mecánica a temperaturas elevadas, resistencia al desgaste, baja densidad, resistencia a la corrosión, dureza, rigidez y peso ligero. Estas propiedades hacen que estos materiales sean preferidos en las industrias aeroespacial, de la energía, de la defensa e industrias afines. En la actualidad se emplean para repuestos resistentes al desgaste (juntas y válvulas), herramientas de corte, cojinetes y películas que sirven de barrera térmica. Las piezas resistentes al desgaste ofrecen las mejores posibilidades comerciales de uso de los materiales cerámicos estructurales perfeccionados.

68. En el próximo decenio, estos materiales se utilizarán cada vez más en productos como intercambiadores de calor, motores térmicos y materiales biocerámicos. Se prevé que en el año 2000 la demanda en los Estados Unidos para las aplicaciones mencionadas y de otro tipo equivaldrá a entre 2.000 millones y 3.000 millones de dólares. No obstante, sólo se afianzará esta tendencia si la industria tiene la capacidad para vencer los principales obstáculos técnicos y económicos que impiden que se generalice el uso de esos componentes. Para ello habrá que mejorar el comportamiento y la fiabilidad de los materiales cerámicos estructurales perfeccionados empleando una técnica de elaboración más eficaz y reduciendo los costos de sus componentes para que puedan competir mejor con los materiales tradicionales.

Materiales mixtos

69. En el decenio de 1980 creció sobremanera el interés por los materiales mixtos, en gran parte por el hecho de pensarse que, si se lograban nanoestructuras cristalinas, se producirían cambios radicales en sus propiedades mecánicas, eléctricas, ópticas y químicas. Los materiales mixtos se obtienen al

integrarse a una segunda sustancia o matriz materiales que refuerzan la estructura. La forma y disposición estructural de los componentes, su composición y la interacción entre ellos determinan el comportamiento y las propiedades de los materiales mixtos.

70. En la actualidad se investigan intensamente los materiales mixtos con matriz de cerámica, con matriz metálica/intermetálica y con matriz de polímero. Los materiales mixtos con matriz de cerámica se dividen en los que tienen una armadura de fibras discontinuas y los que tienen armadura de fibras continuas. Los materiales mixtos con matriz de cerámica y armadura de fibras continuas o los que constan de una carga de fibras cerámicas dispersas en una matriz de cerámica, se hallan en la etapa de precomercialización para aplicaciones en las que se registran altas temperaturas y grandes fatigas (por ejemplo, intercambiadores de calor de alta presión, y cámaras de combustión, toberas y juntas de turbinas de gas). Los materiales mixtos con matriz de cerámica y armadura de fibras discontinuas, que se componen de una fase de materia matriz a la que se añade una fase de reforzante, se encuentran en las primeras etapas de comercialización. Actualmente se los emplea en herramientas de corte, repuestos resistentes al desgaste, troqueles de enlatado y extrusión, corazas y radomos. Se estima que en la actualidad el mercado de esos materiales en los Estados Unidos asciende a más de 200 millones de dólares y la categoría para la que hay más demanda son los materiales mixtos de matriz cerámica reforzados con fibras discontinuas.

71. La tecnología de materiales mixtos con matriz de polímero está más desarrollada que la tecnología que se acaba de describir. Los materiales se han utilizado comercialmente en numerosas industrias, por ejemplo en la fabricación de artículos médicos, en la explotación petrolera en alta mar, el transporte, la construcción y el sector naval. El empleo más extenso de esos materiales dependerá de que pueda preverse con mayor precisión su eficacia a largo plazo y de que se utilicen métodos de fabricación más rentables.

72. Los materiales mixtos de matriz metálica contienen una o más fases reforzantes internas que se integran a la matriz metálica o intermetálica durante la fabricación. Se ha demostrado que esos materiales presentan las siguientes ventajas respecto de las aleaciones metálicas no reforzadas: menor peso, mayor resistencia al desgaste y al choque, un coeficiente de dilatación térmica más bajo y mayor resistencia y rigidez. Su producción es muy costosa y los materiales en sí se utilizan en aplicaciones muy especializadas (por ejemplo, en misiles, componentes de aeronaves y determinadas aeronaves). En el futuro, los materiales mixtos de matriz intermetálica se emplearán en fuselajes y revestimientos de aeronaves y en motores de turbinas y modelos de técnica avanzada de aeronaves militares, así como en vehículos espaciales nacionales. La reducción de los costos por aumento del volumen puede generar una gran demanda, en particular en la fabricación de automóviles en los dos o tres próximos años.

Películas magnéticas delgadas

73. En los últimos años, las películas magnéticas delgadas han reemplazado a las partículas de óxido metálico como fuente de flujo inductor en los dispositivos de almacenamiento magnético de los discos rígidos. Estas películas de capas múltiples precisamente estructuradas poseen una reluctancia gigante y una reluctancia colosal, lo que consiste en un gran cambio de la conductividad eléctrica cuando se invierte la dirección del magnetismo. Se comprende el fenómeno general, aunque todavía se investiga arduamente los numerosos factores que determinan la respuesta de los sistemas prácticos. La tecnología actual para controlar las microestructuras de esos materiales ha permitido fabricar discos de películas capaces de almacenar 500 Mb por pulgada cuadrada y se prevé que esa capacidad alcanzará a 10 Gb por pulgadas cuadradas en el próximo decenio.

Materiales inteligentes

74. Se denominan materiales inteligentes a aquellos capaces de "percibir" los estímulos externos, como el calor, la presión, el potencial eléctrico y la luz, y de reaccionar de formas muy concretas y deseables. Entre los tipos de materiales inteligentes se hallan los polímeros piezoeléctricos, los polímeros conductores, las cerámicas piezoeléctricas y electroestrictivas, los fluidos electrorreológicos y magnetorreológicos, los revestimientos electrocrómicos, los materiales magnetoestrictivos, los dispositivos integrados micromaquinados, los geles y polímeros biomiméticos y los polímeros y aleaciones que recuperan su forma original. Estos materiales se encuentran en distintas etapas de investigación y desarrollo o de comercialización.

75. De todos los materiales inteligentes, los materiales piezoeléctricos, o sea, los materiales electromecánicos que cambian de dimensión cuando se los somete a una corriente eléctrica, han captado la mayor proporción del mercado. Su utilización en bienes de consumo como dispositivos temporizadores, dispositivos de enfoque automático de cámaras de vídeo y órganos de posicionamiento de cabezas de discos rígidos de computadora ha contribuido a que las ventas de materiales piezoeléctricos alcancen a casi 1.000 millones de dólares.

76. Los materiales cromógenos cambian de color ante estímulos externos. La mayor parte de las investigaciones actuales se efectúa con sustancias electrocromas (potencial

eléctrico), termocromas (calor) y fotocromas (luz). El segmento comercial de los materiales inteligentes susceptible de mayor crecimiento es el que corresponde a los revestimientos cromógenos y al vidrio para usos arquitectónicos. No obstante, en el corto plazo el mayor crecimiento se registrará en el rubro de los sensores integrados de silicio micromaquinados. También aumentará considerablemente en el futuro la demanda de sistemas de seguridad, órganos de control del ruido y de las vibraciones y de estructuras con sensores de fibras ópticas. Está disminuyendo la demanda de materiales inteligentes en los sectores militar y de la defensa y, con el correr del tiempo, adquirirán importancia las aplicaciones de doble uso.

77. Los materiales biomiméticos, que cambian su tamaño o coeficiente de difusión cuando se los somete a estímulos químicos y eléctricos, tienen la propiedad de imitar de forma excelente los sistemas biológicos. Si bien los geles y polímeros biomiméticos se hallan en la etapa de investigación y desarrollo, es posible que en el futuro se los utilice en biosensores y prótesis neurales.

78. Los polímeros y aleaciones con propiedades mnemotécnicas pueden recuperar su forma original cuando se los calienta a una temperatura más elevada, después de haberlos sometido a moldeo termomecánico. Las aleaciones de este tipo se utilizan comercialmente en alambres de arcos ortodónticos, monturas de anteojos y servomandos térmicos de resorte helicoidal. Los polímeros con propiedades mnemotécnicas se fabrican en varios estados físicos útiles, entre ellos pastillas, soluciones y líquidos. Esas propiedades se adaptan para aplicaciones médicas e industriales y bienes de consumo, como catetéres y equipos de protección moldeados a medida.

79. Los polímeros conductores pueden alterar el color y la conductividad ante estímulos químicos y eléctricos. Comercialmente se utilizan en acumuladores y revestimientos de blindaje contra perturbaciones electromagnéticas y radioeléctricas.

