



Consejo Económico y Social

Distr. general
23 de febrero de 2015
Español
Original: inglés

Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

18º período de sesiones

Ginebra, 4 a 8 de mayo de 2015

Tema 3 a) del programa provisional

Prospectiva estratégica para la agenda para el desarrollo después de 2015

Informe del Secretario General

Resumen

En este informe se determinan, se analizan y se presentan para su examen algunas cuestiones primordiales relativas a la importancia de la prospectiva estratégica para los encargados de formular políticas, en particular en los países en desarrollo. En el capítulo II se ofrece una introducción a la prospectiva estratégica y su utilización en todo el mundo. En el capítulo III se presentan las principales tendencias en el ámbito de la ciencia, la tecnología y la innovación que es probable que sean pertinentes para el desarrollo en el período posterior a 2015, sobre la base de las conclusiones del metaanálisis de informes recientes sobre la prospectiva y de aportaciones de expertos internacionales en la materia, así como una evaluación crítica de su potencial socioeconómico y sus efectos en el desarrollo. En el capítulo IV se destacan las principales enseñanzas sobre las políticas. En el capítulo V se presentan conclusiones y sugerencias para los gobiernos nacionales y otros interesados.

GE.15-03501 (S) 230315 240315



* 1 5 0 3 5 0 1 *

Se ruega reciclar



Índice

| | <i>Página</i> |
|--|---------------|
| Introducción | 3 |
| I. Teoría y práctica de la prospectiva estratégica | 3 |
| A. Metodologías comunes de prospectiva | 3 |
| B. Prospectiva estratégica en el mundo | 4 |
| II. Principales tendencias en la ciencia, la tecnología y la innovación en relación con la agenda para el desarrollo después de 2015 | 6 |
| A. Tecnologías relacionadas con los recursos naturales | 6 |
| B. Sistemas energéticos sostenibles..... | 9 |
| C. Tecnología para la mitigación y adaptación al cambio climático y la compensación de las emisiones de carbono | 12 |
| D. Tecnologías convergentes..... | 14 |
| E. Urbanización y hábitat | 18 |
| III. Enseñanzas adquiridas con la actividad de escaneo de horizontes y la investigación prospectiva | 19 |
| IV. Conclusiones y sugerencias..... | 20 |

Introducción

1. La Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo seleccionó, en su 17º período de sesiones, celebrado en mayo de 2014, la cuestión de la prospectiva estratégica para la agenda para el desarrollo después de 2015 como uno de los dos temas prioritarios para las reuniones que se celebrarían entre los períodos de sesiones de 2014 y 2015.

2. A fin de contribuir a una mejor comprensión de este tema prioritario y asistir a la Comisión en las deliberaciones de su 18º período de sesiones, la secretaría de la Comisión organizó una reunión de expertos en Ginebra (Suiza) del 26 al 28 de noviembre de 2014. El presente informe se basa en las conclusiones de la reunión de expertos entre períodos de sesiones, así como en los debates celebrados durante el café de prospectiva estratégica organizado en el marco de esa reunión, los informes nacionales presentados por los miembros de la Comisión y las contribuciones de expertos de distintas regiones.

I. Teoría y práctica de la prospectiva estratégica¹

3. La prospectiva estratégica (conocida también como prospectiva tecnológica o análisis tecnológico prospectivo) es la evaluación sistemática de las perspectivas a largo plazo de la ciencia, la tecnología y la innovación y sus potenciales efectos en la sociedad a fin de determinar las esferas de la investigación científica y el desarrollo tecnológico que tengan probabilidades de influir en el cambio y de generar los mayores beneficios sociales.

4. En cuanto primer elemento del proceso de desarrollo tecnológico, la prospectiva contribuye a la formulación de las estrategias, las políticas y los planes tecnológicos proponiendo vías para lograr una visión definida. Por consiguiente, la prospectiva orienta el desarrollo de la infraestructura tecnológica, apoya la innovación y proporciona incentivos y asistencia a las empresas en el ámbito de la gestión y la transferencia tecnológicas, propiciando así un mayor nivel de competitividad y crecimiento.

5. Las actividades de prospectiva estratégica se preparan mediante un proceso participativo que implica un debate estructurado entre encargados de formular políticas, expertos, representantes de la industria y de la sociedad civil y otras partes interesadas, lo que permite un entendimiento común de las cuestiones a largo plazo. Las evaluaciones pueden realizarse utilizando una o varias metodologías para obtener sistemáticamente inteligencia anticipatoria de una amplia gama de fuentes de conocimientos.

A. Metodologías comunes de prospectiva

6. En distintos países del mundo se emplean diversas metodologías de prospectiva. El intercambio de experiencias de prospectiva forma parte de un proceso de investigación llamado mapeo, que implica hacer un seguimiento y un análisis sistemáticos de las prácticas, los actores y los resultados de la prospectiva. La labor de mapeo de la prospectiva más reciente indica un interés creciente en la prospectiva estratégica, debido principalmente a que las actividades orientadas al futuro se han erigido en algo más que simplemente instrumentos para apoyar la formulación de políticas o de estrategias en materia de ciencia, tecnología e innovación. La constante ampliación del alcance de la prospectiva también implica un ensanche del conjunto de sus objetivos, que incluyen el análisis del potencial futuro de la ciencia, la tecnología y la innovación, la promoción de la creación de redes, el

¹ L. Georghiou, J. C. Harper, M. Keenan, I. Miles and R. Popper, 2008, *The Handbook of Technology Foresight: Concepts and Practice* (Cheltenham, Edward Elgar Publishing).

establecimiento de prioridades en ciencia, tecnología e innovación, el apoyo a la metodología y la creación de capacidad, y la elaboración de visiones compartidas. Además, las actividades de mapeo ponen de relieve que la prospectiva de múltiples alcances y propósitos es en la actualidad un fenómeno corriente.

7. El mapeo de las prácticas de prospectiva ha ayudado a distinguir los métodos más extensamente empleados en el mundo. Un examen de casi 1.000 actividades de todo el mundo demuestra que los diez principales métodos de prospectiva más empleados son, por orden de frecuencia, los siguientes: grupos de expertos, escenarios, extrapolación de tendencias, talleres de análisis de futuros tecnológicos, lluvia de ideas, el método Delphi², entrevistas, tecnologías clave³, cuestionarios y/o encuestas y análisis de puntos fuertes, débiles, oportunidades y amenazas⁴. Dos de los factores que más influyen en la selección de métodos son su carácter (cualitativos, cuantitativos o semicuantitativos) y su combinación (dependencia de otros métodos de prospectiva o influencia en ellos). Los enfoques cualitativos tienen una mayor acogida, mientras que algunos métodos son más idóneos para ser utilizados en conjunción con otros, como el uso frecuente de sesiones de lluvia de ideas como contribución al método Delphi.

8. Es cada vez más frecuente el uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones en la mayoría de los enfoques, especialmente en la interacción y las actividades con base empírica. Hay muchas aplicaciones que asisten en la modelización, la minería de datos, el escaneo de horizontes, los procesos participativos y la visualización, como las encuestas en línea, el análisis de macrodatos, el escaneo de horizontes en la Web y las plataformas de creatividad.

B. Prospectiva estratégica en el mundo

9. Un mapeo de los diez principales métodos de prospectiva empleados en cada región ha puesto de manifiesto ciertas características regionales, como el uso frecuente de la metodología de las tecnologías clave en Europa Meridional y América del Norte⁵. En esta sección se destacan otras prácticas regionales.

Europa

10. Las actividades de prospectiva en Europa inciden tanto en la prefiguración como en la conformación colaborativa del futuro en instancias coordinadas de gobernanza y adopción de decisiones. La prospectiva está adquiriendo cada vez más una forma institucionalizada y crece el interés por compartir experiencias, por ejemplo, a través de la European Foresight Platform y la International Foresight Academy.

² El método Delphi "entraña la constitución de un grupo de expertos que de forma anónima responden a los cuestionarios y, posteriormente, reciben información en forma de representación estadística de las respuestas del grupo, tras lo cual el proceso se repite. El objetivo es reducir el rango de respuestas y lograr un resultado lo más parecido posible a un consenso de expertos" (RAND Corporation, 2015, Topics: Delphi method; <http://www.rand.org/topics/delphi-method.html> (consultado el 13 de febrero de 2015)).

³ Este método distingue cuáles son las tecnologías más influyentes en un período determinado, con el fin de establecer las prioridades en materia de investigación y desarrollo.

