

## **PRONUNCIAMIENTO PUBLICO**

# **ÉTICA Y NANOTECNOLOGÍA: DOTARSE DE MEDIOS PARA ACTUAR**

**Resumen, recomendaciones y comentarios del pronunciamiento**

**NOVIEMBRE 2006**

## **Commission de l'éthique de la science et de la technologie**

1200, route de l'Église  
3<sup>e</sup> étage, bureau 3.45  
Québec (Québec)  
G1V 4Z2

### **En apoyo a la realización del pronunciamiento publico de la Commission de l'éthique de la science et de la technologie (CEST)**

#### ***Coordinación y supervisión***

Diane Duquet

#### ***Secretaria de reunión***

Emmanuelle Trottier

#### ***Investigación y redacción***

Emmanuelle Trottier y Diane Duquet, con la colaboración adicional de Marco Blouin

#### ***Apoyo técnico***

#### ***Documentación***

Monique Blouin

#### ***Comunicación y supervisión de la edición***

Katerine Hamel

#### ***Traducción***

Jorge Passalacqua con la colaboración de Eliana Sotomayor

#### ***Concepción gráfica de la portada***

Normand Bastien

Con el apoyo financiero de la Société pour la promotion  
de la science et de la technologie

#### ***Concepción y compaginación***

Éditions MultiMondes

#### ***Impresión***

K2 Impressions

Pronunciamiento adoptado en la 25<sup>a</sup> reunión de la Comisión de Ética de la Ciencia  
y la Tecnología el 14 de junio del 2006

© Gouvernement du Québec, 2006

Depósito legal: 4<sup>o</sup> trimestre 2006  
Bibliothèque nationale du Québec  
Bibliothèque nationale du Canada

ISBN-10 : 2-550-47480-5

ISBN-13 : 978-2-550-47480-7

*Para facilitar la lectura del texto, se utiliza el masculino sin ningún afán discriminatorio.*

## MIEMBROS DEL COMITÉ DE TRABAJO

**Sabin Boily**, presidente  
Consultor Valorisation-Innovation  
Miembro de la CEST

**D<sup>r</sup>. François A. Auger**  
Departamento de cirugía  
Université Laval  
Director del Laboratoire d'organogenèse  
expérimentale (LOEX)

**David Carter**  
Consejero científico en biotecnologías  
Ministère du Développement durable, de  
l'Environnement et des Parcs (Québec)

**Sylvain Cofsky**  
Director de desarrollo industrial y regional  
NanoQuébec

**Éric David**  
Departamento de ingeniería mecánica  
École de technologie supérieure  
Chaire de recherche en matériaux et équipements  
de protection utilisés en santé et sécurité au travail  
IRSST/ÉTS

**Édith Deleury**  
Presidenta de la CEST  
Facultad de leyes  
Université Laval

**André Doré\***  
Docente jubilado

**Benoît Gagnon**  
Chaire Raoul-Dandurand en études stratégiques et  
diplomatiques (Université du Québec à Montréal)  
Miembro de la CEST

**Peter Grütter**  
Departamento de física  
Université McGill  
Director científico de NanoPic (CRSNG)

**Mark Hunyadi**  
Facultad de filosofía  
Université Laval

**Michèle S. Jean**  
Facultad de leyes  
Centre de recherche en droit public  
Université de Montréal

**Teodor Veres**  
Jefe de grupo  
Nanomateriales funcionales  
Conseil national de recherches Canada

### Observadores :

**Benoît Lussier**  
Consejero en tecnologías estratégicas –  
nanotecnologías  
Ministère du Développement économique, de  
l'Innovation et de l'Exportation (Québec)

**Denis Godbout**  
Terminólogo  
Office québécois de la langue française

### De la secretaría de la Comisión

**Diane Duquet**, coordinadora de la CEST  
**Emmanuelle Trottier**, consejera en ética

\* Comentario del Sr. André Doré, 11 de marzo del 2006: « Considerando el carácter históricamente norteamericano de la actividad económica del Québec y su “gobernanza racional”, considero que la ciencia y la aceptación del mercado deberán ser los primeros criterios a considerar en la elaboración de cualquier reglamentación del sector de las nanotecnologías. »



# ÍNDICE DEL PRONUNCIAMIENTO

**Lista de siglas y acrónimos**

**Resumen, recomendaciones y comentarios**

## **INTRODUCCIÓN**

### **CAPÍTULO 1 – EMERGENCIA DE UN NUEVO MUNDO: EL UNIVERSO DE LAS NANOTECNOLOGÍAS**

Un mundo por descubrir

Nanociencia y nanotecnología: la escala del nanómetro

Aspectos importantes a considerar: una premisa al cuestionamiento ético

La medida de un componente nanométrico

Las nuevas propiedades de la materia nanométrica

La manipulación de la materia

La pluridisciplinaridad y la convergencia de disciplinas

El entusiasmo generalizado

Los grandes sectores de intervención

Los nanomateriales

La nanoelectrónica

La nanobiotecnología y la nanomedicina

La nanometrología

Expectativas y preocupaciones a considerar

Los beneficios esperados

En el campo de la salud

En el campo ambiental

En el campo de las tecnologías de la información

En el campo de la agricultura y la alimentación

Entre la ficción y la realidad

La autorreplicación de nanorobots y la ecofagia global

Promesas a veces irrealistas

Cuestiones por resolver, valores a privilegiar

### **CAPÍTULO 2 – VISIÓN SOBRE LAS MODALIDADES PARA ENMARCAR EL SECTOR**

El riesgo y las nanotecnologías

La esencia de los riesgos por considerar

Las modalidades de la evaluación y de gestión del riesgo: algunas constataciones e interrogantes

## El marco jurídico actual

- Leyes y reglamentos del Canadá
- Leyes y reglamentos del Quebec
- Instrumentos internacionales
- Apoyo a la industria

## Modos responsables para controlar el riesgo

- El principio de precaución
  - Algunas precisiones
  - Medidas para actuar
- El enfoque del « ciclo de vida » desde la perspectiva del desarrollo sostenible

## CAPÍTULO 3 – NANOTECNOLOGÍAS: PREOCUPACIONES ÉTICAS

### Exigencias fundamentales como premisas

- La necesidad de establecer una terminología y una nomenclatura científica comunes
- La importancia de determinar procedimientos y normas
- La continuación de la investigación y de la difusión de resultados

### Preocupaciones éticas asociadas a los productos derivados de las nanotecnologías

#### Con respecto a la salud humana

- Salud y seguridad
  - La protección de los trabajadores*
  - La protección de la población*
- Las aplicaciones en el campo de la salud
  - La ética de la investigación biomédica*
  - Diagnósticos y aplicaciones terapéuticas*

#### Con respecto al medio ambiente

#### Con respecto a la seguridad

- En el campo militar
  - Algunos ejemplos de aplicaciones « nanomilitares »*
  - Una reseña de las preocupaciones éticas*
- En la sociedad civil

#### Preocupaciones asociadas a la convergencia de conocimientos y tecnologías

- La identidad humana en un contexto de optimización del rendimiento
- La relación entre el ser humano y la naturaleza

### Preocupaciones éticas no exclusivas a las nanotecnologías

#### Con respecto a la gobernanza

- La legitimidad y la transparencia del proceso de toma de decisiones
- Los medios para controlar y rendir cuentas

#### Con respecto a la actividad económica relacionada con las nanotecnologías

- Las decisiones éticas en el desarrollo de la actividad económica relacionadas con las nanotecnologías en Quebec
- La brecha nanotecnológica en el contexto de la globalización de mercados
  - La orientación de la investigación y el desarrollo nanotecnológicos*
  - La posesión del know-how en nanotecnologías*
- La propiedad intelectual y la gestión de patentes
- La colecta de información personal

#### Con respecto a la ciudadanía y a la innovación tecnológica

## **CONCLUSIÓN**

### **Glosario**

### **Bibliografía**

### **Sitios recomendados**

### **Anexos**

Anexo 1: Algunos ejemplos de aplicaciones de las nanotecnologías

Anexo 2: Visión prospectiva de las aplicaciones de las nanotecnologías

Anexo 3: Cuestionamientos relativos a los diversos aspectos de las nanotecnologías

### **Actividades de consulta y de información de la Comisión**

### **Miembros de la Comisión de Ética de la Ciencia y la Tecnología**





## RESUMEN, RECOMENDACIONES Y COMENTARIOS

Nacida de la convergencia de investigaciones fundamentales en física, química y biología, la nanotecnología se presenta a menudo como una de las tecnologías de mayor potencial para el futuro de la humanidad. Su carácter innovador, su transición del laboratorio a la fabricación industrial y a la comercialización, la importancia de la inversión pública y privada en su desarrollo y promoción, han llevado a la Comisión de Ética de la Ciencia y la Tecnología del gobierno de Québec (CEST) a interesarse en el tema de las nanotecnologías desde el punto de vista ético.