Materiales Electrónicos

80. Pareciera que en la actualidad los dispositivos electrónicos activos fabricados con materiales poliméricos ofrecen posibilidades comerciales considerables. Los diodos poliméricos fotoemisores ya tienen una eficiencia de funcionamiento parecida a la de los diodos inorgánicos. Los materiales poliméricos pueden depositarse en sustratos flexibles y livianos, lo que da bastante libertad a los diseñadores para crear nuevos sensores. La presencia de una molécula drogante determina la luz particular que emite el material, de modo que el mismo polímero de base puede producir distintos colores. Se han desarrollado transistores poliméricos que pueden utilizarse en circuitos integrados bastante simples. Si bien es cierto que estos dispositivos no podrán competir inmediatamente, si es que algún día llegan a hacerlo, con los dispositivos con base de silicio por su velocidad o densidad, presentan la ventaja de ser algo más flexibles si se utiliza un sustrato flexible en su fabricación. Ya se han hecho demostraciones con otros componentes electroópticos, como guías de onda, conmutadores y moduladores, y algunos de ellos bien pueden llegar a tener uso en componentes pequeños y poco costosos de sistemas de comunicación y computación de fibras ópticas.

81. Los problemas técnicos que hay que resolver en la fabricación de estos materiales consisten en prolongar la duración de su vida útil y en desarrollar los métodos de fabricación que permitan fabricar un gran volumen de dispositivos a bajo costo. Ya se ha logrado prolongar considerablemente la vida útil gracias a la mejora de las técnicas de fabricación.

Configuraciones supramoleculares

82. Tanto los polímeros naturales como los sintéticos pueden concebirse de modo que sus moléculas formen grandes configuraciones con propiedades útiles. El fenómeno más ampliamente estudiado de este tipo de configuración son las capas monomoleculares, en las que moléculas con la estructura adecuada se alinean espontáneamente para formar capas uniformes dispuestas apretadamente sobre un sustrato apropiado. Dado que estas capas se forman espontáneamente, podrían fabricarse a bajo costo grandes cantidades de dispositivos que contengan esos materiales. Otra propiedad que poseen es la capacidad de autorregenerar capas dañadas mediante la agrupación de moléculas suplementarias en lugares que adolecen de defectos. Estas capas pueden llevar una gran cantidad de grupos funcionales en sus superficies a fin de cumplir funciones determinadas. Por ejemplo, pueden tener un punto de fijación concreto para atraer una sustancia química determinada y servir de sensor. Pueden tener un punto capaz de imitar un factor fisiológico a fin de producir una respuesta deseada en el organismo. Superficies de ese tipo pueden emplearse como materiales de sostén para el crecimiento de tejido de reemplazo. Se ha propuesto utilizar las capas monomoleculares que se agrupan espontáneamente como microrredes de los circuitos electrónicos merced a sus propiedades humectantes para proteger la superficie del silicio como alternativa a la fotolitografía tradicional. Se han logrado producir configuraciones tridimensionales más intrincadas mediante complejos métodos de síntesis. A medida que se comprendan mejor los principios que regulan su configuración, esas moléculas se mostrarán capaces de cumplir funciones más complejas.

Consecuencias de las tendencias tecnológicas

83. Las consecuencias sociales, económicas y políticas de estas tendencias en la tecnología de los materiales están determinadas por las aplicaciones que hacen posibles. Las aplicaciones que son más fáciles de pronosticar corresponden a la electrónica y las comunicaciones, en que el desarrollo de los instrumentos y las tendencias del mercado están bien establecidos y no muestran indicios de menguar. El poder de computación por un precio dado sigue aumentando al mismo ritmo rápido que en el decenio anterior. Las comunicaciones inalámbricas se están generalizando y creciendo con gran rapidez, volviéndose las computadoras y los teléfonos portátiles cada vez más pequeños y ligeros. Esto pone la información en manos de muchas más personas en el mundo entero que nunca antes y ciertamente cambia las formas en que las personas se perciben a sí mismas y las formas en que los gobiernos controlan y dirigen a sus ciudadanos. Los avances en materiales inteligentes y sensores basados en éstos darán lugar a sistemas de detección sumamente especializados que podrán proteger contra amenazas de índole química o biológica, ya sean naturales o causadas por el hombre. Se prevé que los posibles avances en la medicina basados en materiales avanzados sean verdaderamente revolucionarios. El crecimiento de células vivas sobre un sustrato artificial para producir nuevas células, tejidos o incluso órganos enteros no sólo parece posible, sino que quizás esté próximo a ser realidad.

84. El mayor impulso a la tecnología de materiales sigue proviniendo de la necesidad de desarrollar y elaborar materiales con características de comportamiento y fiabilidad previsibles. El tamaño y la composición de las microestructuras de los materiales tienen importancia crítica para su comportamiento en los productos y dispositivos finales y actualmente se están montando materiales a niveles atómico y molecular mediante tecnologías de elaboración controlada. Los materiales avanzados siguen penetrando en el mercado, por lo general comenzando en sectores especializados del mercado en que el comportamiento es más importante que el costo. La comercialización más generalizada de materiales avanzados o adaptados molecularmente dependerá de nuestra habilidad para crear tecnologías de elaboración fiables que puedan competir en costo con los materiales convencionales.

D. Tecnología de la información*

85. La velocidad, el tamaño y el precio de los procesadores y los conmutadores de datos han seguido disminuyendo exponencialmente o a ritmo aún más rápido. Se han producido adelantos revolucionarios en la distribución de la información en forma digital, a raíz de mejoras en la infraestructura de las comunicaciones, la elaboración de protocolos de intercambio y programas lógicos independientes de los componentes físicos. Se han producido considerables adelantos en el almacenamiento, el procesamiento y la aplicación de información digital no alfanumérica, y nuestra capacidad para detectar el medio ambiente, mediante dispositivos más pequeños y mejor integrados, ha estado aparejada con avances en los actuadores de robots. Sin embargo, la complejidad de la elaboración de grandes sistemas sigue siendo un obstáculo en el avance hacia redes de información mundiales.

86. Al abordar los cambios ocurridos desde el informe de 1990, la presente sección comienza con la apreciación anterior de que, puesto que la tecnología de la información proporciona los instrumentos y las técnicas para administrar y aplicar la información, tiene relaciones potenciales con todas las actividades militares y de la sociedad, desde la retroalimentación de información de control de bajo nivel en el funcionamiento de maquinaria hasta el apoyo a argumentos estratégicos o filosóficos de gran nivel.

87. Al igual que todas las tecnologías, los efectos de la tecnología de la información sólo pueden describirse desde el punto de vista de su aplicación.Los efectos de las aplicaciones dependen a su vez de la combinación de la tecnología de la información con otras tecnologías en dispositivos o sistemas, de los procedimientos a los que se recurre para elaborar y utilizar estos dispositivos o sistemas y de la reacción del hombre o de una organización a las aplicaciones resultantes. La propagación de la tecnología de la información sigue en aumento si se la mide con cada uno de los principales indicadores: extensión de la aplicación; diversidad de bienes y productos a los que contribuye; velocidad de adopción, y apoyo de los inversionistas[26]. La enorme ampliación de la base mundial de recursos de información digital en los últimos 10 años, reflejada en la difusión del término “era de la información”, ha dado lugar a que el sector económico y el militar dependan de los sistemas de información[27]. De este modo, la dualidad entre las ventajas competitivas de la

* Esta sección fue escrita por la Profesora Janet Aisbett, Jefa de la Escuela de Gestión y la Escuela de Tecnología de la Información, Universidad de Newcastle, Newcastle (Australia).

tecnología de la información y su vulnerabilidad estratégica plantea nuevas cuestiones de seguridad para el siglo venidero.

Avances en las tecnologías de procesamiento y comunicaciones

88. El centro vital de la expansión de la tecnología de la información es la unidad procesadora electrónica, la cual ha proseguido miniaturizándose a una tasa exponencial, lo que ha acarreado tasas comparables de reducción en los tiempos de elaboración, los costos, el tamaño y el peso[28]. Se prevé que continúen las mejoras en el desempeño, al aumentar la integración de la funcionalidad en la misma pastilla.

89. Sin embargo, las principales novedades en la tecnología de la información en los últimos ocho años han consistido en la concatenación de los sistemas de computadoras y las tecnologías asociadas con la Internet. La innovación en los sectores económicos de la computación, la electrónica y los medios de información aunada a la concertación de normas en apoyo a la compatibilidad recíproca han contribuido a la adopción revolucionaria de la Internet. Se han publicado muchas estadísticas sobre la propagación de la Internet. Según ciertas estimaciones[29], para mediados de 1998 se preveían 122 millones de usuarios, de los cuales casi el 60% se hallan en Norteamérica. Actualmente sólo el 0,75% se halla en África.

90. La penetración de la Internet seguirá dependiendo de la extensión de la infraestructura de comunicación básica. En los países desarrollados, la fibra óptica de gran ancho de banda está reemplazando las redes de cobre existentes, previéndose que la tecnología de óptica integrada supere los problemas de conmutación en las comunicaciones. Se está llegando a contar con capacidad de varios megabitios por segundo para servicios domésticos.

91. La propagación de la Internet en naciones con una infraestructura de líneas terrestres más escasa dependerá de la reducción de los costos y la mayor capacidad de las comunicaciones basadas en satélites. Esto se logrará mediante la introducción de transmisores más potentes, compresión digital más avanzada, disminución de los costos de lanzamiento y estaciones terrestres más económicas. Otro avance posible consiste en servicios de comunicaciones inalámbricas basados en plataformas aeronáuticas a gran altura, lo que permitiría el despliegue rápido de servicios de comunicaciones de gran ancho de banda.