⁴ Análisis de R. Popper a partir de datos de la European Foresight Monitoring Network (2005 a 2009), iKnow (2008 a 2011) y la European Foresight Platform (2009 a 2012). Véanse <http://www.foresight-platform.eu/> y R. Popper, 2008, "How are foresight methods selected?", *Foresight*, 10(6): 62-89.

⁵ S. Bitar, 2013, *Why and How Latin America Should Think About the Future* (Washington, D.C., Inter-American Dialogue) y M. Keenan y R. Popper, 2008, "Comparing foresight style in six world regions", *Foresight*, 10(6): 16-38.

11. Algunos países, como Francia, tienen una rica tradición de actividades de futurología que se remonta a varios decenios atrás y que aún sigue influyendo en su práctica actual. Otros, por ejemplo Irlanda y el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, tienen una historia más breve que está influida por la prospectiva tecnológica y tradiciones de futurología sostenibles. En Europa Oriental es escaso el legado dejado por la tradición de la era comunista de pensamiento futuroológico en el contexto de la planificación centralizada del Estado. La labor más reciente ha estado muy influida por las prácticas de prospectiva tecnológica de Europa Septentrional y Occidental. La Comisión Europea y la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial han desempeñado un importante papel en la transferencia de esta herramienta de política. Las actividades en Europa Meridional son relativamente recientes y en más de la mitad de los casos se trata de ejercicios de prospectiva tecnológica en España.

América Latina

12. La prospectiva en América Latina ha evolucionado lenta pero gradualmente. Muchos países han puesto en marcha programas y proyectos nacionales que incorporan conceptos y técnicas de una amplia gama de actividades internacionales de prospectiva, principalmente europeas. Sin embargo, la región también ha conseguido su propio estilo de prospectiva debido a la utilización creativa de los escasos recursos, lo que a veces ha dado lugar a innovaciones eficaces en las prácticas y herramientas, que van desde nuevos sistemas de gestión y herramientas de apoyo en línea a nuevos métodos de lograr el compromiso de las partes interesadas. Una serie de organizaciones internacionales, como la Organización del Convenio Andrés Bello de Integración Educativa, Científica, Tecnológica y Cultural, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe de las Naciones Unidas, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial y, más recientemente, la Comisión Europea, también han desempeñado un importante papel prestando apoyo a programas de prospectiva y actividades de fomento de la capacidad en la región.

América del Norte

13. Muchos de los métodos de prospectiva más populares se concibieron en los Estados Unidos de América en los años cincuenta y sesenta del siglo pasado y se han utilizado ampliamente en los sectores tanto público como privado. En el Canadá y los Estados Unidos de América, muchas de las actividades de prospectiva se llevan a cabo a nivel estatal y federal. El Consejo Nacional de Inteligencia de los Estados Unidos de América publica un informe sobre tendencias mundiales para dar forma a las conversaciones estratégicas dentro del Gobierno y fuera de él. La elaboración de hojas de ruta tecnológicas sectoriales es una actividad muy popular entre las empresas estadounidenses.

Asia

14. El Japón fue pionero en el desarrollo de actividades nacionales de prospectiva y desde 1970 utiliza el método Delphi para pronosticar y trazar trayectorias tecnológicas futuras. Además de tener una influencia en Europa, las experiencias japonesas han inspirado actividades similares en China, la República de Corea y Asia Sudoriental. En el marco del Foro de Cooperación Económica de Asia y el Pacífico, en 1998 se creó el Centro de Prospectiva Tecnológica con el fin de llevar a cabo estudios regionales y fomentar las capacidades en los países miembros; su labor está influida principalmente por las prácticas en Australia, el Japón, América del Norte y Europa Septentrional y Occidental.

África

15. La mayoría de las actividades de prospectiva llevadas a cabo en África son patrocinadas o realizadas por organizaciones internacionales como el Banco Africano de Desarrollo, la Unión Europea, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias, el Programa Conjunto de las Naciones Unidas sobre el VIH/SIDA y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. La mayoría de las actividades se centran en África en general y solo unas pocas de ellas se focalizan en países concretos.

II. Principales tendencias en la ciencia, la tecnología y la innovación en relación con la agenda para el desarrollo después de 2015

16. La agenda para el desarrollo después de 2015 encarnará una visión universal para poner fin a la pobreza y transformar al mundo a fin de atender mejor las necesidades humanas y de transformación económica, protegiendo al mismo tiempo el medio ambiente, garantizando la paz y haciendo efectivos los derechos humanos. La Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo ha observado que en la búsqueda mundial por conformar la agenda es preciso articular sólidamente la importante función de la ciencia, la tecnología y la innovación en el logro de las aspiraciones en materia de desarrollo⁶.

17. La Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, en cuanto abanderada de la ciencia, la tecnología y la innovación del sistema de las Naciones Unidas, ha destacado la importancia de crear capacidades en esta materia, promover la iniciativa empresarial y fortalecer las capacidades de innovación para promover un desarrollo incluyente y sostenible. En el contexto de su tema prioritario de la prospectiva estratégica, la secretaria de la Comisión organizó una actividad de escaneo de horizontes con la colaboración de expertos internacionales en prospectiva para distinguir las principales tendencias en la ciencia, la tecnología y la innovación que podrían en principio contribuir a la agenda para el desarrollo después de 2015 y los objetivos de desarrollo sostenible⁷. Estas tendencias se examinaron en el marco de la reunión de expertos entre los períodos de sesiones de 2014 y 2015, en particular en los debates de expertos celebrados durante el café de prospectiva estratégica, y se compendian en las cinco esferas que se tratan en el presente capítulo, a saber: recursos naturales, energía, cambio climático, convergencia y urbanización.

A. Tecnologías relacionadas con los recursos naturales

18. Los adelantos industriales y tecnológicos, así como la evolución de las pautas de consumo asociadas con las economías en crecimiento y la prosperidad, propician la creciente demanda tanto de recursos biológicos renovables como de las reservas no renovables de minerales, metales y combustibles fósiles. El mundo es un sistema material cerrado con límites finitos en cuanto a la cantidad de recursos disponibles. Los recursos no son escasos en términos absolutos, pero su distribución puede ser desigual a escala

⁶ E/CN.16/2014/2.

⁷ En coordinación con V. Carabias-Huetter, profesor de prospectiva tecnológica del Instituto de Desarrollo Sostenible de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Zúrich, con las contribuciones de expertos de la International Foresight Academy y la Comisión Europea, en particular, Y. Blumer Spiess, M. Hoppe, H. Spiess, D. Wemyss y C. Zipper, de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Zúrich, K. Haegeman, del Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, R. Johnston, de la Universidad de Sydney, I. Mariani y B. Park, del Instituto de Política de Ciencia y Tecnología de la República de Corea, y R. Popper, de la Universidad de Manchester.

mundial, lo que suscita incertidumbres sobre el acceso a ellos y potencialmente podría desencadenar un conflicto.

19. La innovación cumple una función compleja en la configuración de la demanda y la oferta de recursos. Las tecnologías innovadoras pueden crear nuevos usos de los recursos y nuevas formas de localizar y explotar yacimientos, lo que podría aumentar la carga que soporta el medio ambiente. Sin embargo, la innovación también puede brindar a las sociedades la posibilidad de reducir el uso de recursos finitos y contaminantes y abrir la senda hacia alternativas más sostenibles. Así pues, los efectos de la intensificación de la rivalidad mundial por los recursos dependerán en gran medida de si se puede o no dirigir el desarrollo tecnológico hacia el establecimiento de modos de satisfacer las necesidades de las sociedades que sean más eficientes en el uso de los recursos. En las secciones siguientes se examinan las posibles tecnologías que podrían ser útiles para gestionar más eficientemente recursos como los alimentos y el agua.

1. Alimentos

20. Los cambios en la demanda y el uso de productos agrícolas están impulsando los consiguientes cambios en la producción de alimentos. La configuración de la dieta está cambiando de una basada en cereales a otra más rica en proteínas, grasas y azúcares y están aumentando los cultivos vegetales para la generación de energía, lo cual ha propiciado la formación de un nexo entre intereses encontrados en lo que respecta al aumento de la calidad y la cantidad de los alimentos, la capacidad agrícola del medio ambiente, la adaptación al cambio climático, la asequibilidad de los alimentos y el aumento de la vulnerabilidad. A continuación se estudian las cuatro principales tendencias tecnológicas en el contexto de la labor para poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria e incrementar la productividad agrícola: la nanoalimentación; la carne cultivada y la producción animal eficiente; las tecnologías de la información y las comunicaciones aplicadas a la producción agropecuaria; y los alimentos funcionales.