La perspectiva de la Comisión comprende, en términos generales, los aspectos científicos, jurídicos y éticos. En términos específicos, esta perspectiva comprende la protección de la salud y del medio ambiente, y el respeto de los valores que guían la evaluación ética de la Comisión frente a las nanotecnologías. Estos valores son, entre otros, la dignidad, la libertad, la integridad y el respeto de la persona, la calidad de vida, el respeto de la privacidad, la justicia y la equidad, la transparencia y la democracia.

Así, frente a la emergencia de las nanotecnologías en el mundo contemporáneo, la Comisión hace parte a las autoridades políticas y a los actores sociales interesados, de las recomendaciones y comentarios formulados con el fin de que la sociedad quebequense pueda dotarse de medios para actuar y tomar decisiones informadas en el campo de las nanotecnologías. El documento preparado por la Comisión presenta **ocho recomendaciones** específicas acompañadas de **comentarios** que enfatizan los aspectos más relevantes asociados a la utilización y aplicación de las nanotecnologías en los distintos campos de actividad.

### NACIMIENTO DE UN NUEVO MUNDO: EL UNIVERSO DE LAS NANOTECNOLOGÍAS

El mundo de la nanociencia y de la nanotecnología se sitúa en la escala del *nanómetro*, es decir  $10^{-9}$  de metro. La *nanociencia* es el estudio científico, al nivel de átomos y moléculas, de estructuras moleculares donde por lo menos una de sus dimensiones mide entre 1 y 100 nanómetros. Descendiente de la nanociencia, la *nanotecnología* es la concepción y la fabricación, a nivel de átomos y moléculas, de estructuras que tienen por lo menos una dimensión entre 1 y 100 nanómetros, que poseen propiedades físico-químicas utilizables y que pueden ser manipuladas y controladas.

**En nanotecnologías, algunos aspectos asumen una importancia considerable.** Entre ellos, el tamaño de las partículas nanométricas, las nuevas propiedades que adquiere la materia a este nivel, los modos de manipulación de la materia (según los métodos llamados ascendentes y descendientes), la pluridisciplinareidad y la convergencia de las disciplinas en el caso de las nanotecnologías, así como el entusiasmo generalizado que crean, constituyen el fundamento central del cuestionamiento ético que da origen a este pronunciamiento de la Comisión de Ética de la Ciencia y la Tecnología (CEST).

**Sectores de investigación y aplicaciones.** Como la electricidad y la electrónica, las nanociencias y las nanotecnologías afectarán a todas las esferas de la vida diaria. La utilidad que se les dé o que se les puede dar es tan diversa como imaginable, a veces desconcertante, a menudo fascinante y en ciertos casos preocupante. Los grandes sectores de investigación e innovación que tienen actualmente una importancia capital en el campo de las nanotecnologías son cuatro: los nanomateriales, la nanoelectrónica, la nanobiotecnología y la nanometrología. Si la trascendencia de las nanotecnologías se concretiza, podría generar beneficios en múltiples sectores de actividad desde la medicina al medio ambiente, desde las tecnologías de la información a la agricultura y a la alimentación. Es importante, sin embargo, cuestionarse sobre las repercusiones posibles o hipotéticas de ciertas innovaciones de las nanotecnologías o de su convergencia con otras disciplinas.

## VISIÓN SOBRE LAS MANERAS DE REGULAR EL SECTOR

Desde el punto de vista del riesgo, es necesario considerar dos factores: la probabilidad de que un evento se produzca y el tipo o importancia de los daños resultantes. Tratándose de nanotecnologías, estos dos factores no están siempre presentes. Sin embargo, es imprescindible un cuestionamiento sobre la manera de tratar la incertidumbre científica con respecto a los conocimientos en este campo, así como la ignorancia respecto a lo que pudiera suceder al implantarse esta nueva tecnología.

**El riesgo de las nanotecnologías.** Como toda otra partícula natural o industrial que presenta riesgos de toxicidad para los organismos vivos, las nanopartículas de síntesis (creadas voluntariamente) acarrean riesgos asociados a su manipulación o a las emisiones (voluntarias o accidentales) en el aire, el suelo y el agua, riesgos que deben tomarse en cuenta para proteger a los trabajadores directamente afectados, la población y la biodiversidad. Los riesgos relativos a los productos que no tienen su origen en las nanotecnologías son actualmente influenciados por un cierto número de leyes y reglamentos que deberán, eventualmente, adaptarse a la evolución de las nanotecnologías.

Como lo demuestra la documentación consultada, es posible también que existan riesgos asociados específicamente a los productos de las nanotecnologías dadas sus características particulares y con respecto a las cuales la investigación no es siempre concluyente:

- la tendencia a la aglutinación de partículas nanométricas de síntesis y sus efectos potenciales con respecto al medio ambiente y a los organismos vivos;
- la importancia de la superficie específica de la materia nanométrica en relación a su masa, que contribuye a modificar o amplificar las propiedades de la materia original;
- la reactividad que desarrollan ciertas partículas nanométricas, particularmente los nanopulvos metálicos, que pueden crear riesgos de explosión, de inflamabilidad o de toxicidad;
- la capacidad que posee la materia nanométrica de atravesar las barreras de los sistemas de protección del organismo humano y animal (barreras cutáneas, pulmonar, intestinal, placentar y hemato-encefálica).

**La regulación actual.** Tanto en Canadá como en Quebec, existe un determinado número de leyes y reglamentos que regulan el ciclo de vida de un producto, desde su fabricación hasta su eliminación. Estos textos legislativos se aplican igualmente a los nanomateriales, aunque éstos no sean explícitamente mencionados. Ciertos instrumentos internacionales incluyen también exigencias relativas al transporte internacional de materias consideradas peligrosas y que podrían presentar un riesgo para la salud o para el medio ambiente.

### COMENTARIO DE LA CEST

Teniendo en cuenta el desarrollo de las nanotecnologías y que la comercialización de productos nanométricos o con componentes nanométricos ha empezado y se amplificará en los próximos años, la Comisión considera que es fundamental continuar vigilando atentamente la evolución de estas nuevas tecnologías para adaptar la reglamentación actual a las realidades del sector.

Por otra parte, para responder a las necesidades de la empresa privada, la autorregulación podría colmar una parte del vacío dejado por una reglamentación incompleta en este sector emergente. En este sentido, es importante mencionar que el Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST – un instituto de investigación de seguridad e higiene en el trabajo), colaborando con diversos sectores, prepara actualmente una guía de “buenas prácticas” según las necesidades de la industria quebequense sobre las nanotecnologías (incluyendo los laboratorios).

## COMENTARIO DE LA CEST

La Comisión insta al Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) a proseguir, con sus asociados, la preparación de esta guía de “buenas prácticas” y a publicarla lo antes posible. La Comisión invita también a los diferentes ministerios asociados al desarrollo de las nanotecnologías a incitar a la comunidad científica/ y a los industriales a respetar las prácticas recomendadas en esta guía, así como a contribuir a su promoción y enriquecimiento. Con el afán de evitar toda repercusión negativa de las nanotecnologías en la salud de los trabajadores y el medio ambiente, la Comisión reafirma la importancia de esta guía en el estado actual de desarrollo de las nanotecnologías.