92. El particular buen resultado de la World Wide Web como tecnología de la Internet es imputable al hecho de que ha aprovechado las innovaciones en los medios múltiples digitales interactivos. La Web ha mejorado radicalmente la flexibilidad con que se puede intercambiar información, en comparación con modalidades anteriores de comunicación, distribución de información y espectáculos a distancia —por ejemplo, el teléfono, los libros y la televisión. Las posibilidades de compartir recursos docentes y de conocimientos especializados escasos, mediante la ejecución supervisada de tareas especializadas como operaciones quirúrgicas, mediante la educación a distancia y vías análogas, apenas están comenzando a aprovecharse. Si se cuenta con amplio acceso a la Web, hay verdaderas posibilidades para corregir el desequilibrio entre “ricos” y “pobres” en materia de información, tanto al interior de los países como en el plano internacional.

93. A esto contribuirán las tecnologías de compresión, que permiten utilizar en forma más eficiente los anchos de banda para las comunicaciones y la capacidad de almacenamiento digital existentes. Éstas se verán impulsadas gracias a órganos normativos con perspectiva al futuro como el Grupo de Expertos en Películas[30]. Se logra una compresión eficiente mediante los denominados métodos “inteligentes” que interpretan parcialmente los datos brutos y de este modo transforman no sólo los requisitos de la infraestructura de comunicaciones y almacenamiento, sino también la capacidad para interpretar automáticamente la información comprimida a fin de perfeccionar la recuperación y el filtrado.

Tecnología de medios múltiples

94. Proseguirá aumentando la parte de las actividades de investigación en tecnología de la información orientada a cuestiones relacionadas con la información, a diferencia de cuestiones relacionadas con la tecnología (procesadores, compiladores, etc.), aunque esto es difícil de calibrar con exactitud debido a la variedad de actividades de investigación en juego. La tecnología digital interactiva de medios múltiples aúna mecanismos de elaboración y presentación de la información que anteriormente se habían desarrollado por separado, por ejemplo, los relacionados con imágenes, audio, textos o datos espaciales. Así pues, la capacitación en tareas civiles y militares peligrosas o costosas ha contado con la ayuda de tecnologías de información como aulas electrónicas, realidad virtual y simuladores. Apenas están comenzando a aprovecharse las posibilidades docentes de las tecnologías conexas.

95. La forma en que los seres humanos utilizan dicha información se está comprendiendo mejor gracias a las investigaciones en las ciencias cognitivas. Se lograrán mejoras en la capacidad para recuperar automáticamente información relativa a la tarea de una persona, independientemente de si la información está contenida en una imagen, un archivo de textos, etc. El filtrado de la información para impedir “recargo de información” también se volverá cada vez más eficaz como resultado de intensas actividades de

investigación. La mayor capacidad para ubicar y filtrar información tiene consecuencias para la seguridad, tanto para su aplicación en supervisión autorizada como para el espionaje.

Tendencias en sensores y robótica

96. Los avances en la tecnología de la información han permitido avances acelerados en la reunión de información para inteligencia y vigilancia, tanto comercial como militar. Actualmente ya se está reuniendo información durante 24 horas de todo el planeta, con la ayuda de las conexiones de la Internet y las mejoras en los dispositivos de fijación de posiciones y de vigilancia y los sensores. Estos dispositivos han progresado gracias a una combinación de innovaciones en tecnologías de sensores activos y pasivos, en la infraestructura de procesamiento y en algoritmos de procesamiento avanzados que se basan en modelos complejos del medio y el sensor.

97. La miniaturización, aunada a avances en la tecnología de los sensores, seguirá reduciendo el costo y el tamaño de los sensores, al igual que ha ocurrido con los procesadores. Las redes coordinadas de pequeños sensores inteligentes brindan una mejor capacidad a bajo costo para reunión de información, vigilancia y reconocimiento. Asimismo,recursos de computación más avanzados y modelos de los sensores y el medio ambiente más perfectos seguirán aumentando la utilidad de datos combinados; por ejemplo, datos electroópticos, infrarrojos, acústicos y sísmicos recogidos por sensores que trabajan por sí solos en el terreno, o datos infrarrojos o de radar en sistemas de vigilancia aérea. Dichos datos pueden elaborarse in situ, comprimirse, transmitirse, analizarse y finalmente almacenarse en depósitos de datos para permitir la vigilancia y el rastreo a bajo costo para fines civiles, militares y de mantenimiento de la paz, inclusive el rastreo de armamentos y la vigilancia de su neutralización.

98. Las mejoras evolutivas de las tecnologías de transporte que se han producido a la par de la miniaturización de los sensores han fomentado el desarrollo de unidades de vigilancia más pequeñas, más autónomas y más móviles. La tendencia conducirá a “microrrobots” económicos de menos de 1 centímetro que pueden combinarse para realizar tareas complejas. Con control y comunicaciones inteligentes, los dispositivos sensores más inteligentes permiten el desarrollo de vehículos autónomos no tripulados de mayor capacidad, que recién están comenzando a desempeñar las importantes funciones militares y comerciales que se las ha pronosticado desde hace varios decenios. Existen posibilidades de que vehículos controlados a distancia o autónomos relativamente baratos, en venta para tareas como la vigilancia de accidentes de tránsito, se redestinen a usos militares o terroristas. Hablando en general, la mayor capacidad de los vehículos autónomos abre las posibilidades de que las naciones libren actos de guerra sin la restricción de la respuesta de sus pueblos a pérdidas de vidas humanas. Una preocupación conexa es la asequibilidad de la tecnología de dicha índole a medida que se reduzcan los costos.

99. Se están logrando mejoras en la eficacia del desempeño de los seres humanos en varias esferas gracias al desarrollo de auxiliares digitales personales. Los denominados “atavíos de información”, es decir, el uso de dispositivos sensores, procesadores o de distribución de información escondidos dentro de la ropa o utilizados como vestuario, pronto se propagarán desde sectores especializados como la vigilancia médica o militar. En términos más generales, aparatos de información, dedicados a realizar tareas concretas como la vigilancia de motores de vehículos o de flujo del tránsito, se difundirán más como resultado de una mayor asequibilidad y de una construcción más compacta con “sistemas en pastillas” de nueva generación y sensores de apoyo como los sistemas diferenciales de fijación de la posición[31]. La convergencia de las tecnologías de sensores, procesamiento y control se está aplicando al desarrollo de armamentos y sistemas de armamentos autónomos.

La guerra de la información y el uso ilícito de la información

100. La dificultad y la rentabilidad relativamente escasa que reporta estar a la vanguardia del desarrollo de los armamentos seguirán obligando a que las naciones más pobres dependan de armas relativamente baratas y poco refinadas, al igual que los terroristas (los que también posiblemente recurrirán a reclutar fuerzas mercenarias con tecnología avanzada). Por razones análogas de costo, las desventajas políticas de la desestabilización, a diferencia de la posesión y el empleo de armas avanzadas, quizás resulten una opción atractiva para las naciones más pobres y los grupos terroristas.

101. Podría afirmarse que la desestabilización en una era de la información se facilita debido a que en el sector civil se subestiman las posibles repercusiones de la guerra de la información, a pesar del papel destacado que se atribuye a los ataques de información en los medios de información y mediante la Internet, por ejemplo[32]. La protección que brinden los dispositivos y protocolos de cifrado de nueva generación no detendrá ni al agresor con medios muy avanzados ni al agresor físico con medios muy poco refinados. Existen verdaderas posibilidades de que grupos terroristas con pocos fondos y Estados más pequeños interrumpan los servicios vitales. Sin embargo, por otra parte, los métodos criptográficos perfeccionados que han derivado de las

exigencias comerciales harán más fácil vigilar a los tratantes en armas, los delincuentes y los terroristas.

102. En el sector militar, los beneficios de la conexión y la compatibilidad de sistemas han llevado a reconocer que en materia de seguridad es preferible adoptar estrategias de gestión de los riesgos a adoptar estrategias para evitar los riesgos. Esto es especialmente válido para los sistemas C^3I. Mientras que en los países de la Organización del Tratado del Atlántico del Norte (OTAN) o países semejantes dichos sistemas por lo general aún son muy seguros, la guerra de la información ha recabado considerables fondos en estas naciones y ha dado lugar a un vocabulario floreciente de cibertérminos: ciberoperaciones, ciberataques, cibermuniciones, etc. La guerra de la información se parece al terrorismo, en cuanto es difícil individualizar atacantes que contraatacar. Periódicamente se experimentan ataques de poca cuantía de agentes en pequeña escala en los sistemas militares y civiles.

103. En concordancia con sus efectos sobre las tendencias legales en materia de comunicaciones, la tecnología de la información ha fortalecido las redes delictivas internacionales, al permitir a grupos minoritarios, incluidos los traficantes en pornografía, intercambiar información para capacitación y otros fines ilícitos. Los medios para cometer delitos han cambiado, y la transferencia de fondos electrónicos por medios falsificados, el espionaje industrial y otras formas de fraude por telecomunicaciones se están realizando en escala mundial[33].