21. Las aplicaciones de la nanoalimentación engloban todo el proceso de la cadena alimentaria y pueden propiciar la reducción de los insumos y los desechos, el aumento de la productividad en los procesos agrícolas y la mejora de la calidad y la seguridad de la oferta de alimentos y agua, lo que redundará en una mayor eficiencia en la transformación de los alimentos.

22. La creciente demanda de carne en los países en desarrollo puede satisfacerse mediante, entre otras soluciones, la intensificación de la producción. Esta implica el uso de tecnologías que potencian el crecimiento que han entrañado una mayor eficiencia y un menor impacto ambiental. Si bien se comercializan vacunas para el ganado, a fin de proteger a las personas y los animales de los agentes patógenos nocivos, no hay sistemas de producción y distribución que sean eficientes en función de los costos. También existen alternativas a la carne, como el cultivo in vitro de productos cárnicos mediante la ingeniería de tejidos.

23. Es cada vez más frecuente el uso de sensores para vigilar en tiempo real el ganado, los cultivos y la maquinaria. La automatización de ciertas tareas mediante robots o microrrobots permite mejorar labores como la cosecha, la recolección, la destrucción de las malas hierbas y el riego. El uso de teléfonos móviles y tabletas permite a los agricultores, así como a los proveedores, los minoristas y los encargados de formular políticas, acceder a los mercados, los suministros de fertilizantes y la información meteorológica. El uso de la tecnología móvil y otras aplicaciones de las tecnologías de la información y las comunicaciones también son muy importantes cuando se trata de los ingresos de los agricultores. En la actualidad hay servicios que incluyen información sobre el mercado (precios), previsiones meteorológicas locales y diagnóstico de enfermedades. Se espera que el aumento de la penetración de las redes de telefonía móvil (de segunda generación y

también, con mayor frecuencia, de tercera y cuarta generación) brinde nuevas oportunidades para apoyar a las zonas rurales.

24. Los alimentos funcionales han optimizado los objetivos nutricionales proporcionando aportes dietéticos para mejorar la salud física, reducir los riesgos para la salud e incluso curar enfermedades. El concepto de alimentos funcionales se concibió por primera vez en el Japón en 1991 para su uso en determinadas terapias y para combatir el aumento de los costos de atención de la salud. Estos alimentos pueden contribuir a mejorar la calidad de vida de las poblaciones en fase de envejecimiento.

25. La seguridad alimentaria sigue siendo un problema en los países en desarrollo, en particular en lo que respecta a la calidad nutricional. Los países en desarrollo tienen un alto potencial agrícola que solo puede materializarse mediante mejoras de la eficiencia. Los aumentos drásticos de la productividad ayudan a garantizar la seguridad alimentaria, mientras que la continuidad de los insumos tecnológicos ayuda a mantener los incrementos de rentabilidad. Las aplicaciones de la nanotecnología también pueden contribuir significativamente a la seguridad alimentaria aumentando la competitividad de los productores de alimentos y mejorando su acceso a los mercados. Las mejoras de los procesos de cultivo de carne podrían ser lo suficientemente eficientes como para satisfacer la demanda mundial y podrían presentar ventajas financieras y para la salud, el bienestar animal y el medio ambiente con respecto a la carne tradicional. Sin embargo, es posible que a las sociedades les lleve tiempo acostumbrarse a otros tipos de carnes, entre otras cosas por la percepción de que su proceso de producción no es natural.

2. Agua

26. Tratándose del agua, algunos de los problemas más difíciles que pueden resolverse mediante la tecnología son la escasez de agua, en particular por el agotamiento de las aguas subterráneas, la calidad del agua en los países en desarrollo, el acceso al agua y el saneamiento en las zonas rurales y urbanas y el reciclado de materiales⁸. Es preciso acelerar la implantación de infraestructuras de abastecimiento de agua y saneamiento en los países en desarrollo mediante opciones innovadoras que consuman menos agua, energía o capital. Las actuales tendencias tecnológicas que se focalizan en descentralizar el saneamiento y el filtrado de las aguas residuales para recuperar energía y nutrientes pueden ayudar a aumentar el acceso al agua y el saneamiento, así como mejorar la calidad del agua. Cabe destacar tres prometedoras novedades tecnológicas encaminadas a mejorar la ordenación de los recursos hídricos, a saber: el saneamiento descentralizado y sostenible; la recuperación de energía y nutrientes de las aguas residuales, y la potabilización de aguas y el tratamiento de las aguas residuales con membranas y filtros avanzados.

27. Las nuevas redes de saneamiento de los países en desarrollo tienen en cuenta los costos y los problemas institucionales que implican la ampliación y la conexión de la infraestructura a una planta de tratamiento centralizado de aguas residuales canalizadas con tuberías. Al concebir las redes de saneamiento sostenibles se tiene en cuenta toda la cadena de servicios, así como los productos finales y la eliminación de los agentes patógenos. Esas redes incorporan con frecuencia las aguas residuales de lavabos y retretes, utilizan nuevos materiales y métodos de tratamiento, como la separación de arena, fango y orinas, y permiten la recuperación de energía, la reutilización de los nutrientes y el saneamiento ecológico.

⁸ Para un examen profundo sobre la gestión de aguas de uso agrícola, véase Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), 2011, *Water for Food: Innovative Water Management Technologies for Food Security and Poverty Alleviation Innovative* (Nueva York y Ginebra, publicación de las Naciones Unidas).

28. La energía y los nutrientes contenidos en las aguas residuales pueden capturarse y recuperarse para su reutilización. Puede aprovecharse la digestión anaeróbica de las aguas residuales y los sólidos para generar energía, como un biogás constituido básicamente por metano. Se han empezado a utilizar celdas de combustible microbianas en la generación de electricidad, mediante el metabolismo de los microorganismos que se utilizan para depurar las aguas residuales. Los sólidos orgánicos y la orina contienen concentraciones considerables de fósforo y nitrógeno. Por ello, se puede compostar los productos finales o recuperar directamente el fósforo mediante la precipitación química, la pirólisis u otro medio.

29. Los procedimientos de separación para eliminar la contaminación, las sales o los sólidos del agua dulce y de las aguas residuales permiten una reutilización más segura del agua y pueden ser económicamente productivos, al tiempo que permiten el uso de fuentes que antes eran inutilizables. La viabilidad técnica y económica del uso de la nanotecnología en el filtrado, el filtrado por membranas y la desalinización del agua de mar está avanzando. Entre los nuevos diseños figuran la ósmosis directa, los sistemas de recuperación de energía de alta eficiencia y la integración de fuentes de energía renovables como la solar.

30. Se espera lograr la durabilidad del saneamiento a largo plazo reduciendo al mínimo los riesgos para la salud y el impacto ambiental, así como los costos iniciales. La descentralización de las fuentes de energía y los fertilizantes puede contribuir al desarrollo económico. Sin embargo, las limitaciones de las infraestructuras pueden constreñir la implantación de nuevas tecnologías cuando requieran renovar los sistemas de saneamiento existentes. Existen dispositivos de tratamiento más baratos, más pequeños y energéticamente eficientes que permiten que poblaciones más grandes puedan acceder al agua potable, lo que redundará en la mejora de la productividad económica, la salud general y la calidad del medio ambiente. Es probable que en las regiones en desarrollo del mundo se empleen, a más tardar en 2020, nanofiltros para el abastecimiento de agua potable⁹.

B. Sistemas energéticos sostenibles

31. Todo modelo energético tiene tres componentes estrechamente relacionados. Por el lado de la demanda, hay una necesidad de servicios energéticos y de determinados vectores energéticos, como, por ejemplo, combustibles o electricidad. Por el lado de la oferta, hay una variedad de posibles fuentes de energía, ya sean combustibles fósiles o renovables. La interfaz entre la oferta y la demanda es un sistema complejo de mercados locales y mundiales, infraestructuras de transporte (incluida la red eléctrica) e instituciones (como los gestores de redes de transporte) que garantiza que la producción de energía atienda la demanda. El sistema energético, por consiguiente, requiere una infraestructura que entraña unos elevados costos iniciales y una larga vida útil, por lo general de decenios, en la que intervienen una gran variedad de agentes y que se ve afectada por varios factores no técnicos como las restricciones reglamentarias y los estilos de vida de los consumidores.