**Modos responsables de controlar el riesgo.** En el estado actual de conocimientos y de desarrollo de las nanotecnologías, la CEST se plantean dos posibilidades frente a la necesidad de reglamentar este sector de actividad. Las posibilidades de reglamentación incluyen el principio de precaución y la adopción del enfoque del « ciclo de vida ». Desde la publicación del pronunciamiento sobre los OMG en 2003, en el que la Comisión recomendaba la adopción de un enfoque de precaución, la Comisión continuó su reflexión sobre el *principio de precaución*, insistiendo en que es un principio de acción y no de abstención, y que puede guiar a las autoridades en un contexto de incertidumbre. La Comisión le reconoce el mérito de suscitar numerosas interrogantes sobre la gestión de riesgos hipotéticos en una sociedad pluralista y democrática, en particular sobre la brecha existente entre la aceptabilidad del riesgo individual y del riesgo colectivo, entre las exigencias de seguridad sanitaria y ambiental y la aspiración legítima del desarrollo tecnológico. En este sentido, la Comisión considera que es importante realizar un amplio debate social.

Particularmente desde la perspectiva de desarrollo sostenible, *el enfoque del ciclo de vida* busca proteger el medio ambiente a partir de una toma de conciencia de los impactos de una innovación tecnológica, desde los recursos primarios necesarios para su fabricación, hasta la eliminación total del producto una vez terminada su vida útil. La noción de *desarrollo sostenible* se entiende en el sentido que le otorga el artículo 2 de la *Ley sobre el desarrollo sostenible* (2006) que lo define como : « (el tipo de) desarrollo que responde a las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de respuesta de las generaciones futuras. Se apoya sobre una visión a largo plazo que toma en cuenta el carácter indisociable de las dimensiones ambientales, sociales y económicas de las actividades de desarrollo. » Aunque la ley menciona dos veces el desarrollo sostenible, su definición refiere a la noción de ciclo de vida que algunos investigadores consideran « esencial al logro de un desarrollo sostenible ».

### Recomendación n° 1

#### La Comisión recomienda:

**Que el Gouvernement du Québec, guiado por el principio de precaución y desde una perspectiva de desarrollo sostenible, se preocupe de todas las fases del ciclo de vida de un producto que contenga nanotecnologías o elementos nanométricos y, que en esos casos, se integre la noción de « ciclo de vida » en todas las políticas en las cuales este enfoque sea considerado, de manera a evitar cualquier consecuencia nociva de esta innovación tecnológica sobre la salud y el medio ambiente.**

## NANOTECNOLOGÍAS: PREOCUPACIONES ÉTICAS

### Exigencias fundamentales como premisas

El carácter emergente de las nanotecnologías y la contribución de muchas disciplinas a su desarrollo, conllevan a la consideración de ciertas como premisas de base para su desarrollo sistemático y responsable.

## COMENTARIO DE LA CEST

La primera constatación posible con respecto a las nanotecnologías es la ausencia flagrante de información al respecto. Sin embargo, ¿cómo tomar decisiones informadas, como legislador, investigador, empresario, trabajador o ciudadano si no existe una comprensión común de lo que son las nanotecnologías? La Comisión considera que las tres premisas indispensables de una gestión responsable del desarrollo de las nanotecnologías son las siguientes: establecer una terminología y una nomenclatura científicas comunes; establecer procedimientos y normas adecuadas a su aplicación; y continuar el desarrollo de la investigación y la difusión de sus resultados.

### Preocupaciones éticas asociadas a los productos derivados de las nanotecnologías

#### *En el campo de la salud y de la seguridad*

**La protección de los trabajadores.** Dos observaciones llamaron la atención de la Comisión. Primeramente, la preocupación por lo limitado de la investigación actual con respecto a las consecuencias posibles de los nanomateriales sobre la salud y la seguridad humanas. Uno de los obstáculos notados por la IRSST y que explican en parte la falta de conocimientos sobre higiene industrial es que « los instrumentos actuales de evaluación de la exposición de los trabajadores normalmente utilizadas [...] se adaptan mal a las nanopartículas en el medio laboral », mientras que « los pocos datos disponibles sugieren que las exposiciones pueden ser importantes durante la manipulación<sup>1</sup> ».

En segundo lugar, no existe acuerdo entre los especialistas sobre la reglamentación existente. En este sentido será difícil llegar a una decisión común mientras no haya datos más precisos sobre los efectos potenciales de las nanotecnologías. **A la espera del avance de la investigación y de una reglamentación más completa y mejor adaptada al carácter específico de las nanotecnologías, la Comisión considera que el principio de precaución debe guiar las acciones para proteger la salud y la seguridad de los trabajadores.**

La publicación de guías o de obras como la publicada por el IRSST respecto al estado de los conocimientos sobre las nanopartículas y los posibles efectos de estas partículas en los trabajadores, son algunas de las acciones posibles que garantizarían una gestión responsable de las nanotecnologías. En esta línea, **la Comisión enfatiza la importancia de que los datos recolectados por el IRSST sean actualizados de manera permanente y que estas informaciones sean transmitidas a las empresas y a los centros de investigación activos en el sector de las nanotecnologías para que éstos puedan tomar las medidas adecuadas proteger a los trabajadores.**

**La protección de la población.** Asegurar la inocuidad de los productos de las nanotecnologías es una preocupación primordial en la reflexión de la Comisión. Actualmente, los resultados de investigaciones con respecto a los efectos de las nanotecnologías son insuficientes para afirmar los efectos de los productos comercializados sobre los animales, el medio ambiente o los seres humanos. Además, algunos expertos han demostrado su inquietud frente la insuficiencia de recursos a la disposición de las autoridades sanitarias para controlar la comercialización de dichos productos. Finalmente, aunque las autoridades contarán con los medios y el personal necesarios, la promulgación de normas se presenta como un paso absolutamente indispensable.

---

<sup>1</sup> INSTITUT DE RECHERCHE ROBERT-SAUVÉ EN SANTÉ ET EN SÉCURITÉ DU TRAVAIL – IRSST, *Les nanoparticules. Connaissances actuelles sur les risques et les mesures de prévention en santé et en sécurité du travail*, Claude OSTIGUY y colaboradores, Rapport R-455, Études et recherches, Gouvernement du Québec, marzo 2006, p. iv [online] [http://www.irsst.qc.ca/fr/publicationirsst\\_100189.html](http://www.irsst.qc.ca/fr/publicationirsst_100189.html).

## **Recomendación n° 2**

### **La Comisión recomienda:**

**Que el ministro del Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (desarrollo económico, innovación y exportación), en colaboración con el ministro de la Santé et des Services sociaux (salud y servicios sociales), intervengan ante el gobierno federal para que las agencias de control en el campo de la salud y del medio ambiente establezcan mecanismos necesarios para la evaluación de la toxicidad de los procesos y de los productos que contengan nanotecnologías como requisito precedente a la autorización de su comercialización.**

El desarrollo tecnológico como factor de enriquecimiento y de mejora de la calidad de vida de los ciudadanos es un valor importante en nuestras sociedades y, en este sentido, el desarrollo de las nanotecnologías podría ser una gran contribución. Sin embargo, la integración de las nanotecnologías es absolutamente cuestionado si entra en detrimento de la salud o la seguridad de trabajadores y ciudadanos, valor sin lugar a dudas prioritario. **La Comisión considera que la implementación de medidas de prevención adecuadas y un buen conocimiento del ciclo de vida de los productos que portan las nanotecnologías contribuirán a proteger la salud y la seguridad humanas y serán partícipes en el desarrollo responsable de este sector.**

*Las aplicaciones en el campo de la salud: la ética de la investigación biomédica.* Considerando el futuro prometedor de las nanobiotecnologías, es importante aplicar rigurosamente los principios de ética de la investigación para proteger a los sujetos que participan de manera voluntaria en el avance de los conocimientos. Los miembros de los comités de ética de la investigación, primera línea de protección de los sujetos humanos en esta área, deben ser sensibilizados especialmente a los cuestionamientos que se presenten sobre las nanobiotecnologías y deberán estar capacitados para reaccionar de manera adecuada.