Tendencias del desarrollo en tecnología de la información

104. En el contexto del desarrollo de la tecnología de la información, proseguirá la tendencia de la dependencia de la investigación y el desarrollo militar hacia la dependencia de la investigación y el desarrollo civil, manteniéndose estrechas relaciones de trabajo entre la industria, las universidades y los asociados gubernamentales. Esto se ha aparejado con la producción integrada de equipo militar en empresas comerciales y la utilización de componentes comerciales en sistemas militares. Las soluciones disponibles en el mercado siempre costarán menos que los sistemas de programas lógicos hechos a la medida y, gracias a la miniaturización, los equipos disponibles en el mercado se están volviendo más robustos.

105. Ha habido un aumento global en el número de empresas pequeñas y especializadas de desarrollo y producción de tecnología de la información. Esto obedece en parte al menor costo del ingreso en las industrias de tecnología avanzada, lo que resulta posible gracias a la baja general de los precios de los componentes y de instrumentos de desarrollo como el diseño de programas lógicos con ayuda de computadora (CASE). Esta tendencia puede redundar en dificultades para supervisar la fabricación de dispositivos de tecnología medianamente avanzada que tengan importantes aplicaciones militares.

106. Ha habido también una marcada iniciativa de las empresas que se dedican a vender y desarrollar tecnología de la información a implantar arquitecturas de sistemas en los sectores civil y militar[34]. Esto ha ocasionado modificaciones radicales en la arquitectura para armas y sistemas de sensores que ofrecen posibilidades de mejoras modulares en el tiempo. Sin embargo, la persistente dificultad de evitar los retrasos y los sobrecostos en la ejecución y el mantenimiento de importantes sistemas de programas lógicos, como los que forman parte del C^3I, seguirá contrastando pronunciadamente con el costo en constante disminución y el refinamiento cada vez mayor de los componentes utilizados en aparatos de información. Esto es consecuencia de la complejidad cada vez mayor de los requisitos, de las exigencias de integración o de conexión sin interrupción y del hecho de que la comunidad de investigadores de los sistemas de información no haya demostrado iniciativa[35].

107. El desarrollo de grandes sistemas ha sido un importante problema para los sectores militar y civil, en respuesta a lo cual se ha registrado recientemente una tendencia hacia el desarrollo y el funcionamiento centralizados de sistemas. Los vendedores de soluciones integradas han adquirido enorme poder en el mercado civil en escala mundial y, en particular, Microsoft y SAP AG se han apoderado de diferentes sectores del mercado y también han creado alianzas. El poder de estas sociedades plantea un reto a los poderes estatales tradicionales. La tendencia actual a que vastas empresas dominen la producción de programas lógicos en algunos sectores se está reflejando en el ascenso de las grandes oficinas multinacionales de apoyo a los sistemas de información. Este ascenso puede atribuirse por su parte al hecho de que los proveedores convencionales no proporcionan garantías perennes sobre los sistemas de información. Sin embargo, es probable que la tendencia a la centralización se invierta antes de que se cumplan 10 años, a medida de que se desarrollen formas más inteligentes de atravesar las fronteras de los sistemas y los subsistemas de información mediante la mediación y la traducción.

El futuro

108. Nos hallamos en una era de interconexiones mundiales, en que no hay manera realista de defender las fronteras nacionales contra el tránsito de información. La difusión de información sin fronteras en la Internet tendrá una influencia estabilizadora y a la vez desestabilizadora, con complejas consecuencias culturales, políticas, jurídicas y comerciales.

Como contrapeso a la propaganda o las aplicaciones de la información adversas de la Web hay una variedad de aplicaciones establilizadoras, desde la gestión de crisis hasta la sensibilización sobre cuestiones como los armamentos biológicos. Las barreras del idioma y el tiempo, al igual que de la distancia, se han reducido considerablemente en el mundo de la Web. La comunidad académica mundial fue uno de los primeros beneficiarios de la Internet; ahora por lo menos algunos de los escolares en casi todas partes del mundo pueden comunicarse directamente con sus iguales.

109. La aplicación comercial de la tecnología de la información ha modificado la relación entre el poder empresarial y el poder estatal. Varias empresas, en número cada vez mayor, alcanzan producciones anuales que superan los productos nacionales brutos. Los países desarrollados tratan de atraer a dichas empresas. En particular, las empresas de tecnología de la información pueden moverse libremente entre pretendientes que ofrecen acicates para atraer fábricas de tecnología de la información y oficinas de programas lógicos.

110. Los avances en la tecnología de la información han cambiado el carácter de los servicios financieros y los mercados de valores, al proporcionar los medios para reunir información mundial, seguir los precios y ejecutar muchos instrumentos financieros en forma electrónica. El carácter de los mercados minoristas mundiales se está transformando gracias a las transferencias electrónicas de fondos a nivel de consumidores y a la prestación de ciertos servicios en línea. Hay más competencia para el dinero respaldado por los gobiernos.

111. Frente a esos cambios, la legislación sobre prácticas mercantiles, protección del consumidor, etc., tradicionalmente centrada en el plano nacional, debe revisarse continuamente[36]. Las naciones se verán obligadas a llegar a ajustes y acuerdos respecto de la base sobre la cual recaudan impuestos sobre productos, servicios y transacciones transnacionales, y en muchas esferas será más difícil o imposible hacer cumplir las reglamentaciones nacionales.

112. Sin embargo, los fundamentos comerciales de las idiosincrasias culturales o nacionales en la información pueden resultar un argumento más convincente que la reglamentación. La diversidad cultural, religiosa y racial en el pasado se ha mostrado resistente a la tecnología. Con las posibilidades de cultivar dichas diferencias, al tiempo que se eliminan los malos entendidos que provocan, la era de la información ofrece las mayores esperanzas que jamás hayamos tenido para crear una visión común para la paz.

E. Biotecnología*

113. Desde 1990, cuando se publicó el informe del Secretario General titulado “Avances científicos y tecnológicos y su repercusión en la seguridad internacional”, ha aumentado considerablemente la preocupación de la opinión pública en el mundo entero sobre la proliferación de las armas biológicas y su posible utilización por líderes nacionales agresivos y terroristas. Este fenómeno ha obedecido a tres razones principales: a) las actuaciones del grupo terrorista Aum Shinrikyo en el Japón; b) revelaciones acerca del vasto y avanzado programa de guerra biológica de la ex Unión Soviética, y c) las revelaciones de la Comisión Especial de las Naciones Unidas (UNSCOM) con respecto a la capacidad del Iraq en materia de armas biológicas. Como es comprensible, también han aparecido muchas historias descabelladas en revistas y periódicos sobre la amenaza de las armas biológicas, al igual que historias de que científicos inescrupulosos estuviesen aplicando técnicas biotecnológicas con el objeto de crear agentes patógenos bacterianos y virales cada vez más amenazadores para surtir esas armas. En realidad, la amenaza de que se apliquen procedimientos de biología molecular para fines militares o malignos es por el momento en gran medida teórica.

114. Lo que no es teórico es que las investigaciones en biología molecular han redundado en el desarrollo de muchas técnicas avanzadas que se están utilizando en investigaciones básicas y aplicadas, el desarrollo de nuevos productos y procesos, la producción industrial de fármacos y productos químicos especializados y muchas otras aplicaciones. Resulta pertinente para el presente informe que la biología molecular ha proporcionado a los funcionarios de salubridad pública potentes métodos para descubrir agentes patógenos y toxinas en el medio ambiente y en estructuras artificiales; diagnosticar y tratar a personas, animales y plantas infectados, y seguir el movimiento de agentes patógenos durante epidemias y pandemias. Como se analiza a continuación, estas técnicas, que en gran medida se han desarrollado durante actividades con fines pacíficos, también están al alcance de quienes participan en la defensa biológica y el control internacional de armamentos[37].

115. En el informe de 1990 se describieron y analizaron las tendencias en la biotecnología. Sin embargo, durante los ocho años intermedios se han logrado nuevos avances considera-

* Esta sección fue escrita por Raymond A. Zilinskas, Profesor Asociado del Centro de Cuestiones Públicas sobre Biotecnología del Instituto de Biotecnología de la Universidad de Maryland, Maryland (Estados Unidos de América).

bles en esa esfera, lo que obliga a actualizar el informe original, como se hace a continuación. Conforme a ello, la presente sección consta de cuatro partes. En la primera se ofrecen breves noticias sobre las actividades pertinentes en materia de control de armamentos. En la segunda se pasa revista a las más importantes de las nuevas técnicas biológicas. En la tercera se analiza la aplicabilidad de las nuevas tecnologías biológicas a la defensa biológica y cuestiones de control de armamentos. En la cuarta se examinan los posibles avances futuros.