32. Según la Agencia Internacional de Energía, la demanda mundial de energía aumentará considerablemente en los próximos decenios, sobre todo en los países en desarrollo. Se prevé que a medio plazo se establezca la demanda de energía en los países desarrollados. Se espera que varias tendencias tecnológicas contribuyan en los próximos decenios al abaratamiento y a una mayor sostenibilidad, integración y resiliencia de los sistemas energéticos. El panorama de las tendencias tecnológicas que se presenta en esta sección se articula en torno a los tres componentes de todo sistema energético y pone de relieve la dificultad que supone para los encargados de la formulación de políticas hacer

⁹ R. Silbergliitt, P. S. Antón, D. R. Howell y A. Wong, 2006, *The Global Technology Revolution 2020, In-depth Analyses* (Santa Monica, Arlington y Pittsburgh, Rand Corporation).

frente al crecimiento de la demanda mundial de energía y al mismo tiempo promover la transición hacia sistemas energéticos más sostenibles.

1. Demanda de energía

33. Se prevé un incremento gradual de la eficiencia energética, principalmente de la industria y el transporte, impulsado por los avances tecnológicos y cuestiones de costos. Se calcula que las inversiones anuales para incrementar la eficiencia energética en el transporte, los edificios y la industria aumenten en unos 336.000 millones de dólares hasta 2029, lo que frecuentemente implicará la modernización de los equipos existentes¹⁰. Esas medidas podrían lograr que las inversiones sean rentables cuando se haya ahorrado su equivalente en cantidad de energía. La bioenergía puede desempeñar un papel fundamental en la mitigación del cambio climático, pero se topa con problemas como la sostenibilidad de las prácticas y la eficiencia de los sistemas de bioenergía. Se espera que las mejoras de la eficiencia energética sean económicamente viables a largo plazo debido a la reducción de los gastos en combustibles fósiles y la menor necesidad de capacidades de generación. Entretanto, en los países en desarrollo puede ocurrir que el crecimiento demográfico y económico atenúe los efectos de las mejoras de la eficiencia y provoque una disminución de los recursos disponibles para invertir en la eficiencia energética.

34. En los países desarrollados, donde en general existe un suministro fiable de electricidad, los futuros aumentos de la demanda podrían obedecer a la utilización generalizada de vehículos eléctricos (movilidad eléctrica) o de bombas de calor. En los países en desarrollo, se prevé un impulso de la demanda debido principalmente a un uso más generalizado de las tecnologías de la información y las comunicaciones, que posibilitará un acceso más amplio a los mercados, las comunicaciones y los intercambios de información y nuevas posibilidades económicas mediante la prestación de servicios orientados hacia la mejora de la calidad de vida. Se espera que el avance de la electrificación en los países en desarrollo y la mayor utilización de combustibles limpios para la cocina y la calefacción redunden en amplios beneficios para la salud. La transición de la utilización tradicional de la biomasa a una combustión más eficiente de los combustibles sólidos reducirá las emisiones de contaminantes atmosféricos como el dióxido de azufre, el óxido de nitrógeno, el monóxido de carbono y el carbono negro.

35. Las normas de construcción de edificios en las zonas urbanas en expansión tienen unos efectos considerables en la demanda de energía, como la destinada a la calefacción y la refrigeración, y en la construcción de infraestructuras energéticas, por ejemplo una red eléctrica. Se espera que con la adopción de códigos de construcción de edificios de bajo consumo energético y de normas relativas a los aparatos eléctricos para las nuevas construcciones se logren ahorros de costos energéticos y reducciones de las emisiones, así como considerables y diversos beneficios secundarios. Los consumidores residenciales constituyen un amplio porcentaje de la demanda mundial de energía y representan hasta el 40% del consumo en los países en desarrollo¹¹. Se prevé que en los próximos treinta años la migración urbana en los países en desarrollo aumente la demanda de nueva infraestructura de vivienda y, por consiguiente, de la correspondiente infraestructura energética. En algunos países desarrollados, la aplicación de las normas ya ha contribuido a la estabilización o la reducción de la demanda total de energía en el caso de los edificios.

¹⁰ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2014, *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change* (Cambridge y Nueva York, Cambridge University Press).

¹¹ L. Pérez-Lombard, J. Ortiz y C. Pout, 2008, "A review on buildings energy consumption information", *Energy and Buildings*, 40(3): 394-398.

La Unión Europea se ha fijado como objetivo que a más tardar el 31 de diciembre de 2020 todos los nuevos edificios tengan un consumo de energía casi nulo¹².

2. Oferta de energía

36. La extracción de combustibles fósiles de fuentes no convencionales, como el gas de esquisto, las arenas bituminosas o el gas natural a partir del carbón, se ha disparado en el último decenio. Esto amplía considerablemente la vida estática de los combustibles fósiles, es decir, el volumen de las reservas dividido por el consumo anual actual. Las fuentes no convencionales han resultado ser económicamente interesantes gracias a los adelantos tecnológicos (como las perforaciones horizontales, la fracturación hidráulica, los pozos multilaterales y la observación microsísmica) y al aumento de los precios de la energía. Aunque las reservas de fuentes no convencionales funcionan como un dispositivo moderador del incremento de los precios de los combustibles fósiles, sus efectos solo se notan en el medio-largo plazo, debido al lapso de tiempo que transcurre entre la exploración y la producción.

37. Las fuentes de energía renovables, como la solar y eólica, son, por lo general, neutras en carbono y pueden aprovecharse de manera descentralizada, conectarse rápidamente a la red eléctrica y utilizarse para interconectar regiones. Sin embargo, el impacto de esas fuentes en las distintas regiones depende de su disponibilidad local, que es uno de los principales factores de los costos de generación. Con el fin de ampliar la escala de las energías renovables, se han puesto en marcha numerosas iniciativas de apoyo, como subvenciones públicas directas a la tecnología, regímenes de tarifas reguladas y financiación externa, por ejemplo para la mitigación del cambio climático. Cabe esperar que maduren aún más las tecnologías de aprovechamiento de energías renovables relativamente bien arraigadas, como el biogás, la energía eólica y la solar, lo que entrañará una reducción de sus costos y de los riesgos derivados de su implantación. Se espera que la generación a partir de esas fuentes se incremente considerablemente en los próximos decenios, desde casi el 20% en la actualidad al 65% en 2050¹³.

38. Muchas de las tecnologías utilizadas en las energías renovables, como las utilizadas en las energías geotérmica, mareomotriz, undimotriz, la biomasa y la fusión nuclear, no han logrado aún una amplia comercialización industrial. A medida que aumenten las subvenciones, las condiciones económicas favorables, la aceptación de los consumidores, la innovación incremental y la escalabilidad tecnológica, también estas tecnologías podrán experimentar una expansión. Gracias a la innovación podría conseguirse una reducción de intensidad energética de un 20%.

3. Interfaz de la demanda y la oferta de energía

39. Las energías renovables plantean nuevos desafíos cuando se encuentran los lados de la oferta y la demanda de energía —esto es, en los servicios de transporte, distribución, almacenamiento y los servicios a los consumidores—, por ejemplo en el caso de la generación eléctrica intermitente a gran escala, lo que requerirá, o bien capacidades adicionales de reserva o medidas de gestión de la demanda para garantizar que la oferta sea suficiente. Además, las nuevas tecnologías, como los paneles de energía solar o las microturbinas de gas natural o biogás a precios asequibles, pueden permitir a los consumidores convertirse en prosumidores, con lo que las cadenas de suministro

¹² Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios; disponible en: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:Es:PDF> (consultada el 13 de febrero de 2015).

¹³ Agencia Internacional de la Energía, 2014, *Energy Technology Perspectives 2014: Harnessing Electricity's Potential* (París).

tradicionales se parecerán a redes. Uno de los principales problemas para la oferta de electricidad es, por consiguiente, la gestión de la red para poder combinar la generación intermitente y descentralizada con la centralizada, junto con otros como la flexibilidad de los prosumidores y consumidores y las capacidades de almacenamiento. Las tres tendencias tecnológicas que se señalan a continuación mejoran esta interfaz: los sistemas energéticos inteligentes; la ampliación de la infraestructura de transporte de energía, y el almacenamiento de energía.