## **Recomendación n° 3**

### **La Comisión recomienda:**

**Que el ministro de la Santé et des Services sociaux (salud y servicios sociales) se asegure que los comités de ética de la investigación sean capacitados de manera adecuada y sean apoyados por protocolos de investigación sobre la utilización, en el campo médico, de materiales y procedimientos derivados de las nanotecnologías.**

*Diagnósticos y aplicaciones terapéuticas.* El asunto de la interferencia de las nanopartículas con el funcionamiento del cuerpo humano (o con el medio ambiente) llama particularmente la atención de la Comisión. Por ejemplo, teniendo en cuenta la capacidad de las nanopartículas de atravesar la barrera hemato-encefálica, su utilización presenta un interés indiscutible en el tratamiento de enfermedades de origen neurológico, constituyendo al mismo tiempo una fuente de preocupación. La barrera hemato-encefálica es la última defensa del cerebro contra las agresiones exteriores de ciertos microorganismos. Así, el hecho de haber encontrado nuevas maneras de eludir las defensas naturales del cerebro, gracias a tecnologías que son, además, todavía poco controlables e invisibles a simple vista, podría tener consecuencias deplorables si la investigación y el desarrollo nanotecnológico no es controlado de manera apropiada.

El estado actual de los conocimientos no permite extrapolar el impacto económico potencial de la introducción de nuevos métodos de diagnóstico y de tratamiento utilizando nanotecnologías. Aparentemente, la incorporación de estas nuevas tecnologías permitiría al sistema de salud la disminución significativa de recursos en comparación con otras tecnologías que implicarían costos absolutamente prohibitivos. La Comisión se interroga también sobre la posibilidad de que un

diagnóstico no pueda ser seguido de un tratamiento, posibilidad que ya existe y recuerda, en este sentido, las reflexiones sobre el diagnóstico genético llevadas a cabo por la Comisión en su pronunciamiento sobre las bases de datos de información genética. Estos cuestionamientos replantean el complejo problema de la repartición de recursos y la gobernanza, aspectos esenciales del proyecto de sociedad que deberán ser debatidos en el espacio público.

#### COMENTARIO DE LA CEST

La Comisión insiste en la importancia de dejarse guiar por la precaución en el proceso de creación y de preparación de medicamentos y de terapias con componentes nanotecnológicos. Esta actitud incita a proseguir con la investigación y a documentar los efectos potencialmente positivos y negativos de las aplicaciones nanotecnológicas en el campo de los cuidados de salud para poder evaluar mejor las consecuencias en los enfermos y en el funcionamiento del sistema de salud en general.

#### *En el campo del medio ambiente*

Las nanotecnologías podrían tener numerosos impactos positivos sobre el medio ambiente apoyando así al desarrollo sostenible. Pero aunque es importante apoyar los beneficios potenciales de las nanotecnologías, es indispensable demostrar su inocuidad, sin ignorar sus efectos potencialmente indeseables.

Según la documentación consultada, el mayor riesgo de una posible exposición ambiental a corto plazo, por el impacto que podría tener la reactividad de las nanopartículas sobre las plantas, los animales, los microorganismos y los ecosistemas, lo constituye la utilización de nanopartículas en el saneamiento del agua o de suelos contaminados. Los datos recogidos hasta ahora no permiten establecer con precisión la situación actual. Estudios preliminares han demostrado, sin embargo, que ciertos nanomateriales podrían dañar órganos y tejidos en los organismos vivos. En el marco de este pronunciamiento, **la Comisión insiste en la importancia de multiplicar la investigación sobre las consecuencias posibles de las nanotecnologías para determinar las sustancias que podrían ser dañinas. Esta proposición contempla un compromiso de investigadores, industriales y organismos públicos.**

Aunque los estudios en laboratorio ofrecen algunas respuestas, los análisis *in situ* son indispensables. Es el caso, por ejemplo, de los efectos no esperados (imprevistos) de las nanotecnologías o que podrían producirse a largo plazo. Así, es posible que la acumulación de ciertos productos tenga efectos dañinos sobre ciertos sistemas reguladores.

#### Recomendación n° 4

##### La Comisión recomienda:

- Que el ministro del Développement Économique, de l'Innovation et de l'Exportation (desarrollo económico, innovación y exportación), junto al ministro del Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (desarrollo sostenible, medio ambiente y parques) así como los diversos actores implicados, establezcan un sistema de vigilancia permanente de los efectos potenciales de los productos que contengan nanotecnologías sobre el medio ambiente, especialmente cuando no sea posible calcular los efectos antes de su comercialización;
- Que se establezca un procedimiento específico para asegurar el retiro rápido de los productos cuestionados si se llegara a constatar la presencia de efectos nefastos para el medio ambiente.

### ***En el campo de la seguridad***

Después del ataque terrorista del 11 de septiembre 2001 en Estados Unidos, los asuntos relacionados con la seguridad y la defensa militar han adquirido una dimensión creciente con repercusiones a nivel mundial. Asegurar la protección del territorio y de la población es, ahora más que nunca, una preocupación prioritaria de los gobiernos tanto en el plano militar que de la seguridad pública amplificando, la ola de integración tecnológica iniciada a fines de la década de los 80. En ambos casos, las nanotecnologías presentan un potencial de aplicaciones extremadamente diverso en asuntos de seguridad.

***En el campo militar.*** Las aplicaciones en este campo implican dos preocupaciones éticas fundamentales: la relacionada con los fines de la aplicación de las tecnologías y la relacionada con el carácter de secreto que se le otorga a los resultados obtenidos de la aplicación de estas tecnologías en los laboratorios. En este sentido, es absolutamente indispensable, el tema de la transparencia, que releva el problema ético y suscita interrogantes sobre el nivel de confianza que la población puede o debe depositar en las autoridades militares. Es importante señalar que en este campo, en el arsenal de investigaciones y proyectos en curso, el desarrollo y perfeccionamiento de las estrategias de ataque o de defensa contra el enemigo, constituyen la prioridad de las diversas ramas implementadas y de los montos fenomenales de recursos que le son consagrados. A primera vista, es posible afirmar que en este campo son relativamente pocos los esfuerzos destinados a evitar los conflictos. Por lo tanto, **es necesario realizar un cuestionamiento ético de la investigación militar y de las problemáticas y consideraciones éticas asociadas al desarrollo de nuevas aplicaciones de las nanotecnologías en el campo militar.**

***En la sociedad civil.*** En el marco de un documento de reflexión sobre la utilización de datos biométricos en aplicaciones de seguridad, la Comisión aborda del problema de la vigilancia y se cuestiona sobre la posible ingerencia del Estado en la vida privada de los ciudadanos y de los trabajadores. Si bien diversas tecnologías contribuyen a este fin, las nanotecnologías aumentan y facilitan las posibilidades actuales puesto que permiten recoger y utilizar la información sobre los ciudadanos y los trabajadores de manera incalculable considerando las posibilidades existentes hasta el momento presente. **En el área de la sociedad civil, la Comisión constata con inquietud que actualmente, en nombre de la seguridad, las exigencias de protección de la información personal y su confidencialidad, el derecho a la privacidad y las libertades civiles, son minimizadas.**

### ***La convergencia de los conocimientos y las disciplinas***

La convergencia de las nanotecnologías con otras disciplinas como la biología, las tecnologías de la información y de la comunicación y las ciencias cognitivas se acompaña de numerosos desafíos éticos y sociales, sobre todo cuando concierne la identidad humana y la relación del ser humano con la naturaleza.

***La identidad humana en un contexto de optimización del rendimiento.*** Las nanotecnologías podrían contribuir a optimizar ciertas características fisiológicas del ser humano; el desarrollo posible de estos procesos, gracias a la convergencia de los conocimientos y tecnologías, prácticamente no tiene límite y podría incluir las capacidades cognitivas. Algunos de estos procesos acarrearán, sin duda, un buen número de interrogantes fundamentales con respecto a las representaciones personales y sociales de la identidad humana. Es decir, lo que comprendemos y consideramos como ser *humano*; lo que es considerado normal (o *acceptable*) y lo que no lo es; La frontera subjetiva entre terapia y optimización de las capacidades humanas; el doble discurso con respecto a la incorporación de la población minusválida en la vida « activa »; el culto dedicado al rendimiento; la equidad en los servicios ofrecidos por el sistema público de salud; la visión de la autonomía y de la responsabilidad individual ante la colectividad. Es precisamente en este punto donde reside particularmente, según la Comisión, el cuestionamiento ético que presenta la utilización de las nanotecnologías con el objetivo de optimizar el

rendimiento humano. Esta reflexión continuará en los próximos pronunciamientos de la Comisión sobre las neurociencias.