Noticias sobre las actividades pertinentes en materia de control internacional de armamentos

116. Los inspectores de la UNSCOM que trabajan en el Iraq han empleado una gran variedad de técnicas biológicas, químicas y físicas en sus esfuerzos por descubrir detalles sobre las armas de destrucción en masa del Iraq[38]. Un ejemplo resulta especialmente pertinente en el contexto del presente informe. Antes de que se destruyeran las principales plantas de producción de armas biológicas del Iraq en Al Hakam y Al Manal[39], los equipos de la UNSCOM reunieron 350 muestras de equipos, pisos, sistemas de alcantarillado y el medio ambiente en torno a las instalaciones. Estas muestras se analizaron en laboratorios de referencia en tres naciones, entre ellos el Instituto Naval de Investigaciones Médicas (NMRI) de los Estados Unidos en Bethesda (Maryland). Los científicos del NMRI utilizaron una variedad de métodos avanzados (que se describen con más pormenor a continuación), entre ellos el ensayo inmunológico y la reacción de cadena de polimerasa (PCR), para descubrir dos agentes de la guerra biológica, la toxina botulínica y el agente patógeno *Bacillus anthracis*, en 15 muestras. Un ensayo positivo resultó importante, pues reveló que los iraquíes habían estado produciendo un determinado agente de la guerra biológica en una instalación en que aducían que nunca se había producido dicho agente.

117. La UNSCOM es el primer organismo de control internacional de armamentos que ha trabajado en terreno para descubrir agentes biológicos y químicos que pueden guardar relación con el cumplimiento de tratados sobre control de armamentos. No deja de ser razonable suponer que su experiencia resultará valiosa para quienes se encarguen en el futuro de hacer cumplir regímenes establecidos por acuerdos sobre control internacional de armamentos. En primer lugar, esta experiencia beneficiará a la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas, que supervisa la Convención sobre armas químicas de 1997[40]. La experiencia de la UNSCOM también beneficiará a los inspectores a cargo del régimen de cumplimiento que ahora se está negociando para la Convención sobre las armas bacteriológicas (biológicas) y toxínicas de 1972[41].

Examen de técnicas avanzadas de biotecnología

118. Durante los decenios de 1980 y 1990 se desarrolló una veintena de técnicas innovadoras que se habrían de utilizar en investigación, desarrollo, ensayo y producción. Sin embargo, el presente examen se limita a las técnicas que no se habían descrito anteriormente en el informe del Secretario General de 1990 que parecen ser especialmente prometedoras para la defensa biológica y el control de armamentos. Hay tres conjuntos de técnicas de dicha índole: biosensores, análisis de ácidos nucleicos y análisis de espectrometría de masas.

Biosensores

119. En general, las mediciones se realizan mediante el empleo de sensores. En el procesamiento biológico clásico, los sensores suelen ser instrumentos analíticos que varían en complejidad desde termómetros y medidores de pH hasta el ensayo radioinmunológico y la cromatografía de gases. Sin embargo, en este lugar se centra la atención en un tipo especial de sensor, el biosensor.

120. Todos los biosensores tienen dos componentes: un material biológico inmovilizado, como una enzima, un anticuerpo o una célula entera, que se une a un transductor o elemento generador de señales. Cuando el material biológico inmovilizado se adhiere a una sustancia por analizar o reacciona con ésta, el fenómeno es registrado por el transductor. La función de este dispositivo es convertir la información recibida del material biológico en una señal (por ejemplo, corriente eléctrica, calor o luz). Un equipo de procesamiento de datos mide la reacción cuantificando la señal y proporcionando resultados al operador en segundos o minutos, dependiendo del carácter de los datos recibidos.

121. Hay dos tipos determinados de biosensores que vale la pena describir. El primero es el biosensor electroquímico. En esta configuración las moléculas sensoras, que en la mayoría de los casos son enzimas, están inmovilizadas en la punta de la sonda o están retenidas por una membrana. Las moléculas sensoras reaccionan con las sustancias cuya presencia se trata de determinar, generando una señal eléctrica proporcional a las concentraciones detectadas. Dependiendo de las moléculas sensoras, el sensor puede concebirse para que reaccione ante diversos reactivos, desde una sustancia química determinada hasta clases enteras de compuestos.

122. El segundo es el sensor inmunológico. Consiste en dos elementos: un anticuerpo y el elemento de reconocimiento molecular. El anticuerpo tiene la capacidad para ligarse en forma selectiva a antígenos, que teóricamente pueden perte-

necer a una gran variedad de sustancias, entre ellas biomoléculas, medicamentos, bacterias, virus y material celular. La señal observada refleja la interacción anticuerpo-antígeno en forma cuantitativa.

123. En aras de un cuadro completo, se pueden describir brevemente otros tres tipos de biosensores. Aunque éstos no parecen tener aplicaciones inmediatas a la bioseguridad y el control de armamentos, ello podría cambiar en el futuro. El primero es el sensor óptico, que reacciona al comportamiento de la luz que atraviesa la solución de prueba, registrando fenómenos como la absorción o fluorescencia de la luz, la dispersión de la luz o la espectrofotometría. Utilizando diferentes longitudes de onda se pueden descubrir múltiples sustancias por analizar. Los biosensores ópticos son especialmente útiles en el laboratorio clínico. El segundo tipo es el biosensor piezoeléctrico. En este dispositivo, las moléculas sensoras responden a la sustancia analizada con vibraciones mecánicas que, a su vez, pueden convertirse en señales eléctricas proporcionales a la cantidad de sustancia analizada. El tercer tipo es el quimiorreceptor. Este biosensor en realidad es un sistema biomolecular que interviene en funciones biológicas, como el olfato y el gusto, y en trayectorias bioquímicas metabólicas y neurales. Los biosensores que utilizan estructuras quimiorreceptoras intactas de fuentes naturales, como crustáceos y peces, han demostrado respuestas cuantitativas a aminoácidos, hormonas, nucleótidos, medicamentos y toxinas.

124. La principal ventaja de los biosensores sobre los sensores convencionales consiste en que producen resultados más rápidamente, pueden ser más sensibles y son más selectivos. Por ejemplo, en el control industrial de procesos biológicos, los biosensores permiten a los técnicos e ingenieros supervisar reacciones complejas en tiempo real y, de ser necesario, ajustar las tasas de reacción para lograr una máxima producción. En el medio ambiente se pueden utilizar biosensores para descubrir la presencia de contaminantes en el aire, el suelo y el agua y rastrear su propagación desde sus puntos de origen, inclusive fábricas, complejos agrícolas, plantas de eliminación de desechos, etc. A medida que avance la tecnología, se elaborarán biosensores económicos, posiblemente a tal punto que se podrán desechar luego de usarlos por una sola vez.

125. El empleo de biosensores también entraña desventajas y costos. En la presente etapa de su desarrollo, se necesitan técnicos muy calificados para emplear biosensores, especialmente en el terreno. Los biosensores pueden “envenenarse” fácilmente, es decir, algunas sustancias químicas existentes en el ambiente pueden dañar o destruir el elemento sensor. Algunos tipos de biosensores, que pueden ser costosos, no pueden utilizarse repetidamente; es decir, una vez que el elemento sensor descubre una sustancia buscada, se produce una reacción química en un solo sentido y el elemento sensor gastado debe reemplazarse.

Análisis de ácidos nucleicos

126. Todo organismo vivo posee sucesiones en su constitución genética que son peculiares de ese organismo. Por consiguiente, en teoría se puede determinar el origen de cualquier sucesión genética. Por ejemplo, si los inspectores de la UNSCOM recogen muestras de fermentadores y secadores que contienen material genético, un análisis debidamente realizado en principio podría determinar el organismo de procedencia.

127. Sin embargo, en la práctica a menudo surgen dificultades. En particular hay dos problemas con los que se suele tropezar. En primer lugar, la cantidad de material genético que se halle en una muestra puede ser minúscula. Puesto que los métodos habituales empleados por los laboratorios de referencia generalmente requieren cantidades de la sustancia por analizar superiores a los miligramos o, en algunos casos, a los gramos, no se pueden analizar cantidades más reducidas en forma concluyente. En segundo lugar, la gran mayoría de los microorganismos que existen en la naturaleza no se han identificado ni clasificado. Incluso la muestra más pequeña de suelo contiene miles de millones de microorganismos, de los cuales los microbiólogos habrán caracterizado menos del 5%. En consecuencia, la mayor parte del material genético que se halle en muestras ambientales y de otra índole será desconocido y será difícil para los analistas determinar su procedencia.

128. Se pueden utilizar tres técnicas avanzadas de biotecnología para superar las dificultades vinculadas al análisis de muestras, especialmente de muestras ambientales: amplificación por reacción de cadena de polimerasa (PCR), análisis de polimorfismo de restricción de longitudes de fragmentos (RFLP) y análisis de ribotipo.

129. Dicho en pocas palabras, el PCR es un método para amplificar material genético hallado en una muestra; es decir, un solo ejemplar de una sucesión de ADN puede copiarse millones de veces. Se ha elaborado una diversidad de técnicas de PCR[42], pero todas funcionan conforme al mismo principio. El analista inicia la reacción de PCR añadiendo a la muestra un par de sucesiones sintéticas cortas de ADN, llamadas cebadores, que se ligan a sucesiones conocidas en cada extremo del ADN que se debe amplificar. Durante la reacción subsiguiente se produce una copia de la sucesión de interés. La reacción se repite hasta que se tenga un número de ejemplares de ADN suficiente para el análisis por técnicas habituales. Lo corriente es que los productos amplificados se separen mediante electroforesis, se determinen las sucesiones

de los productos y las sucesiones resultantes se comparen con secuencias conocidas almacenadas en un banco de datos.