40. Los avances en los servicios informáticos y la exploración de grandes volúmenes de datos han propiciado la personalización del uso de la energía de los clientes finales. Los dispositivos inteligentes que miden el consumo de energía, proporcionan información instantánea, se adaptan a los distintos estilos de vida y reaccionan ante los cambios en la red de energía permiten a la demanda adaptarse mejor a las situaciones energéticas actuales y ser más reactiva al uso de la energía. Los sistemas energéticos inteligentes ayudan a los consumidores a que su consumo energético sea más eficiente al permitir una mejor transferencia de la información. Además, es posible integrar en la red eléctrica la energía renovable generada de manera descentralizada con los códigos de la correspondiente red, esto es, las prácticas operacionales que permiten las interrupciones de los generadores de energía renovable. En muchos países se están adaptando las redes de transporte de electricidad para poder integrar mayores proporciones de electricidad variable generada con energías renovables¹⁴.

41. La construcción de infraestructuras de transporte de energía entraña unos costos iniciales elevados y exige una viabilidad financiera a largo plazo. Se trata de un factor crucial para poder integrar las fuentes renovables. En Europa, por ejemplo, requiere la creación de una red eléctrica de alta tensión capaz de conectar con eficacia y estabilidad a las grandes centrales de generación de electricidad a partir de fuentes renovables del mar del Norte (energía eólica marina) y de África Septentrional (energía solar térmica) con lugares donde la demanda es más intensa (principalmente las grandes ciudades europeas). Si bien en los países en desarrollo es prometedor el uso de sistemas descentralizados no conectados a la red eléctrica, se necesita capacidad de almacenamiento y un alto grado de flexibilidad en la demanda a fin de evitar la necesidad de instalar costosos sistemas de transporte y minimizar las pérdidas de la red eléctrica en las grandes distancias.

42. Las nuevas tecnologías de almacenamiento de energía facilitarán enormemente la integración de la energía renovable, pues presentan la necesaria flexibilidad para el suministro energético en las zonas rurales. A diferencia de lo que ocurre con los productos derivados del petróleo y el gas natural, los sistemas de almacenamiento cobrarán una importancia cada vez mayor concretamente en el caso de la energía eléctrica, ya que es difícil de almacenar y su producción y consumo deben equilibrarse en todo momento, dado que en la red eléctrica no hay sistemas de almacenamiento. Entre los sistemas de almacenamiento figuran no solo algunos con enfoques tradicionales, como la hidroelectricidad bombeada, sino también opciones tecnológicas que aún no están disponibles a gran escala, principalmente debido a las limitaciones de costo, como baterías, supercondensadores o celdas de combustible alimentadas con hidrógeno.

C. Tecnología para la mitigación y adaptación al cambio climático y la compensación de las emisiones de carbono

43. La tecnología desempeña un importante papel en la lucha contra el cambio climático y sus efectos, como han señalado, entre otros, el Grupo Intergubernamental de Expertos

¹⁴ Agencia Internacional de Energías Renovables, 2014, *REmap 2030: A Renewable Energy Roadmap* (Abu Dhabi).

sobre el Cambio Climático y la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos¹⁵. Los distintos supuestos de políticas investigados por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos modelizan distintas trayectorias tecnológicas para reducir las emisiones y lograr una trayectoria de las emisiones de 450 partes por millón (450 ppm) coincidiendo con el mismo calendario previsto para las reducciones de las emisiones, aunque asumiendo distintos tipos de desarrollo tecnológico, como se indica a continuación:

- Supuesto con medidas urgentes a 450 ppm. Todas las tecnologías disponibles para mantener los costos de mitigación al nivel más bajo posible dentro de los límites que imponen las limitaciones de capacidad.
- Baja eficiencia y fuentes renovables. Se toma como premisa que las mejoras de la eficiencia en el uso de la energía son más bajas que en los supuestos definidos en el supuesto de medidas urgentes a 450 ppm, porque el nivel de mejora de los insumos energéticos en la producción es inferior y los incrementos en la generación a partir de fuentes renovables son más lentos.
- Abandono progresivo de la energía nuclear. Se parte del supuesto de que la capacidad nuclear actualmente en obras y la prevista hasta 2020 será construida y conectada a la red eléctrica, y que después de esa fecha dejarán de construirse nuevas unidades nucleares, a fin de que la capacidad mundial total en 2050 se reduzca por el fin de la vida útil de las centrales actualmente en funcionamiento.
- Ni captura ni almacenamiento de carbono. Se parte de la base de que no se hace un mayor uso de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono más allá de los niveles previstos en el supuesto de medidas urgentes a 450 ppm¹⁶.

44. A corto plazo, hasta 2020, cabe esperar que toda alteración del conjunto de las tecnologías de mitigación del cambio climático solo provoque cambios limitados en la matriz energética y el nivel de generación de electricidad. A largo plazo, hasta 2050, cabe esperar que cobren mayor importancia las tecnologías de las energías renovables y se prevé que la electricidad generada con fuentes renovables cubra aproximadamente la mitad de las necesidades de los países miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos y de China, el Brasil, la Federación de Rusia, la India, Indonesia y Sudáfrica, que también dispondrán de centrales nucleares y centrales térmicas alimentadas con combustibles fósiles con captura y almacenamiento de carbono e intensas en capital. La Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos afirma que los "resultados ponen de manifiesto una gran complementariedad entre el combustible nuclear y los combustibles fósiles (con o sin captura y almacenamiento de carbono) en la mayoría de las regiones"¹⁷. En el supuesto de abandono progresivo de la energía nuclear, puede que países como China, el Brasil, la Federación de Rusia, la India, Indonesia y Sudáfrica tengan que hacer frente a carencias en la generación de electricidad.

45. Descarbonizar la generación de electricidad (esto es, reducir su dependencia del carbono) es un componente fundamental de toda estrategia de mitigación eficaz en función de los costos que persiga lograr unos niveles de estabilización bajos. Los supuestos de mitigación con medidas que establezcan las concentraciones atmosféricas entre 430 y 530 partes por millón de dióxido de carbono equivalente para el año 2100 implican la existencia de importantes cambios en los flujos anuales de inversión en el período de 2010 a 2029 en comparación con los supuestos de referencia. En ese período, se prevé que la inversión

¹⁵ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2014, y Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos, 2012, *Perspectivas ambientales de la OCDE hacia 2050* (París).

¹⁶ Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos, 2012.

¹⁷ *Ibid.*

anual en tecnologías convencionales dependientes de combustibles fósiles aplicadas en el sector del suministro de electricidad se reduzca en alrededor de 30.000 millones de dólares, mientras que se estima que la inversión anual en el suministro de electricidad de baja emisión de carbono (esto es, a partir de fuentes renovables, de origen nuclear y generación eléctrica con captura y almacenamiento del carbono) aumentará en unos 147.000 millones¹⁸.

46. Las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el suministro de energía pueden reducirse considerablemente mediante la sustitución de las actuales centrales térmicas de carbón por las modernas centrales de ciclo combinado, que son muy eficientes y están alimentadas por gas natural, o bien por centrales de generación combinada de calor y electricidad, siempre que se disponga de gas natural y sean bajas o se mitiguen las emisiones fugitivas derivadas de la extracción y el suministro. En los supuestos de mitigación que contemplan concentraciones atmosféricas de unas 450 partes por millón de dióxido de carbono equivalente para el año 2100, la generación de energía eléctrica a partir del gas natural sin captura ni almacenamiento de carbono se emplea como una tecnología de transición, pues se prevé que aumente hasta alcanzar su pico máximo de producción y posteriormente, a más tardar en 2050, bajar a unos niveles inferiores a los actuales y aún más en la segunda mitad del siglo.

47. Se espera que las centrales eléctricas con captura y almacenamiento de carbono resulten competitivas alrededor de 2030 y aún más para el año 2050 en los países miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos y en China, el Brasil, la Federación de Rusia, la India, Indonesia y Sudáfrica. En el supuesto donde no se contempla la captación ni el almacenamiento de carbono, cabría la posibilidad de que el cambio a tecnologías alternativas, en particular las que aprovechan las fuentes de energía renovables, entrañe un aumento de los precios de la electricidad y modifique los patrones de consumo. En cada uno de los supuestos, las mejoras de la tecnología y la productividad repercutirán de manera considerable en las posibilidades de la matriz energética para mitigar el cambio climático.