***La relación entre el ser humano y la naturaleza.*** En acuerdo con el espíritu de la *Ley sobre el desarrollo sostenible*, la Comisión considera que el ser humano vive en interdependencia con el medio ambiente. La sociedad y sus autoridades deben tener en cuenta esta interdependencia al tomar decisiones que podrían tener un impacto sobre la calidad del medio ambiente, tanto en lo inmediato como para las generaciones futuras. En este aspecto, las nanotecnologías podrían ser una herramienta valiosa para la calidad del medio ambiente, sin embargo, al mismo tiempo, algunas aplicaciones podrían constituir claramente un elemento de deterioración. **De esta manera, es importante buscar un equilibrio en la utilización de las nanotecnologías con objeto de sacarles el mejor partido posible en beneficio de la mayoría, teniendo como preocupación prioritaria el respeto del medio ambiente. Estas decisiones conciernen al conjunto de la sociedad y deben ser sometidas a debate público.**

### **Preocupaciones éticas no exclusivas a las nanotecnologías**

El desarrollo de las nanotecnologías suscita ciertamente un cuestionamiento ético con respecto a los efectos sobre la salud y el medio ambiente, así como sobre su posible utilización en otros campos. Por lo tanto y tal como pudo constatarlo la Comisión, estas tecnologías, así como otras tecnologías emergentes, ponen en evidencia preocupaciones de tipo ético que no les son específicas y que no son completamente nuevas. Estas preocupaciones no deben ser ocultadas, en particular porque existe el riesgo de que sean amplificadas por la llegada de las nanotecnologías.

#### ***En relación a la gobernanza***

***La legitimidad y la transparencia del proceso de toma de decisiones.*** En un marco democrático, la legitimidad pasa necesariamente por la transparencia del proceso de decisión. Se trata de un tema sobre el cual la Comisión ha insistido mucho en el documento sobre los organismos modificados genéticamente. La transparencia se manifiesta en las maneras de informar a la población: se trata de una condición del ejercicio de la capacidad de libre elección de los ciudadanos en una sociedad democrática y pluralista.

#### **Recomendación n° 5**

##### **La Comisión recomienda:**

**Que el ministro del Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (desarrollo económico, innovación y exportación), junto con sus colegas de otros ministerios y organismos, inicie un proceso de información y debate con la población para establecer, con total transparencia, las preocupaciones científicas, económicas, sociales y éticas asociadas a las nanotecnologías.**

***Medidas de control y de rendición de cuentas.*** La Comisión reconoce que el marco normativo de las nanotecnologías se requiere de un mejor conocimiento de las consecuencias potencialmente nefastas que podrían acarrear la introducción y la diseminación de nanopartículas en el medio ambiente o su penetración en los organismos vivos. Sin embargo, estos inconvenientes no deben ni pueden limitar las acciones del Estado relativas a las actividades de vigilancia y de reflexión que deben acompañar la emergencia de una nueva tecnología, y aquellas que aseguren la adaptación de los marcos de regulación existentes cuando las circunstancias así lo exijan. **Es importante también que los diferentes actores interesados en el campo de las nanotecnologías se concerten para adoptar comportamientos acordes al desarrollo sostenible. Para la Comisión, la concertación de las partes interesadas es un prerrequisito a la elaboración de un modelo de gobierno flexible, adaptado a la realidad de las**



nanotecnologías y capaz de tener en cuenta las preocupaciones éticas que estas tecnologías implican.

#### Recomendación n° 6

La Comisión recomienda:

Que el ministro del Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (desarrollo económico, innovación y exportación) solicite a los organismos que otorgan subvenciones, en colaboración con los sectores interesados, crear un programa de investigación pluridisciplinaria sobre los impactos de las nuevas tecnologías y sobre la gestión del riesgo asociado a las nanotecnologías que tenga en cuenta sus dimensiones éticas y sociales.

*Con respecto a la actividad económica*

*Las alternativas éticas en el desarrollo de la actividad económica quebequense con respecto a las nanotecnologías.* Desde el 2004, el Conseil de la science et de la technologie du Québec (consejo de la ciencia y de la tecnología del Québec) coordina el proyecto Perspective Science-Technologie-Société (STS - perspectiva ciencia-tecnología-sociedad) cuyo primer objetivo es sensibilizar a todos los sectores de la sociedad quebequense en cuanto a la importancia y a la utilidad de la ciencia y de la tecnología para comprender y resolver los problemas socioeconómicos. El segundo objetivo de este proyecto consiste en invitar a la comunidad científica quebequense a ser partícipe de los objetivos sociales y económicos de la ciencia y de la tecnología. **La Comisión considera que este tipo de iniciativa debe aplicarse durante la elaboración de una estrategia quebequense de desarrollo de las nanotecnologías, para responder a las necesidades económicas y sociales propias del Québec y considerar, de manera específica, los cuestionamientos éticos relativos a estas tecnologías.**

En su informe del 2005 sobre las nanotecnologías, el *President's Council of Advisors on Science and Technology* del gobierno de los Estados Unidos recuerda que las nuevas tecnologías pueden desplazar las tecnologías obsoletas y suscitar un movimiento similar en las posibilidades de empleo. **Como estos nuevos empleos exigen muchas veces habilidades diferentes, este organismo reitera que tales cambios pueden presentar desafíos mayores con respecto a la formación de la mano de obra y al sistema de educación. Para la Comisión, se trata de un tema ético importante debido a que, a menudo, los trabajadores más vulnerables de la sociedad son las primeras víctimas de las transformaciones del mercado laboral que conlleva la emergencia de nuevas tecnologías.**

#### Recomendación n° 7

La Comisión recomienda:

Que el ministro del Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (desarrollo económico, innovación y exportación), en el caso de la elaboración de una estrategia quebequense de desarrollo de las nanotecnologías, considere los temas éticos y sociales que estas tecnologías conllevan, particularmente en temas de empleo y capacitación de la mano de obra.

*La brecha nanotecnológica en el contexto de la globalización de mercados.* La posibilidad de concebir y desarrollar la innovación nanotecnológica de manera que los países en vías de desarrollo puedan beneficiarse debería ser considerada. Los gobiernos, las empresas, las fundaciones y las organizaciones no gubernamentales pueden ser llamadas a participar, en distintos grados, a involucrarse en la gestión del desarrollo nanotecnológico. Para estos diferentes actores, es la ocasión de sumar esfuerzos para maximizar la reflexión y actuar de manera solidaria con respecto a los menos afortunados.

#### COMENTARIO DE LA CEST

En el mismo sentido, la Comisión sugiere que se amplifiquen o establezcan vínculos de colaboración entre las universidades, los fondos de subvención y los países en desarrollo. Del mismo modo deben ser considerados los convenios de investigación en el área de las nanotecnologías, los intercambios de estudiantes y profesores entre universidades así como el establecimiento de programas de subvenciones cuyo objetivo específico sea colmar las necesidades de los países en desarrollo.

En general, quien controla la investigación y el desarrollo controla igualmente los medios de producción y la oferta de bienes y servicios. Si se consideran las necesidades de los países en desarrollo en las orientaciones de investigación, es necesario igualmente apoyar el crecimiento de las industrias locales que crearán una riqueza sostenible. Deben incentivarse los convenios entre aquellos que poseen el saber y los capitales y aquellos que tienen un mercado explotable a condición que estos convenios sean pensados de manera de beneficiar a todos y cada uno y que la distribución de responsabilidades sea equitativa; se trata de un asunto de respeto y de solidaridad.