130. Si bien sólo el ADN puede someterse a análisis de PCR, el ARN en genomas de virus de ARN también puede amplificarse si se efectúa una modificación de la técnica. Si un analista cree que puede haber ARN presente en una muestra, el primer paso consiste en tratarlo con la enzima transcriptasa inversora, que produce una copia en ADN del ARN. Esta copia de ADN puede entonces amplificarse utilizando PCR.

131. En el análisis de RFLP, se agregan ciertas enzimas que fragmentan las sucesiones de ADN y la mezcla de reacción resultante se somete a electroforesis a fin de separar fragmentos de diferentes tamaños. La pauta de los fragmentos, que es única para cada tipo de organismo, se conoce comúnmente como la "huella digital" de la sustancia analizada o, más exactamente, huella digital o perfil genético. La pauta de los fragmentos producidos por la sustancia analizada se compara entonces con pautas conocidas almacenadas en una base de datos. El RFLP es útil para un análisis rápido cuando el analista tiene una idea bastante buena de los agentes que puede haber en una muestra.

132. Una variación del análisis de RFLP es el ribotipo. El ribotipo comienza cuando el analista somete las células en la muestra a lisis (disolución), y enseguida divide el ADN liberado por las células disueltas en fragmentos con una enzima de restricción. El analista utiliza entonces electroforesis en gel para separar los fragmentos por pesos moleculares. A continuación, los fragmentos se hibridizan con una sonda de ADN y se agrega un agente quimioluminiscente. Una cámara digital fotografía imágenes luminosas de los fragmentos y luego se procesan las imágenes mediante una serie de algoritmos ajustados con referencia a indicadores de pesos moleculares conocidos.

133. Ya se halla en el mercado un instrumento prototípico que emplea el ribotipo. El denominado RiboPrinter, elaborado por Quaicon en Wilmington, Delaware (Estados Unidos), se utiliza en agricultura para descubrir e individualizar bacterias patógenas que atacan a los animales. La computadora del sistema cuenta con programas lógicos que le permiten comparar rápidamente las pautas de organismos desconocidos con pautas de organismos conocidos almacenados en la base de datos. Si se encuentra una pauta complementaria, se ha concretado la individualización. Los resultados se imprimen automáticamente y se almacenan en la base de datos como referencia futura. Para la mayoría de los tipos de bacterias, el análisis puede concluirse en ocho horas[43].

134. Las técnicas de análisis de ácidos nucleicos son sensibles y específicas; es decir, se pueden identificar cantidades muy pequeñas de ADN en especímenes ambientales o clínicos con elevada precisión. Sin embargo, estos métodos son difíciles de ejecutar y los ensayos deben efectuarse cuidadosamente. Por consiguiente, exigen los servicios de técnicos o científicos muy calificados. Además, se deben utilizar reactivos bioquímicos puros y costosos para que se produzcan las reacciones y se precisa equipo avanzado para el análisis. Por estas razones, estas técnicas en la actualidad sólo se pueden aplicar en un laboratorio. Deberán pasar varios años antes de que el análisis de ácidos nucleicos se pueda ejecutar habitualmente sobre el terreno utilizando equipo portátil. Además, aunque va en rápido aumento el número de sucesiones de ADN registradas en bases de datos, todavía hace falta caracterizar muchas más antes de que se puedan llevar a cabo la detección y la identificación extensas de microorganismos en el medio ambiente.

Espectrometría de masas

135. La espectrometría de masas es una técnica clásica y bien establecida utilizada por químicos y físicos para caracterizar moléculas pequeñas. Para el análisis por espectrometría de masas el operador comienza por fragmentar físicamente la sustancia por analizar en iones cargados eléctricamente, cada uno de los cuales tiene una masa característica. Se inyectan iones en fase gaseosa en el instrumento y se mide la distancia que recorren en un campo eléctrico (o, de otro modo, se mide el tiempo que requiere un ion para avanzar una distancia determinada). La distancia que recorre un ion o el lapso de tiempo que necesita para recorrer una distancia es proporcional a su masa. La característica de espectrometría de masas del espécimen consiste en la pauta de distribución de los iones constituyentes, que puede compararse con las características conocidas de sustancias, determinadas experimentalmente. Se pueden utilizar computadoras para facilitar la comparación entre la característica de la sustancia desconocida y características almacenadas en bases de datos[44].

136. Tradicionalmente, el equipo de espectrometría de masas es grande, abultado e ineficiente en función de la energía. Sin embargo, se registra una rápida evolución en la tecnología. Hay tres perfeccionamientos en la espectrometría de masas que son pertinentes al presente informe. En primer lugar, en los años recientes se han elaborado métodos que permiten el análisis por espectrometría de masas de grandes moléculas, inclusive proteínas y ADN. En segundo lugar, se ha trabajado mucho para miniaturizar el equipo de espectrometría de masas; ya se han instalado aparatos portátiles en jeeps y se los ha llevado a terreno para el análisis de muestras in situ. En tercer lugar, se están elaborando programas de computadora que aumentan sobremanera la capacidad de los analistas para interpretar datos obtenidos por análisis de espectrometría de masas.

137. Un ejemplo de una técnica recientemente elaborada que posibilita someter grandes moléculas al análisis de espectrometría de masas es la ionización de desabsorción por láser con ayuda de una matriz (MALDI). En pocas palabras, para realizar la técnica de MALDI la muestra se deposita en un material orgánico adecuado. Entonces se descarga energía en forma de un láser en el material depositado, lo que hace que se separe en iones liberados (desabsorbidos) de la matriz. Estos iones pueden entonces inyectarse en el instrumento como se describe anteriormente[45].

138. Al igual que con otras sustancias, la identificación correcta de las características obtenidas por espectrometría de masas reviste importancia vital. Puesto que las muestras que contienen agentes biológicos o toxínicos por lo general contienen mucho material orgánico extraño,es necesario filtrar las características que registren. Además, puesto que la composición química de los agentes biológicos y toxínicos tiende a ser compleja, sus características también son complejas. Por estas razones hace falta mayor investigación y desarrollo para generar programas de computadora que filtren el ruido de fondo y produzcan pautas reconocibles a partir de muestras que contienen proteínas sujetas a análisis de espectrometría de masas. Esto también exigirá una vasta base de datos de características de bacterias, virus y toxinas conocidos.

Conclusión

139. Quienes están dedicados a la seguridad biológica y el control de armamentos necesitan estar preparados para adoptar biotécnicas avanzadas, aun cuando estos métodos actualmente no sean fáciles de aplicar. La biotecnología moderna avanza rápidamente; las técnicas de investigación basadas en laboratorios de hoy en día serán asequibles para el trabajo sobre el terreno en un futuro no muy lejano. Estos métodos de detección mejorarán la capacidad de los gobiernos para proteger a sus poblaciones de amenazas biológicas y mejorarán la fiabilidad y la eficacia de las actividades internacionales en materia de control de armas biológicas.

140. Al esforzarse por proteger a las poblaciones generales contra una amenaza de guerra biológica, se podría lograr una gran protección si las autoridades de defensa civil pudieran disponer de sensores capaces de descubrir patógenos y toxinas en tiempo real. Esta capacidad debería estar aunada a un estado de preparación de los sistemas de salubridad pública, que incluya, por ejemplo, el desarrollo de una red de comunicaciones y el almacenamiento de medicamentos terapéuticos y equipo de descontaminación. Para fines militares, las tropas destacadas en las posiciones de primera línea y en las zonas de concentración de retaguardia estarían mejor preparadas para defenderse contra armas biológicas si estuvieran equipadas personalmente con biosensores que darían de inmediato la alarma si se descubrieran agentes patógenos o toxinas en forma de aerosol en las cercanías del portador.

141. Lamentablemente, los biosensores existentes sólo pueden detectar un número muy reducido de agentes patógenos o toxinas y no funcionan en tiempo real. Hablando más en general, en la mayoría de los países en todos los niveles del gobierno hay una lamentable carencia de planes para casos de imprevistos para hacer frente a fenómenos biológicos. No es exageración afirmar que la mayoría de las naciones del mundo están insuficientemente preparadas para hacer frente a amenazas biológicas, ya sea que provengan de la naturaleza o del laboratorio.

142. Puesto que actualmente es imposible la detección previa, la primera indicación de que se ha producido un fenómeno biológico tendrá lugar cuando súbitamente se presente un gran número de personas enfermas a los hospitales de emergencia o puestos de primeros auxilios militares. Los proveedores de atención de la salud civiles o militares enfrentarían en tal caso una crisis inmediata para la cual en gran medida se hallarían sin preparación, y las bajas serían elevadas. Por ejemplo, si el agente utilizado fuera *Bacillus anthracis*, el agente etiológico del ántrax, habría que administrar tratamiento adecuado con antibióticos a las personas expuestas antes de unas pocas horas de la primera aparición de los síntomas, o en caso contrario la tasa de mortalidad superaría el 60%[46]. Para tratar en debida forma a los afectados, los proveedores de atención de la salud deberían contar con un medio para la identificación rápida del agente patógeno y un suministro adecuado de los antibióticos correspondientes.