D. Tecnologías convergentes

48. La historia del progreso tecnológico ofrece pruebas concluyentes de que el cambio a menudo no es lineal, sino exponencial. La convergencia de las tecnologías genera una dinámica cada vez mayor¹⁹. También puede ocurrir que la aceleración del cambio tecnológico dé lugar a avances importantes que puedan afectar a los sectores económicos que en el pasado se habían adaptado más lentamente a los cambios, en particular los de la energía y el transporte. En las siguientes secciones se examinan los tres ámbitos de convergencia —biotecnología, nanotecnología y materiales avanzados y fabricación— señalados en la actividad de escaneo de horizontes organizada por la secretaría de la Comisión por considerarlos posibles factores que podrían alterar radicalmente la situación en el contexto de los objetivos de desarrollo sostenible.

1. Tendencias y aplicaciones de la biotecnología

49. Los últimos avances en la capacidad para manipular y modificar los sistemas vivos han posibilitado mejoras en el control de la salud, la lucha contra las enfermedades y las posibilidades terapéuticas y prostéticas, e incluso han hecho posible el diseño de organismos. La reacción a estas novedades varía mucho en todo el mundo, pues en algunos países y regiones se opta por un desarrollo más lento por cuestiones y motivos éticos

¹⁸ Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2014.

¹⁹ R. Silbergliitt y otros, 2006.

relacionados con el medio ambiente, mientras que otros han elegido una vía más rápida al desarrollo. En el año 2020, a más tardar, "serán tecnológicamente viables las aplicaciones de la biotecnología siguientes:

- Realización simultánea de muchos y distintos ensayos biológicos a partir de una misma muestra, lo que permitirá identificar rápidamente el analito a partir de cantidades ínfimas de material, tanto para establecer diagnósticos médicos como para realizar análisis forenses;
- Medicina personalizada, sobre la base de grandes bases de datos de información y estados patológicos de los pacientes, así como la posibilidad de secuenciar un gen de manera rápida y paralela;
- Cría de insectos genéticamente modificados, como especies nocivas que producen una descendencia estéril o que no portan o transmiten vectores de enfermedades;
- Ampliación de la capacidad disponible para cultivos de alimentos básicos genéticamente modificados, especialmente en el mundo en desarrollo;
- Posibilidad de crear y ensayar nuevos fármacos mediante simulaciones en computadora (*in silico*), así como nuevas capacidades para detectar los efectos secundarios nocivos en sistemas modelos colocados en un chip (laboratorio en un solo chip);
- Liberación dirigida de fármacos en órganos o tumores utilizando el reconocimiento molecular;
- Implantes y prótesis que imitan funciones biológicas, restauran funciones esenciales de órganos o tejidos existentes o que incluso las amplían²⁰.

50. Se espera que esas tendencias tecnológicas permitan una atención médica más personalizada, previsible, eficaz en función de los costos y fácil de acceder, incluso en lugares alejados. Si bien algunas de las nuevas tecnologías pueden ocasionar que los tratamientos sean más complejos y costosos, otras tecnologías los harán más económicos y eficaces y accesibles para muchos. Entre los ejemplos de esas aplicaciones figuran las terapias mediante liberación dirigida de fármacos y los métodos de diagnóstico y cirugía de cada vez mayor precisión utilizando materiales y procesos biológicos.

51. En el mundo en desarrollo, los marcos de financiación sobre la base de la ciencia ciudadana, la microfinanciación colectiva y los inversores de proximidad están concebidos para costear una medicina personalizada, predictiva, preventiva y participativa. La asistencia para el desarrollo puede focalizarse en este tipo de marcos novedosos con el fin de ayudar a los países en desarrollo a aprovechar plenamente las posibilidades que ofrece la informática aplicada a la salud y fortalecer sus ecosistemas de innovación biotecnológica.

2. Tendencias y aplicaciones de la nanotecnología

52. La nanotecnología, concretamente la investigación y el desarrollo en la ciencia a escala nanométrica y las tecnologías conexas, es un campo en crecimiento en todo el mundo y "el interés mundial que despierta obedece al convencimiento de que la capacidad de comprender y manipular las interacciones atómicas y moleculares a nivel nanoscópico es tanto una condición necesaria como un factor posibilitador de una serie de capacidades tecnológicas, que van desde materiales inteligentes y plurifuncionales al diseño de fármacos

²⁰ *Ibid.*

y nuevas generaciones de sistemas de la información y las comunicaciones"²¹. En 2020, a más tardar, "serán viables las aplicaciones de la nanotecnología siguientes:

- Nuevas familias de sensores químicos y biológicos miniaturizados, selectivos y con un alto nivel de sensibilidad;
- Mejoras en la gestión y la capacidad de las baterías eléctricas;
- Sensores personales, especialmente para el personal militar y de las unidades de emergencias;
- Dispositivos informáticos incorporados en los artículos comerciales (ya existentes en la actualidad y cuyo uso es probable que cada vez sea más extendido);
- Dispositivos personales de control médico con capacidad de registro de datos y de comunicaciones;
- Nanoestructuras funcionales para la liberación controlada de fármacos y la mejora del rendimiento de implantes y aparatos prostéticos;
- Capacidad para vigilar y controlar de manera generalizada a las personas y el medio ambiente"²².

53. La nanotecnología reviste una importancia especial porque, dado que las propiedades de los materiales cambian cuando se reduce su tamaño, la posibilidad de diseñar y fabricar materiales, estructuras y dispositivos cada vez más complejos a escala atómica o molecular permite muchos enfoques e instrumentos que pueden mejorar considerablemente la capacidad de detectar y subsanar el deterioro del medio ambiente. A modo de ejemplo, cabe destacar la nanotecnología aplicada a la conversión y el almacenamiento de energía, como las células solares de pigmento fotosensible para la producción de electricidad. Es probable que los nanomateriales también permitan el desarrollo de materiales funcionales de construcción como el hormigón autorregenerable y el hormigón con propiedades de autolimpieza.

3. Materiales avanzados y tendencias y aplicaciones en su fabricación

54. El ámbito pluridisciplinar de los materiales avanzados se ha ampliado en los últimos decenios gracias a la integración de la física, la química, la metalurgia, la cerámica, la ciencia de los polímeros y, más recientemente, la biología, hasta convertirse en una fuente de numerosos adelantos tecnológicos. Los materiales avanzados han permitido la aparición de muchas aplicaciones de la biotecnología y la nanotecnología. Sobre la base de los avances constantes en la ciencia y la ingeniería y la fabricación de materiales, "en 2020, a más tardar, podrán ser viables los siguientes:

- Tejidos que incorporan fuentes de energía eléctrica, dispositivos electrónicos y fibras ópticas;
- Prendas de vestir que reaccionan ante estímulos externos, como los cambios de temperatura o la presencia de determinadas sustancias;
- La fabricación sobre pedido de componentes y pequeños productos con arreglo a las especificaciones de clientes únicos, tanto particulares como empresas (en principio limitada a artículos de escasa complejidad);

²¹ *Ibid.*

²² *Ibid.*

- La adopción generalizada de métodos de fabricación ecológicos que reduzcan sustancialmente la introducción de materiales peligrosos en el comercio y el volumen de las corrientes de desechos peligrosos;
- Revestimientos y materiales compuestos nanoestructurados, que garantizan una solidez, dureza y resistencia contra el desgaste y la corrosión mucho mayores;
- Electrónica orgánica, para incrementar la luminosidad de los sistemas de iluminación y visualización;
- Producción masiva de células solares con materiales compuestos basados parcialmente en materiales nanoestructurados, orgánicos o biomiméticos;
- Purificación de aguas y sistemas de descontaminación basados en filtros y membranas activas nanoestructuradas;
- Diseño de catalizadores para procesos químicos sobre la base de una metodología que combina la computación de alto rendimiento y la criba de materiales;
- Cultivo *in vivo* de tejidos plurifuncionales a partir de andamios biodegradables (probablemente limitado en principio a determinados tipos de tejidos y órganos)²³.

55. Los avances en la ciencia de los materiales suelen propiciar innovaciones en los productos. En los próximos años cabe esperar la irrupción de tecnologías disruptivas en el campo de los nanomateriales (como el grafeno, los nanotubos de carbono y las nanopartículas), los circuitos fotónicos tridimensionales, la memoria universal y las arquitecturas multinúcleo, que son las bases para el funcionamiento de los productos y procesos de la tecnología de la información y las comunicaciones.