#### COMENTARIO DE LA CEST

Teniendo en cuenta que la solidaridad humana se traduce particularmente en gestos de colaboración y de repartición de la riqueza, la Comisión apoya la formación de investigadores y el establecimiento de infraestructuras de investigación y desarrollo en los países emergentes y aquellos en vías de desarrollo para favorecer la adquisición de un conocimiento industrial en estos países y evitar que se profundice la brecha tecnológica.

***La propiedad intelectual y la gestión de las patentes.*** La gestión de las patentes y de la propiedad intelectual puede ser vista como una fuente dinámica de innovación pero, al mismo tiempo, como un freno al acceso a los conocimientos y a los instrumentos necesarios a la investigación y al desarrollo. Como lo sugieren ciertos autores, una manera de enfrentar el problema sería de inspirarse de la protección de la propiedad intelectual utilizada en informática para los programas libres (*open source*) respecto a las investigaciones financiadas por los contribuyentes. Otra posibilidad sería de establecer comunidades de patentes (*patent pools*).

La Comisión subraya igualmente la iniciativa del National Institute of Health (NIH) de los Estados Unidos en el campo de las biotecnologías, particularmente con respecto al anuncio de una asociación entre el sector público y diversas empresas farmacéuticas privadas con la finalidad de acelerar la investigación genética de enfermedades multifactoriales. El NIH ha garantizado que los resultados de las investigaciones serán accesibles a todos.

#### COMENTARIO DE LA CEST

Esta iniciativa implica ciertamente ampliar los cuestionamientos en esta materia. ¿Las iniciativas fundadas sobre asociaciones entre el sector público y el sector privado en el campo de la investigación y de la comercialización son equitativas para el Québec? ¿Cuáles son los efectos positivos y negativos de estas asociaciones? ¿Los beneficios potenciales compensan los efectos negativos? ¿Sería posible disminuirlos o eliminarlos? ¿Sería posible establecer medidas que inciten, en este campo, a favorecer la actividad filantrópica? Frente a estas preguntas, la Comisión considera imperativo emprender una profunda reflexión sobre el rol de la protección de la propiedad intelectual en un contexto de innovación y sacar a luz los cuestionamientos éticos que la acompañan.

***La recolección de datos personales.*** La convergencia de las nanotecnologías y las tecnologías de la información podría hacer posible la creación de perfiles muy especializados con fines de mercadeo y de vigilancia policial, social o política de la población o de ciertas comunidades. **La Comisión insiste en recordar que la recolección de datos personales no puede hacerse sin el consentimiento de los**

**consumidores y que las leyes de protección de la información personal obligan a los organismos públicos y privados permiten el acceso, a quien lo solicite, a su expediente personal.** El problema reside en que pocas personas conocen estas obligaciones y que, además, las empresas y organismos públicos o privados que violan las reglas establecidas en este ámbito son raramente sancionados.

En fin, el acceso a la información genética constituye otro aspecto de la protección de la información personal que no conviene olvidar. Con las nanotecnologías, los biochips de ADN sobre silicio permiten el análisis del contenido genético de células *in situ* – permitiendo a los médicos, en un futuro cercano, « leer » el código genético de un paciente directamente en su consultorio y así obtener una multitud de informaciones sobre el estado de salud de esta persona y sobre su predisposición a ciertas enfermedades. E este aspecto la Comisión insiste, como lo recalca en su pronunciamiento sobre los bancos de información genética, que la utilización de información genética para otros fines que médicos, particularmente por las aseguradoras, los empleadores y las instituciones financieras, podría favorecer la discriminación al momento de tomar decisiones sobre empleados, clientes y personas que solicitan préstamos, por ejemplo. **La Comisión sigue considerando que toda forma de utilización de información genética por personas otras que los profesionales de la salud y para fines otros que terapéuticos debería ser objeto de un debate público sobre estas prácticas y sus fines.**

#### *Con respecto a la ciudadanía y a la innovación tecnológica*

El consumo se percibe cada vez más como un tema de poder donde los ciudadanos reivindican que su derecho a elegir refleje sus opciones valóricas. Es importante identificar en este gesto, un signo de sanidad democrática, a la condición de que los ciudadanos tomen conciencia de su capacidad de ejercer una influencia, que reconozcan la responsabilidad que acompaña todo acto de toma de decisiones y, finalmente, que tengan acceso a una información clara y objetiva.

La creciente apropiación del poder de parte de los ciudadanos (*empowerment*, en inglés) se manifiesta particularmente en su voluntad de poder escoger respetando los valores individuales y sociales de todos y cada uno. Si la información clara y accesible, es un prerrequisito indispensable, representa un desafío enorme, especialmente en el caso de las nanotecnologías, en razón de su complejidad y de la diversidad de posibilidades de aplicación. **La Comisión reitera la importancia de transmitir una información adecuada a la población y de favorecer su participación en la toma de decisiones con respecto a las nanotecnologías.**

#### **Recomendación n° 8**

##### **La Comisión recomienda:**

**Que el Gouvernement du Québec se inspire de la página existente sobre los organismos modificados genéticamente para crear una página internet con la información sobre las nanotecnologías disponible para la población en general.**

Incluso, si la información se encuentra disponible y es de fácil acceso, es importante sensibilizar a los ciudadanos con respecto a estas nuevas tecnologías de manera que ellos comprendan que es una responsabilidad que les incumbe a todos y cuya importancia es frecuentemente subestimada. Además, es necesario señalar que si bien actualmente el interés de los jóvenes por la formación en ciencia y tecnología disminuye, el consumo de productos tecnológicos no deja de aumentar. En este contexto, **la Comisión considera que es urgente reflexionar sobre mecanismos de acercamiento a la población con objeto de contrarrestar la falta de una información relativamente neutra y objetiva sobre la innovación tecnológica.**

\* \* \* \* \*

Es con mucho interés que la Comisión inicia su reflexión sobre los cuestionamientos éticos acentuados por el desarrollo de las nanotecnologías. Por un lado porque el tema es todavía poco conocido y por otro, porque el potencial de desarrollo y utilización de la materia a escala nanométrica parece, actualmente, ilimitado. Es fácil entonces maravillarse y hasta dejarse llevar por el entusiasmo que anima a muchos de los actores en contacto con este fenómeno.

Siguiendo su reflexión, la Comisión constata la amplitud y la complejidad de la tarea que ella misma se asignó, es decir de documentar el desarrollo de la nanociencia y de las nanotecnologías para establecer los temas éticos que acompañan su emergencia. En efecto, las nanotecnologías conciernen a todos los campos, con una multitud de aplicaciones y potencial de utilización. Además, la reflexión con respecto a las nanotecnologías se complica porque la materia nanométrica es invisible a simple vista. Sus efectos, positivos o negativos, serán, sin embargo, muy tangibles. En fin, el hecho que se trate de tecnologías emergentes significa también que es actualmente imposible prever todas las aplicaciones futuras y sus repercusiones sobre el Québec y sobre el resto del mundo.

La reflexión sobre los temas éticos y sociales de las tecnologías apenas empieza y será importante continuarla, discutir, opinar sobre las nanotecnologías y sobre la manera de asegurar su desarrollo armonioso. También, la Comisión considera que es necesario proseguir la reflexión sobre temas precisos que el Estado debe considerar con respecto a la gestión responsable de las nanotecnologías, en la medida que tenga que tomar decisiones o definir orientaciones sobre el tema.

## ANEXO 1

### *Algunos ejemplos de aplicaciones de las nanotecnologías*

**Industrias automotriz y aeronáutica:** materiales reforzados con nanopartículas para ser más ligeros, neumáticos reforzados con nanopartículas para durar más tiempo y ser reciclables, pintura exterior y vidrio que se limpian solos, plásticos que no se inflaman y poco costosos, textiles y recubrimientos que no se arrugan, resistentes a las manchas y que se reparan solos, catalizadores.

**Industrias electrónica y de comunicaciones:** grabación de datos con métodos que utilizan nanocapas y puntos cuánticos, pantallas planas, tecnología inalámbrica, captosres, nuevos aparatos y procesos en el campo de las tecnologías de la información y de la comunicación, velocidad de tratamiento y capacidad de grabación menos costosas, millones de veces más rápidas que los métodos actuales y que consumen menos energía.