143. Los métodos que se utilizan actualmente en laboratorios de microbiología clínica no producen resultados rápidos. El cultivo y la identificación de bacterias requieren por lo menos 24 horas; podrían necesitarse más de tres semanas para identificar un virus y seis semanas o más para una toxina. Evidentemente en la salubridad pública hacen falta tecnologías que puedan detectar e individualizar rápidamente agentes patógenos y toxinas.

144. En los últimos años se han estado desarrollando nuevas tecnologías de detección e individualización y están próximas a hacerse realidad. Hay dos técnicas especialmente prometedoras: análisis mejorado por espectrometría de masas y aplicaciones basadas en matrices.

145. Aunque la metodología tradicional de espectrometría de masas adolece de varios inconvenientes importantes que limitan su utilidad como técnica para uso en el terreno, los avances mencionados anteriormente pueden superar en breve estas desventajas. Se han elaborado técnicas que permiten

analizar bacterias y toxinas mediante espectrometría de masas; la instrumentación y el equipo de espectrometría de masas se están miniaturizando y se están volviendo lo suficientemente robustos para resistir las condiciones sobre el terreno, y se están realizando trabajos para someter agentes patógenos y toxinas conocidos a análisis de espectrometría de masas, registrar las características de esos agentes en bases de datos y elaborar programas lógicos para individualizar las características frente a un fondo "ruidoso". Estos avances están convergiendo en una misma dirección. Dentro de cinco años se dispondrá de aparatos móviles de espectrometría de masas especialmente dotados para analizar material de armas biológicas y conectados con bases de datos a distancia para permitir la comparación instantánea de características de agentes recogidos en el terreno con características conocidas y almacenadas. Los analistas podrán preparar y analizar muestras ambientales o clínicas en menos de 30 minutos y efectuar una identificación definitiva del agente patógeno causante o la toxina en menos de una hora.

146. Actualmente, los funcionarios de salubridad pública y los proveedores de atención de la salud que respondan a un fenómeno biológico no sabrán qué agente o agentes están provocando el brote. En consecuencia, la capacidad para individualizar de inmediato un vasto número de agentes patógenos y toxinas en un ensayo único y rápido sería sumamente útil. Una técnica prometedora consiste en utilizar un juego de biosensores, como anticuerpos, en microformatos como micropastillas[47]. Se pueden inmovilizar veintenas de anticuerpos en la superficie de micropastillas que pueden sumergirse en la solución que contiene la sustancia por analizar. Al ligarse un anticuerpo con un antígeno se produce una señal que es transmitida visualmente al operador. Puesto que las reacciones anticuerpo–antígeno son sobremanera específicas, el fenómeno de la ligazón identificará al antígeno con precisión. Aunque ya existen juegos que contienen matrices, todavía habrá que superar los problemas relativos a la preparación de muestras antes de que se puedan utilizar con confianza sobre el terreno. Sin embargo, es probable que estos problemas se resuelven en menos de cinco años.

147. A diferencia de situaciones agudas como un ataque biológico, en que la detección y la individualización del agente etiológico reviste la máxima prioridad, en una situación de control de armamentos la seguridad de las muestras recogidas y la precisión de su análisis son las consideraciones más importantes. Debe estar garantizada la seguridad de las muestras durante el transporte y el almacenamiento, en caso contrario su valor como prueba disminuye o se anula. Así ocurre también con la precisión del análisis; si quienes deben decidir si se ha producido una violación de un tratado no pueden cerciorarse de que el análisis realizado en las muestras fuese preciso y específico, los resultados del análisis no se admitirán como prueba.

148. Una de las formas de hacer frente a los problemas relativos a las muestras consiste en ensayar las muestras en el lugar que se reúnen. Esto ayudaría a mitigar otra preocupación, a saber, cómo resguardar cualquier información patentada que esté contenida en las muestras recogidas al inspeccionarse las instalaciones. Si los inspectores encargados del régimen de cumplimiento de la Convención sobre armas químicas y, asimismo, en el futuro, los que trabajen para el régimen de cumplimiento de la Convención sobre armas biológicas, analizaran las muestras in situ, este problema no sería tan importante. Sin embargo, para realizar ensayos in situ, los inspectores deberían proporcionar todo el equipo, los reactivos y los suministros necesarios. ¿Qué materiales y equipos necesitarán para realizar ensayos apropiados in situ?

149. Si consideramos la experiencia de la UNSCOM, que incluye la reunión y el análisis de muchos cientos de especímenes de instalaciones, se sabe que si hay material sospechoso en una muestra probablemente se encontrará en cantidades extremadamente pequeñas. Por esta razón, sería importante que los inspectores pudieran ejecutar la técnica PCR para amplificar diminutos segmentos de ADN. Una vez que se lograra la amplificación, el producto podría analizarse mediante procedimientos habituales de ensayo inmunológico. Sin embargo, como se observa en lo que antecede, en pocos años se mejorará apreciablemente la dotación de técnicas analíticas al alcance de los inspectores cuando los instrumentos portátiles de espectrometría de masas demuestren su eficacia. No es muy aventurado suponer que para cuando se establezca el régimen de cumplimiento de la Convención sobre armas biológicas, sus inspectores podrán utilizar muchas de esas técnicas en el terreno.

150. Para concluir, durante el último decenio la comunidad internacional ha logrado apreciables avances en el control de la proliferación de las armas nucleares, inclusive la prórroga del Tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares y el desarrollo del Tratado de prohibición completa de los ensayos nucleares (que aún no está vigente). Si una nación o un grupo terrorista no puede adquirir armas nucleares, puede recurrir a armas optativas de destrucción en masa, especialmente armas químicas o biológicas. Sin embargo, la adquisición de armas químicas también entraña procesos costosos y técnicamente avanzados (aunque no tanto como las armas nucleares) y supone la construcción de instalaciones especializadas que se pueden descubrir con relativa facilidad con medios técnicos nacionales. Además, la mayoría de los precursores para la producción de agentes de la guerra química son suficientemente raros, de modo que su importa-

ción o exportación, especialmente en grandes cantidades, puede ser descubierta y vigilada por los servicios de inteligencia nacionales y la Secretaría Técnica de la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas, que actúa con arreglo a la Convención sobre armas químicas. Puesto que los dirigentes agresivos de naciones y los grupos subnacionales probablemente hallen difícil adquirir armas nucleares o químicas, algunos pueden tratar de adquirir armas biológicas. Como se ha tratado y analizado en la presente sección, las técnicas de la biología molecular pueden ser instrumentos útiles para vigilar el cumplimiento de regímenes internacionales y descubrir el desarrollo ilícito de armas biológicas y en intentos por determinar rápidamente la etiología de brotes de enfermedades. En general, dado el rápido crecimiento y el desarrollo de la biotecnología en general, con seguridad las técnicas de la biología molecular harán una contribución cada vez mayor a los intentos de los gobiernos y los organismos internacionales por proteger a las poblaciones del mundo contra enfermedades y evitar la proliferación de armas biológicas.

151. Desde luego, las técnicas avanzadas de biología molecular tienen aplicaciones que trascienden con mucho el control de armamentos. Las investigaciones en biología molecular han producido hallazgos que se están aplicando en países desarrollados y en desarrollo para fines relacionados con el mejoramiento de la producción agropecuaria, el mejoramiento de la producción industrial con técnicas esencialmente no contaminantes, el restablecimiento de medios marinos y terrestres contaminados, la elaboración de nuevos fármacos que nunca habrían visto la luz del día si sólo se contase con técnicas químicas convencionales, y para muchos otros fines. Así pues, es sumamente importante tener presente que técnicas como la clonación molecular de genes, la transferencia de genes, la manipulación genética de embriones de animales y semillas de plantas, la transferencia de embriones, la manipulación genética de microorganismos del rumen, la construcción de células por ingeniería genética, como anticuerpos monoclonales, para el inmunodiagnóstico y la inmunoprofilaxis, y el desarrollo de sondas genéticas se están utilizando y se utilizarán a un ritmo cada vez mayor en investigación, desarrollo y producción con orientación pacífica en beneficio de todos los pueblos del mundo. Teniendo presente esta observación, es sumamente importante que los Estados partes en la Convención sobre armas biológicas se esfuercen por activar el artículo X, que insta a las naciones que han optado por hacerse partes en el tratado a cooperar internacionalmente en microbiología aplicada con fines pacíficos. Lamentablemente, los Estados partes hasta el momento han omitido aplicar el artículo X, probablemente debido a que no están dispuestos a proporcionar la financiación necesaria. Quizás este obstáculo podría superarse si quedara en claro que el apoyo a la colaboración en investigaciones con fines pacíficos con arreglo al artículo X ayudaría a impedir a los investigadores que en caso contrario quizás se sentirían tentados a realizar investigaciones lucrativas ilícitas orientadas hacia armamentos a actúar de tal modo.