56. Cabe esperar que la adaptabilidad permanente esté presente en todos los aspectos de la fabricación, desde la investigación y el desarrollo a la innovación, los procesos de producción, las interdependencias entre proveedores y clientes y el mantenimiento y la reparación del producto durante su vida útil. Los productos y procesos serán sostenibles y los productos tendrán que ser diseñados para su reutilización, refabricación o reciclado al final de su vida útil. Se utilizarán sistemas de circuito cerrado para eliminar el desperdicio de energía y agua y para reciclar los residuos físicos. Los avances en la ciencia de los materiales, la microelectrónica y la tecnología de la información, la biotecnología y la nanotecnología tendrán efectos profundos en la fabricación y ayudarán a los fabricantes a hacer frente a los problemas que aparezcan en el futuro.

57. En 2020, a más tardar, es probable que las técnicas de fabricación ecológica brinden una serie de alternativas más inocuas para el medio ambiente que los actuales procesos de fabricación que utilizan o producen materiales peligrosos. Se espera que con el uso de esas técnicas los fabricantes puedan mantener niveles de producción en entornos reguladores más estrictos consumiendo menos recursos no renovables, generando menos corrientes de desechos peligrosos y reduciendo sus efectos en el medio ambiente. La fabricación aditiva (impresión tridimensional) ayudará a reducir el transporte de larga distancia y duración de los productos o componentes que en la actualidad se fabrican en masa y puede provocar un traslado de la producción industrial de la periferia urbana hacia el centro de las ciudades.

58. Es importante señalar que los materiales y tecnologías de fabricación avanzados se encuentran en una fase incipiente. Sus efectos a largo plazo, especialmente en lo que respecta a las cadenas de valor, constituyen una esfera de investigación que aún hay que explorar.

²³ *Ibid.*

E. Urbanización y hábitat²⁴

59. Las ciudades son espacios de mercados e innovación. Están a la vanguardia de la creación de riqueza económica, ya que la mayor parte de la innovación y el empleo remunerado suele radicarse en las zonas urbanas. La urbanización es, por tanto, un motor del desarrollo económico, no solo de las ciudades, sino de las regiones y países colindantes. Ha quedado demostrado que el crecimiento económico en las ciudades y las mejoras de las infraestructuras intensifican la migración urbana. Además, las ciudades son un perfecto ejemplo de sistemas sociotécnicos donde conviven las evoluciones técnicas y socioeconómicas. Por ejemplo, la urbanización está estrechamente vinculada a la movilidad, el uso de los recursos naturales y la energía. En la presente sección se presenta información importante sobre la forma en que las tecnologías incipientes inciden en esa evolución.

60. Según el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, en 2050, a más tardar, la proporción mundial de personas que viven en zonas urbanas se elevará a aproximadamente el 66%, incremento provocado principalmente por las ciudades de Asia, América Latina y especialmente de África²⁵. Se prevé que en muchas regiones las ciudades de tamaño medio crezcan más rápidamente que las megalópolis de más de diez millones de habitantes. Una de las tendencias más marcadas es la expansión de las zonas urbanas; es poco probable que los esfuerzos para promover la reurbanización de los cascos urbanos, medidas también conocidas como de densificación urbana o de fomento de ciudades compactas, compensen la tendencia hacia la suburbanización y periurbanización, aunque pueden lograrse efectos a gran escala mediante la construcción de infraestructuras en zonas urbanas compactas para prestar diversos servicios, como viviendas, saneamiento, atención de la salud o acceso a la electricidad.

61. El suministro a las zonas urbanas de bienes y recursos resulta cada vez más complejo. Mientras que antes la mayor parte de los alimentos y otros bienes consumidos por una ciudad se producían en sus cercanías, ahora las grandes ciudades están integradas en las redes comerciales internacionales. Aunque se reduce la dependencia de las zonas urbanas de las zonas rurales circundantes, aumenta, en cambio, su dependencia de los mercados mundiales.

62. La urbanización puede aprovechar las tendencias tecnológicas en las tres esferas siguientes: la tecnología de la información y las comunicaciones; las tecnologías de automoción y motorización, los materiales, la infraestructura y las tecnologías operacionales, y las tecnologías que favorecen el autoabastecimiento.

63. Se prevé que las autoridades municipales tengan acceso a herramientas de la tecnología de la información y las comunicaciones cada vez más complejas (como los sistemas de información geográfica) para gestionar y visualizar grandes cantidades de datos transmitidos en tiempo real o casi en tiempo real sobre lo que sucede en la ciudad, reunidos a través de, entre otros medios, sensores, satélites y multitud de plataformas móviles. Esa tecnología también permitirá optimizar los sistemas de transporte mediante aplicaciones de movilidad masiva, en particular la regulación de la densidad del tránsito y la gestión de flotas, así como su uso en las tecnologías de los vehículos inteligentes. En el transporte público, la expedición y pago electrónico de pasajes mejorará el servicio, propiciando un mayor aprovechamiento de la capacidad. Por último, se espera que los servicios, aplicaciones y tarjetas inteligentes de transporte agrupen diferentes servicios públicos y

²⁴ En el documento E/CN.16/2013/2 figura un examen más detallado del tema.

²⁵ Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, 2014, *World Urbanization Prospects* (Nueva York, publicación de las Naciones Unidas).

privados, como las iniciativas privadas de vehículos compartidos, propiciando una movilidad perfectamente integrada.

64. Se prevé que las tecnologías de automoción y motorización propicien mejoras en los transportes y la movilidad, en particular los trenes de alta velocidad y los vehículos autónomos, los vehículos eléctricos, híbridos y eficientes en el consumo de carburante, las tecnologías de materiales ligeros, las soluciones de la nanotecnología para baterías o motores y las tecnologías que permitan la reducción de los desplazamientos físicos, como las comunicaciones o la virtualización, o incluso la impresión tridimensional.

65. La agricultura urbana, basada en parte en la biotecnología o en plataformas superpuestas de varios niveles construidas mediante el uso de tecnologías de construcción, puede reducir la entrada de alimentos de las zonas rurales y mejorar el autoabastecimiento de las poblaciones urbanas. Algunas tecnologías emergentes, como la energía solar o eólica, pueden reducir la dependencia de las ciudades de las zonas rurales circundantes en lo referente al suministro de energía, al permitir la generación de energía en las zonas urbanas. Además, la mejora del aislamiento térmico de los edificios reduce la necesidad de combustibles fósiles.

III. Enseñanzas adquiridas con la actividad de escaneo de horizontes y la investigación prospectiva

66. La actividad de escaneo de horizontes organizada por la secretaría de la Comisión y la investigación prospectiva llevada a cabo para este informe detectaron una serie de tendencias tecnológicas que en principio pueden contribuir al desarrollo, en particular en el contexto de la agenda para el desarrollo después de 2015. Se pueden establecer cuatro enseñanzas desde el punto de vista de las políticas, que se exponen en detalle en el presente capítulo.

1. La selección de las trayectorias tecnológicas depende del contexto nacional

67. No todos los países se enfrentan a los mismos problemas; cada uno de ellos se encuentra en una fase distinta de desarrollo y tienen capacidades tecnológicas, culturas y prioridades diferentes. Además, es necesario tener en cuenta las grandes diferencias existentes entre la capacidad de aplicación, los costos de inversión y las repercusiones a largo plazo de cada tecnología. Los responsables de formular políticas se enfrentan a cuestiones de contexto y pertinencia al evaluar las tecnologías, por lo que la selección debería basarse en las necesidades socioeconómicas y el contexto cultural de los países, máxime cuando algunas tecnologías podrían facilitar avances hacia el logro de múltiples objetivos de desarrollo sostenible.

2. Las tendencias tecnológicas por sí solas no puede dar resultados positivos en materia de desarrollo

68. Los avances tecnológicos no garantizan resultados que favorezcan el desarrollo. Por ejemplo, la convergencia propiciada por la tecnología de la información y las comunicaciones y la electrificación tiene posibilidades de proporcionar soluciones en la agricultura, la atención de la salud y la buena gobernanza. Sin embargo, la adopción de esas soluciones tecnológicas no implica necesariamente la superación de las desigualdades sociales y en algunos casos puede provocar un aumento de la desigualdad. Por ello, es necesaria una intervención de los poderes públicos para evitar la creación de nuevas desigualdades o la ampliación de las ya existentes.