**Industrias química y de materiales:** catalizadores que aumentan la eficiencia energética de las fábricas de transformación química y que aumentan la eficiencia de la combustión de los vehículos a motor (lo que disminuye la contaminación), herramientas para cortar más duras y resistentes, fluidos magnéticos inteligentes para lubricantes, filtros para separar moléculas.

**Industrias farmacéutica, de biotecnologías y de salud:** nuevos fármacos basados en nanoestructuras, sistemas de difusión de medicamentos que actúan en lugares precisos del cuerpo humano, materiales de reemplazo biocompatibles con los órganos y los fluidos humanos, pruebas (tests) de autodiagnóstico que pueden ser utilizados en casa, captosres para laboratorios minúsculos, materiales para la regeneración de los huesos y de los tejidos, productos cosméticos.

**Sector de fabricación:** ingeniería de precisión para la producción de nuevas generaciones de microscopios e instrumentos de medición, nuevos procesos y nuevas herramientas para manipular la materia al nivel del átomo, nanopolvos incorporados a materiales de construcción con propiedades especiales como sensores que detectan rupturas inminentes así como controles capaces de corregir el problema, autoensamblaje de estructuras a partir de moléculas, materiales inspirados por la biología y bioestructuras.

**Sector de la energía:** nuevos tipos de baterías, fotosíntesis artificial capaz de producir energía de manera ecológica, almacenamiento seguro del hidrógeno para su utilización como combustible limpio, economía de energía resultante del uso de materiales más ligeros y más pequeños circuitos, recubrimientos nanoestructurados, pilas con combustible, pilas solares, catalizadores.

**Exploración del espacio:** vehículos espaciales más ligeros, producción y gestión más eficiente de energía, sistemas de robots pequeños y eficaces.

**Medio ambiente:** membranas selectivas capaces de filtrar contaminantes o la sal del agua, trampas nanoestructuradas para retirar los contaminantes de los desechos industriales, caracterización de los efectos de las nanoestructuras en el medio ambiente, reducción importante en el uso de materiales y energía, reducción de las fuentes de contaminación, nuevas posibilidades de reciclaje.

**Campo militar:** detectores y correctores de agentes químicos y biológicos, circuitos electrónicos mucho más eficientes, materiales y recubrimientos nanoestructurados mucho más resistentes, textiles ligeros que se autoreparan, reemplazo de la sangre, de los sistemas de vigilancia en miniatura, nuevos tipos de armas.

National Science and Technology Council<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Esta lista proviene de: NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY COUNCIL (EE.UU.), *Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report*, septiembre 1999 [online] <http://www.wtec.org/loyola/nano/IWGN.Research.Directions/cover.pdf>. La Comisión la reproduce aquí con algunas modificaciones menores.



## ANEXO 2

### RESEÑA PROSPECTIVA DE APLICACIONES DE LAS NANOTECNOLOGÍAS<sup>3</sup>

#### SECTOR DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

Materiales/técnicas	Aplicaciones	Escala temporal (comercialización)
<b>Pre-2015</b>		
Estructuras de pozos cuánticos	Telecomunicaciones / industria de la óptica. Potencial para aplicaciones en el desarrollo de láseres utilizados en la transmisión de datos.	Láser de pozos cuánticos utilizada en los lectores de CD. No ha sido optimizada para el campo de las comunicaciones (en 4-6 años).
Estructuras de puntos cuánticos	Utilización de comunicaciones por fibras ópticas para construir computadoras.	Puntos cuánticos en la etapa de la investigación (en 7-8 años).
Tecnologías de cristales fotónicos	Sector de las comunicaciones por fibras ópticas. Los circuitos fotónicos integrados pueden, en teoría, ser mil veces más densos que los circuitos electrónicos. Las nuevas propiedades y la contención crean la posibilidad de crear dispositivos que consuman mucho menos energía.	En la etapa de la investigación y desarrollo. Gran interés comercial.
Nanotubos de carbono en nanoelectrónica	Memoria y almacenamiento: prototipos comerciales de memorias vivas (RAM), de pantallas y de papel electrónico ( <i>E-paper</i> ).	Pantallas planas disponibles. Prototipos comerciales de memorias vivas. Pronta comercialización del papel electrónico.
<i>Spintrónica</i> : uso del « spin » del electrón en electrónica	Discos rígidos de capacidad ultra-alta y memorias de computadoras.	Demostración de cabezales de lectura.
Polímeros	Tecnologías de la visualización (pantallas).	Comercialización empezada.
<b>Post-2015</b>		
Electrónica molecular (incluyendo computadoras con ADN)	Circuitos basados en una molécula y transistores de un electrón.	Demostración de un transistor de un electrón. Tecnología inmadura pero de gran potencial.
Tratamiento cuántico de la información	Utilización de la física cuántica para el tratamiento de datos con ayuda de computadoras cuánticas.	En la etapa de la investigación fundamental.

<sup>3</sup> Extraído parcialmente de: Alexander Huw ARNALL, *Future Technologies, Today's Choices. Nanotechnology, Artificial Intelligence and Robotics; A Technical, Political and Institutional Map of Emerging Technologies*, A report for the Greenpeace Environmental Trust, Londres, julio 2003 [online] <http://www.greenpeace.org.uk/MultimediaFiles/Live/FullReport/5886.pdf>.

## SECTORES FARMACÉUTICO Y MÉDICO

Materiales/técnicas	Propiedades	Aplicaciones	Escala temporal (comercialización)
<b>Diagnóstico</b>			
Marcadores nanométricos	Detección de pequeñas cantidades de una sustancia, hasta una molécula.	Detección de células cancerosas.	Largo plazo.
Laboratorio en un chip ( <i>lab-on-a-chip</i> )	Miniaturización y aumento de la velocidad del proceso de análisis.	Laboratorios portátiles miniaturas para la industria química, control y prevención de enfermedades, medio ambiente.	Comercializado, alto costo.
Puntos cuánticos	Los puntos cuánticos sensibles a algunas moléculas capaces de detectarlas con precisión por sus espectros luminosos únicos.	Diagnóstico.	En la etapa de desarrollo embrionario. Interés comercial.
<b>Liberación de medicamentos</b>			
Nanopartículas (50-100 nm)	Capaces de penetrar los poros de las células cancerosas.	Tratamiento del cáncer	Largo plazo.
Control nanométrico de la talla (100-200 nm)	Baja solubilidad.	Tratamiento más eficaz con los medicamentos actuales.	Largo plazo.
Polímeros	Estas moléculas pueden ser moduladas con gran precisión.	Transporte nanobiológico de medicamentos.	Largo plazo.
Ligandos sobre nanopartículas	Estas moléculas pueden ser moduladas con gran precisión.	Los ligandos son capaces de reconocer tejidos dañados y liberar medicamentos en ese lugar preciso.	Largo plazo.
Nanocápsulas	Capaces de atravesar el sistema inmunitario para transportar directamente el agente terapéutico hacia el lugar indicado.	Tratamiento del SIDA y del cáncer.	Ensayos clínicos sobre los fullerenos de Buckminster (« <i>buckyballs</i> ») para el tratamiento del SIDA.
Mejor adherencia a las partículas	Aumentación de la retención local de medicamentos.	Liberación lenta de medicamentos.	Largo plazo.
Materiales nanoporosos	Capaces de atravesar el sistema inmunitario para transportar directamente el agente terapéutico hacia el lugar indicado.	Implantes para la liberación controlada de medicamentos.	Nivel pre-clínico del tratamiento de la diabetes.



Farmacia en un chip	Mide la condición del paciente, regula y mantiene el nivel hormonal.	Tratamiento de la diabetes.	En un estado de desarrollo menos avanzado que el laboratorio en un chip.
Membranas nanoporosas	Selección de biomoléculas.	Análisis de genes y secuencias.	Comercializado.
<b>Regeneración, crecimiento y reparación de tejidos</b>			
Prótesis	Miniaturización, pérdida de peso, aumento de resistencia, mejor biocompatibilidad.	Retina, implantes cocleares, columna vertebral.	Primeros productos comerciales serán probablemente injertos para tejidos externos. Luego, dientes, implantes óseos, tejidos internos.
Manipulación celular	Manipulaciones y contención de células.	Reemplazo de tejidos nerviosos, crecimiento de órganos de reemplazo.	6-7 años.