Notas

[1] Faga, Martin (Primer Secretario de la Fuerza Aérea para el Espacio y Director de la Oficina Nacional de Reconocimiento), “Prepared remarks to the National Space Club”, 29 de noviembre de 1989, pág. 2.

[2] Scott, W. B., “Army, Navy space resources focus on tactical support”, *Aviation Week and Space Technology*, 1º de septiembre de 1997, vol. 147, No. 9, págs. 56 y 57.

[3] Presidential directive on GPS, *Office of Science and Technology Policy*, Consejo de Seguridad Nacional, 29 de marzo de 1996, Washington, D.C.

[4] Gilbert, C., “The end of selective availability: a signal difference, or just a different signal?”, *Mapping Awareness*, vol. 10, No. 6, julio de 1996, págs. 30 a 32.

[5] Klass, P. J., “New GPS policy attempts to resolve key user issues”, *Aviation Week and Space Technology*, vol. 146, No. 24, 9 de junio de 1997, págs. 42 y 43.

[6] Dornheim, M., “Milstar 2 brings new program role”, *Aviation Week and Space Technology*, 16 de noviembre de 1992, pág. 93.

[7] McCanley, J. F., y otros, “Surface valley and geoarcheology of the Eastern Sahara revealed by Shuttle radar”, *Science*, vol. 218, No. 4.576, 3 de diciembre de 1982, págs. 1004 a 1129.

[8] Covault, C., “NRO radar, SIGINT launches readied”, *Aviation Week and Space Technology*, vol. 147, No. 9, 1º de septiembre de 1997, págs. 22 a 24; y “Secret relay, Lacrosse NRO spacecraft revealed”, *Aviation Week and Space Technology*, vol. 148, No. 12, 23 de marzo de 1998, págs. 26 a 28.

[9] *Ibíd*.

[10] Cushman, J., “AF seeks invulnerable warning satellites”, *Defense Week*, 16 de enero de 1984, pág. 12.

[11] Pike, J., Lang, S., y Stambler, E., “Military use of space”, *SIPRI Yearbook 1992, World Armaments and Disarmament*, 1992 (Oxford University Press/Instituto Internacional de Estocolmo para la Investigación de la Paz, 1992), págs. 121 a 146.

[12] Richelson, J., *The U.S. Intelligence Community* (Ballinger: Cambridge, Mass., 1985), págs. 140 a 143.

[13] Keirnan, V., “DMSP satellite launched to aid troops in Middle East”, *Space News*, 10 de diciembre de 1990, pág. 6.

[14] “Sluggers pinch hit Army GPS”, *Military Space*, 24 de septiembre de 1990, págs. 1 a 8.

[15] “Last FLTSATCOM satellite planned for launch September 22”, *Aerospace Daily*, 15 de septiembre de 1989, pág. 466.

[16] "Satcom gears up for Desert Shield", *Military Space*, 24 de septiembre de 1990, págs. 3 a 5.

[17] Kierman, V., "Satellite data boosts map quality for US troops", *Space News*, 15 de octubre de 1990, págs. 1 y 20.

[18] Ferster, W., "U.S. space priorities unveiled", *Space News*, 13 a 19 de abril de 1998, vol. 9, No. 15, págs. 3 y 20.

[19] "U.S. Air Force launches laser design competition", *Space News*, 9 a 15 de marzo de 1998, vol. 9, No. 10, pág. 17; y Ferster, W., "Partners TRW, Lockheed battle for test laser", *Space News*, 20 a 26 de abril de 1998, vol. 9, No. 15, pág. 8.

[20] Zalgo, S. J., "Re Star Wars", *Jane's Intelligence Review*, mayo de 1997, vol. 9, No. 5, págs. 205 a 208.

[21] Gertz, W., "Yeltsin letter reveals anti-satellite weapons", *The Washington Times*, 7 de octubre de 1997.

[22] Fulghum, D. A., "Airborne laser tested, weighed for new missions", *Aviation Week and Space Technology*, 27 de octubre de 1997, vol. 147, No. 17, pág. 26.

[23] *Aviation Week and Space Technology*, 2 de marzo de 1997, vol. 148, No. 8, pág. 21.

[24] Jasani, B., y Mara, S., "The Western European Union Satellite Centre", *Journal of the British Interplanetary Society*, junio de 1993, vol. 46, No. 6, págs. 209 a 211.

[25] *Peaceful and non-peaceful uses of space —Problems of definition for the prevention of an arms race*, Jasani, B. (compilador), 1991 (Instituto de las Naciones Unidas de Investigación sobre el Desarme, Ginebra, y Taylor and Francis, Londres, 1991).

[26] Grupo de Expertos de Alto Nivel sobre los Aspectos Sociales de las Nuevas Tecnologías (1988), París.

[27] Wriston, W. (1997). "Bits, bytes, and diplomacy", *Foreign Affairs*, vol. 76, No. 5, págs. 172 a 181.

[28] Dipert, B. (1997). "Trends toward faster, bigger, lower power designs emerge at ISSCC", *Electrical Design News*, vol. 42, No. 6, págs. 16 a 18.

[29] Nua Internet Surveys (1998): http://www.nua.ie/surveys/how_many_online/index.html.

[30] Chiariglione, L. (1977). "Special Issue of Image Communication on MPEG-4", *Image Communication*, vol. 9, No. 4, págs. 295 a 304.

[31] Lamarre, L. (1998). "The digital revolution", *Electronic Power Research Institute Journal*, vol. 23, No. 1, págs. 26 a 35.

[32] Munro, N. (1996). "Sketching a national information warfare defense plan", *Communications of the Association for Computing Machinery*, vol. 39, No. 11, págs. 15 a 18. Fraumann, E. (1997), "Economic espionage: security missions redefined", *Public Administration Review*, vol. 57, No. 4, págs. 303 a 309.

[33] Grabosky y Smith (1996). "Fraud: an overview of current and emerging risks", *Trends and Issues in Crime and Criminal Justice* (Instituto Australiano de Criminología, noviembre, Canberra).

[34] Farish, M. (1997). "Evolving solutions", *Engineering*, vol. 238, No. 10, págs. 62 a 64.

[35] Fitzgerald, B. (1996). "Formalized systems development methodologies: a critical perspective", *Information systems journal*, vol. 6, págs. 3 a 23.

[36] OCDE (1997) *Distant Selling in a Global Marketplace Codes of Conduct*, DAFFE/CP [97]8, París.

[37] Zilinskas, R. A. (compilador) (1998). *Biological warfare and defense in the era of molecular biology* (Boulder, CO: Lynne Rienner Publishers) (en prensa).

[38] Zilinskas, R. A. (compilador) (1995). Symposium of United Nations Biological Weapons Inspectors: Implications of the Iraqi Experience for Biological Arms Control. *Politics and the Life Sciences*, vol. 14, págs. 229 a 262.

[39] Zilinskas, R. A. (1997). "Iraq's biological weapons: The past as future?", *Journal of the American Medical Association*, vol. 278, págs. 418 a 424.

[40] Tucker, J. B. (1998). "Verification provisions of the Chemical Weapons Convention and their relevance to the Biological Weapons Convention", en: Chevrier, M. I., Pearson, G. S., Smithson, A. E., Tucker, J. B. y Woollett, G. R. (compiladores), *Biological weapons proliferation: reasons for concern, courses of action*. Informe No. 24, págs. 77 a 105 (Washington, D.C.: The Henry L. Stimson Center).

[41] Chevrier, M. I. (1998). "Doubts about confidence: the potential and limits of confidence-building measures for the Biological Weapons Convention", en: Chevrier, M. I., Pearson, G. S., Smithson, A. E., Tucker, J. B. y Woollett, G. R. (compiladores), *Biological weapons proliferation: reasons for concern, courses of action*. Informe.No. 24, págs. 53 a 75 (Washington, D.C.: The Henry L. Stimson Center).

[42] Innis, M. A., D. H. Gelfand y J. J. Sninsky (compiladores) (1995), *PCR Strategies* (San Diego, CA: Academic Press).

[43] LaBudde, Robert A., "Genetic typing, microbial food contaminants - USA", *Food Quality*, abril de 1998. 5–12–1998 (cita electrónica).

[44] Morse, S. S. (1998). "Methods for detecting biological warfare (BW) agents", en: Zilinskas, R. A. (compilador), *Biological warfare and defense in the era of molecular biology* (Boulder, CO: Lynne Rienner Publishers) (en prensa).

[45] Claydon, M. A., Davey, S. N., Edward–Jones, V. y Gordon, D. B. (1996). "The rapid identification of intact microorganisms using mass spectrometry", *Nature biotechnology*, vol. 14, págs. 1584 a 1586.

[46] Friedlander, A. M. (1997), "Anthrax", en: Sidell, F. R., Takafuji, E. T. y Franz, D. R. (compiladores), *Medical aspects of chemical and biological warfare*, págs. 467 a 478 (Washington, D.C.: Oficina del Cirujano General).

[47] Abramowitz, S. (1996). "Towards inexpensive DNA diagnostics", *Trends in biotechnology*, vol. 14, págs. 397 a 401.