69. Las políticas deben abordar las carencias de las infraestructuras, en particular para atender las necesidades básicas que imponen las nuevas tecnologías, como el acceso a la

electricidad y la tecnología de la información y las comunicaciones, y deben alentar la realización de investigaciones trans- e interdisciplinarias a partir de las conclusiones de los estudios de prospectiva tecnológica. También debería prestarse una especial atención a la creación de capacidad, pues los países deben tener la capacidad para determinar y obtener los beneficios de los adelantos de la ciencia y de las aplicaciones tecnológicas. Además, la adopción de una tecnología, para tener unos efectos significativos, tiene que venir acompañada de cambios en los comportamientos y de incentivos. Los incentivos económicos y no económicos, así como medidas de información, pueden facilitar los cambios de comportamiento. Por ejemplo, se pueden disminuir considerablemente las emisiones mediante los cambios en las pautas de consumo, los cambios de dieta alimentaria y la reducción de los desechos alimenticios.

3. Las tecnologías convergentes están cobrando una importancia cada vez mayor

70. El análisis de las tendencias tecnológicas pone de manifiesto el papel cada vez mayor de las tecnologías convergentes, como se examinó en el capítulo II. Las tecnologías de la información y las comunicaciones son factores cruciales que impulsan esa convergencia y están cada vez más presentes en varias esferas socioeconómicas, en particular la producción de alimentos, la movilidad, la urbanización, el suministro de energía y la salud. Se puede hacer un uso más generalizado de la tecnología de la información y las comunicaciones en una serie de esferas, que van desde la agricultura al suministro de energía y la urbanización. Se trata de una esfera que merece la atención de los poderes públicos.

4. La colaboración puede contribuir a promover la prospectiva tecnológica en los países en desarrollo

71. La colaboración regional e internacional desempeña un papel importante en la promoción de la prospectiva tecnológica en los países en desarrollo. Redunda en beneficio de los países de la misma región utilizar las plataformas institucionales regionales existentes, mancomunar los recursos disponibles y maximizar los efectos a través de actividades conjuntas de prospectiva tecnológica para hacer frente a problemas comunes. Los países que no son de la misma región, pero que se enfrentan a problemas similares de desarrollo, por ejemplo, los países en desarrollo sin litoral, los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, también podrían considerar la posibilidad de emprender iniciativas conjuntas de prospectiva tecnológica. Es importante fomentar el intercambio de experiencias entre los países en desarrollo y los países que han tenido éxito en la superación de retos similares.

IV. Conclusiones y sugerencias

72. En el presente capítulo se propone a la Comisión para su examen un conjunto de cuestiones fundamentales sobre la base de las conclusiones de la reunión de expertos entre los períodos de sesiones de 2014 y 2015, los debates de expertos celebrados en el café de prospectiva estratégica y la actividad de escaneo de horizontes.

1. Conclusiones

73. Las conclusiones de la reunión de expertos fueron las siguientes:

a) La prospectiva estratégica ha evolucionado en los últimos decenios hacia un proceso participativo que es cada vez más empleado por los países y las regiones para reunir información sobre las tendencias futuras a fin de asignar recursos para preparar a la

sociedad a esas tendencias. Se utilizan distintas metodologías y dispositivos institucionales, en función de los objetivos concretos de la actividad de prospectiva.

b) Se ha determinado que varias de las tendencias tecnológicas emergentes tienen un efecto muy importante en la agenda para el desarrollo después de 2015, en particular en las esferas de los recursos naturales, la energía sostenible, la mitigación y la adaptación al cambio climático, la compensación de las emisiones de carbono, las tecnologías convergentes, la salud y la resiliencia a los desastres, la urbanización y el hábitat, y el transporte y la movilidad sostenibles. Esas tendencias no generan automáticamente beneficios sociales, por lo que los poderes públicos deben intervenir para evitar la formación de nuevas desigualdades.

c) La convergencia tecnológica, que está impulsada y facilitada principalmente por las tecnologías de la información y las comunicaciones, necesita planteamientos trans- e interdisciplinarios para actuar ante desafíos sociales complejos aprovechando la ciencia, la tecnología y la innovación.

d) La prospectiva tecnológica puede ayudar a los encargados de formular políticas a comprender mejor las tendencias insostenibles y contribuir a la aplicación de la agenda para el desarrollo después de 2015 informando sobre ellas de manera periódica. Las tendencias tecnológicas deberían analizarse en el contexto más general de las tendencias socioeconómicas, a fin de determinar sus efectos en la sociedad.

e) La prospectiva tecnológica puede ayudar a prever la futura política de innovación y las necesidades de inversión del sector privado, en particular en lo que respecta a las necesidades de infraestructuras cruciales para el desarrollo sostenible y para lograr los objetivos de desarrollo sostenible. La prospectiva genera conocimiento sobre las dinámicas de cambio, los retos y opciones del futuro y las nuevas ideas, con el fin de transmitir ese conocimiento a los encargados de formular políticas como base sobre la que concebir esas políticas.

f) La prospectiva se está convirtiendo cada vez más en un instrumento esencial de distintos interesados para fundamentar y formular las opciones estratégicas para hacer frente a los complejos retos mundiales de hoy, que son difíciles de definir, exigen nuevas formas de pensar, no implican responsabilidades claras, trascienden las fronteras nacionales y exigen un enfoque a largo plazo.

g) La formación profesional puede dar un impulso importante a la preparación de la fuerza de trabajo a las tecnologías disruptivas. Pueden concebirse estrategias adecuadas tanto para la fase previa al empleo como para la formación profesional en el lugar de trabajo. Es indispensable que las universidades, las organizaciones no gubernamentales y el sector privado se asocien para que la formación profesional sea un éxito a una escala significativa.

2. Sugerencias

74. La Comisión podría adoptar las siguientes medidas:

a) Dar a conocer las conclusiones sobre las tendencias en la ciencia, la tecnología y la innovación y en la tecnología de la información y las comunicaciones, y sus repercusiones, en el Foro Político de Alto Nivel sobre el Desarrollo Sostenible, en un informe mundial sobre el desarrollo sostenible y en los procesos de aplicación de los objetivos de desarrollo sostenible;

b) Crear un portal de conocimientos para divulgar prácticas de prospectiva examinadas por homólogos llevadas a cabo en los planos nacional y regional, a fin de ayudar los Estados miembros a determinar las tendencias futuras y las posibles alianzas estratégicas;

c) Contribuir al fomento de la capacidad, la concienciación y la evaluación de impacto para favorecer las iniciativas de prospectiva en los Estados miembros;

d) Alentar a la UNCTAD a que en sus análisis de políticas de ciencia, tecnología e innovación preste una mayor atención a la prospectiva estratégica, tal vez incluyendo un capítulo específico sobre este tema.

75. Los Estados miembros podrían adoptar las siguientes medidas:

a) Integrar plenamente la ciencia, la tecnología y la innovación en los planes nacionales de desarrollo socioeconómico y velar por que sean las necesidades de la sociedad las que impulsen las actividades en estas esferas, en lugar de analizar las tendencias de forma aislada;

b) Utilizar la prospectiva estratégica para detectar posibles lagunas en la educación a mediano y largo plazo y abordarlas con una combinación de políticas que incluya, entre otras cosas, la formación profesional, la orientación, el acceso libre y el establecimiento de cuotas y objetivos para alentar la matriculación en estudios de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas;

c) Fortalecer la formación profesional para preparar a la sociedad a las tecnologías disruptivas mediante el establecimiento de instituciones de formación profesional especializadas, el aumento de la cooperación entre las instituciones de formación profesional y la industria, y la financiación de centros de capacitación, programas de intercambio de estudiantes y equipo;

d) Emplear la prospectiva como proceso para alentar un debate estructurado entre todos los interesados, a saber: los representantes de los poderes públicos, el mundo de la ciencia, la industria y la sociedad civil, y el sector privado (en particular, las pequeñas y medianas empresas), con miras a lograr un entendimiento común de los problemas a largo plazo y lograr un consenso sobre las políticas futuras;

e) Empezar con regularidad iniciativas de prospectiva estratégica sobre los desafíos regionales y mundiales;

f) Utilizar los mecanismos regionales existentes para activar la cooperación en estudios de prospectiva, en particular para aprender de los países que han superado problemas de desarrollo recurriendo a la ciencia, la tecnología y la innovación y a la tecnología de la información y las comunicaciones, y para hacer frente conjuntamente a los problemas comunes;

g) Cooperar para establecer un sistema de mapeo que permita compartir los resultados de la prospectiva tecnológica con otros Estados miembros de la Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.