### CAMPO DE LA ENERGÍA

<b>Materiales/técnicas</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>Escala temporal (comercialización)</b>
<b>Producción de energía</b>		
Materiales poliméricos	Células solares.	5 años.
Combinación de moléculas orgánicas e inorgánicas	Células solares. Tratamiento fotocatalítico del agua. El proceso de fabricación podría ser muy poco costoso.	Comercialización actual, pero limitada. Las aplicaciones con poca utilización de energía serán comercializadas antes.
Pozos cuánticos	Células solares de pozos cuánticos. La absorción de una mayor proporción del espectro solar permitiría aumentar la eficiencia de las células solares.	Investigación fundamental.
Nanocolumnas	Estas estructuras pueden modularse para ser sensibles a diferentes partes del espectro solar. Células solares de bajo costo.	Largo plazo.
<b>Conversión de carburante/almacenamiento</b>		
Catalizadores nanoestructurados	Conversión de carburante.	Actual – 5 años.
Nanotubos	Almacenamiento de carburante: hidrógenos, metano para pilas de combustible.	2-5 años.
Nanopartículas	Mejora de la capacidad de las baterías.	Largo plazo.
Hidruros metálicos nanoestructurados	Almacenamiento de hidrógeno para pilas de combustible.	1-5 años



## ANEXO 3

### CUESTIONAMIENTO RELATIVO A LAS PROBLEMÁTICAS DE LAS NANOTECNOLOGÍAS EN ASUNTOS DE INVESTIGACIÓN, DE DESARROLLO Y DE COMERCIALIZACIÓN EN EL CANADÁ<sup>4</sup>

#### I. Percepción y participación del público

- ¿Cuál es la percepción del público con respecto a las nanotecnologías, en el Canadá y en el extranjero? ¿Cuál es la base de esta percepción?
- ¿Qué formas adquieren las representaciones populares de las nanotecnologías y cuáles son sus impactos?
- ¿Cuál debiera ser el papel de los científicos en el debate público sobre las nanotecnologías?
- ¿Cuáles estrategias de comunicación y de participación deben elaborarse para favorecer un debate real sobre los riesgos y los beneficios de las nanotecnologías?

#### II. Temas de regulación

- ¿Cuál son los efectos de las nanopartículas y de los nanomateriales sobre el medio ambiente y sobre el ser humano?
- ¿Cuáles debería ser el papel del principio de precaución en la regulación de los nanomateriales y las nanotecnologías?
- Considerando sus propiedades únicas y distintas, ¿es posible enmarcar de manera apropiada las nanotecnologías con las regulaciones existentes?
- Si algunas modificaciones legislativas o reglamentarias fueran necesarias en el contexto de las nanotecnologías, un nivel de cooperación sin precedentes deberá existir entre los niveles de gobierno y entre los organismos de cada nivel. ¿Cómo asegurarse que el marco de regulación de las nanotecnologías sea lógico, eficaz, transparente y que pueda adaptarse a los cambios tecnológicos?

#### III. Temas económicos y de comercialización

##### A. *Temas generales de comercialización*

- ¿Cuál será el impacto económico de las nanotecnologías? ¿Cuáles serán las consecuencias económicas de la comercialización de las nanotecnologías sobre los demás sectores económicos?
- ¿Qué métodos se utilizarán para evaluar los impactos de una revolución tecnológica sobre la economía?
- ¿Serán los modos de comercialización de las nanotecnologías diferentes de aquellos utilizados para otras tecnologías? Si así fuera, ¿en qué consisten estas diferencias? ¿Podrían algunas situaciones particulares causar conflictos de interés?

##### B. *Temas de propiedad intelectual*

- ¿Cuáles serán los temas relativos a la propiedad intelectual? ¿Serán estos temas diferentes de aquellos vinculados a otras tecnologías emergentes?
- ¿Serán el desarrollo de la propiedad intelectual y su explotación, como parte del proceso de comercialización, particularmente problemáticos para la comercialización de las nanotecnologías?

<sup>4</sup> Lorraine SHEREMETA y Abdallah S. DAAR, « The Case for Publicly Funded Research on the Ethical, Environmental, Economic, Legal and Social Issues Raised by Nanoscience and Nanotechnology (NE<sup>3</sup>LS) », *Health Law Review*, vol. 12, n° 3, 2004.

#### **IV. Gobierno, globalización y equidad**

- ¿Cuál será el impacto de las nanotecnologías en los países en vías de desarrollo y en las comunidades marginalizadas del Canadá?
- ¿Cómo asegurarse de que los beneficios de las nanotecnologías sean compartidos de manera equitativa con la población de los países en vías de desarrollo y las comunidades menos ricas del Canadá? ¿Cómo evitar la brecha nanotecnológica?
- ¿Es posible compartir las ganancias de la comercialización de las nanotecnologías?

#### **V. Temas filosóficos y éticos**

- ¿Cuáles son los grandes temas filosóficos que deben ser evaluados en el contexto del desarrollo de las nanotecnologías?
- ¿Cuáles serán los impactos de las nanotecnologías sobre las percepciones y las definiciones de lo que es normal, en el plano de la salud y de la enfermedad?
- ¿Cómo y en qué campos las nanociencias y las nanotecnologías podrían perturbar las concepciones tradicionales de la vida privada y de la confidencialidad?

#### **VI. Temas relacionados con las aplicaciones específicas**

- ¿Cuáles son las aplicaciones militares anticipadas de las nanotecnologías? ¿De qué manera habría que regular estas aplicaciones?
- ¿Cuáles son, en el campo de la salud, las aplicaciones potenciales de las nanotecnologías? ¿Qué nuevos desafíos presentarán en el campo ético, jurídico y social?
- ¿Cuáles son las aplicaciones posibles de las nanotecnologías con respecto a las incapacidades y a la mejora de las capacidades? ¿Qué efectos tendrán estas aplicaciones sobre la sociedad?

## Miembros de la Comisión de ética de la ciencia et la tecnología<sup>5</sup>

### **PRESIDENTA**

#### **Édith Deleury**

Profesora – Facultad de leyes  
Université Laval

### **MIEMBROS**

#### **Patrick Beaudin**

Director general  
Société pour la promotion de la science et de la  
technologie

#### **Louise Bernier**

Estudiante de doctorado en leyes (bioética,  
genética y derecho)  
Université McGill

#### **Sabin Boily**

Consultor Valorisation-Innovation

#### **Pierre Deshaies**

Médico especialista en salud comunitaria  
Jefe del departamento clínico de salud pública  
Hôtel-Dieu de Lévis

#### **Hubert Doucet**

Profesor de bioética  
Facultad de medicina y facultad de teología  
Université de Montréal

#### **Benoît Gagnon**

Investigador  
Cátedra Raoul-Dandurand de estudios estratégicos  
y diplomáticos (UQÀM)  
Estudiante de doctorado (Université de Montréal)

#### **Jacques T. Godbout**

Sociólogo  
Institut national de la recherche scientifique –  
Urbanisation, Culture et Société

#### **Michèle S. Jean**

Centre de recherche en droit public  
Université de Montréal  
Presidenta de la Commission canadienne de  
l'UNESCO

#### **Johane Patenaude**

Profesora (ética)  
Facultad de medicina  
Université de Sherbrooke

#### **François Pothier**

Profesor  
Facultad de ciencias de la agricultura y de la  
alimentación  
Université Laval

#### **Eliana Sotomayor**

Trabajadora Social  
Estudiante de doctorado (Université de Montréal)

(lugar vacante)

### **MIEMBROS INVITADOS**

#### **Geneviève Bouchard**

Vice-ministra adjunta  
Dirección general de políticas  
Ministère de l'Emploi et de la Solidarité sociale  
(Québec)

#### **Danielle Parent**

Abogada  
Bureau du Commissaire au lobbyisme du Québec

### **COORDINADORA**

#### **Diane Duquet**

---

<sup>5</sup> En el momento de la adopción del pronunciamiento.