

Políticas Públicas para el Desarrollo y Utilización de la Nanotecnología ¹ (Versión preliminar)

Carlos Aguirre-Bastos
Centro de Estudios de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación
Academia Nacional de Ciencias de Bolivia
La Paz, Bolivia
csaguirreb@gmail.com

Introducción

La acelerada difusión de las tecnologías transformativas (nano – bio – info – cogno, NBIC) y su convergencia está teniendo y tendrá cada vez más un impacto profundo sobre el desarrollo. Frente a esta situación, las políticas públicas y los sistemas de gobernabilidad en los países en desarrollo, enfrentan dificultades para mantenerse al ritmo del nuevo conocimiento que se va generando, para introducirlo o adaptarlo a metas sociales, como la reducción de la pobreza o metas económicas, por ejemplo la introducción de mejoras de la competitividad o de desarrollo sostenible.

Por otro lado se evidencia en los países en desarrollo, que además de las comunidades científicas y decisores de política pública, varias organizaciones de actores directamente interesados ("stakeholders"), tales como organismos no gubernamentales, gremios de la producción, sociedades profesionales y organizaciones civiles ciudadanas así como ciudadanos comunes, están jugando un papel cada vez más importante en la discusión y definición de políticas y naturalmente construyendo una conciencia pública sobre el impacto de la tecnología. A ello contribuyen organismos y alianzas internacionales.

Se evidencia también que muchos de estos actores no conciben claramente los impactos del nuevo conocimiento, y en consecuencia, decisiones de política pública están siendo tomadas en los planos nacionales o locales sobre una información incompleta y fragmentada y en ocasiones pobres o por la influyente presencia de instituciones inadecuadamente preparadas para comprender y enfrentar los nuevos desafíos que imponen las tecnologías transformativas y su convergencia a sus estructuras sociales y económicas. Conviene así señalar que existe hoy un efectivo "**desafío de la convergencia**" para los países en desarrollo.

En este contexto se han analizado experiencias en los países Andinos sobre el desarrollo de la nanotecnología y la adopción de políticas en este campo. Algunas de esas experiencias serán descritas en la presentación. Este esfuerzo fue desarrollado en el propósito de contribuir a una mejor comprensión sobre cómo los países andinos pueden enfrentar opciones de aprendizaje y de política, alrededor del debate y diálogo sobre tecnologías transformativas y convergentes.

Las tecnologías convergentes

Las "tecnologías convergentes", se refieren a la combinación sinérgica (en dúos, tríos o cuartetos) de cuatro áreas de la ciencia y la tecnología (las tecnologías transformativas- NBIC), cada una de las cuales está progresando a un acelerado ritmo: (a) nanociencia y nanotecnología; (b) biotecnología y biomedicina, incluyendo la ingeniería genética; (c) tecnología de la información, incluyendo comunicación y computación avanzada y (d) ciencias cognitivas, incluyendo la neurociencia cognitiva.

¹ El presente trabajo está basado en los resultados del Proyecto: "Tecnologías Convergentes: Que está siendo hecho y que debería hacerse sobre ellas en los países Andinos?", ejecutado entre 2005 y 2007, bajo una subvención del Centro de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC-CIID) de Canadá.

Convergencia y nanotecnología

La convergencia de las tecnologías transformativas se basa fundamentalmente sobre la *unidad material en la nanoescala y sobre la integración tecnológica a partir de ella*. En la escala nanométrica, la materia manifiesta, en ocasiones, propiedades diferentes a las tradicionalmente conocidas a escala macroscópica. El aprovechamiento de estas propiedades en la implementación de dispositivos, en la formación de nuevos materiales, en sus métodos de manufactura y en su producción, es tan sólo uno de los propósitos de este paradigma emergente que transformará a las sociedades en el curso de las próximas décadas. Este nuevo ámbito del conocimiento ha resultado en un sinnúmero de posibilidades tecnológicas.

Nanotecnología: desarrollo y potencial

Se espera que la nanotecnología sea la tecnología transformativa de este siglo por su capacidad de reconstruir sustancias familiares o para crear nuevos materiales y productos con propiedades y funciones también nuevas. La nanotecnología reestructurará fundamentalmente las tecnologías actualmente en uso para la manufactura, la medicina, la defensa, producción de la energía, la gestión ambiental, el transporte, las comunicaciones, la computación y la educación [Roco et al, 2000] Las aplicaciones en nanotecnología no solamente van a penetrar y permear prácticamente todos los sectores productivos, sino acompañarán también cambios en los ámbitos social, económico, ético y ecológico.

La nanotecnología ha adquirido un papel estratégico en el concierto de tecnologías convergentes. El número creciente de publicaciones, programas de formación, centros de investigación y producción industrial, así como los montos presupuestales cada vez más significativos, dan cuenta del importante papel que está jugando el avance tecnológico en escala nanométrica para trazar el camino por el que transitará la sociedad del siglo XXI. En 2004 se reportaron más de 1,500 compañías involucradas en proyectos de investigación y desarrollo relacionados con tecnologías a escala nanométrica [Lux Research, 2004]. Importantes instituciones como la National Nanotechnology Initiative (NNI), han estimado que para el 2015 su impacto podrá haber disparado estos indicadores y haber generado nuevas oportunidades industriales por un monto cercano a mil millones de dólares [Roco y Bainbridge, 2001]. Se calcula que en 2004 ya estaban en el mercado productos que incorporaron nanotecnología por un valor de 13,000 millones de dólares.

En el marco de las aplicaciones, se han identificado cuatro generaciones superpuestas de productos y procesos de nanotecnología con potencial de desarrollo en el lapso 2000-2020 [Roco, 2004]:

1. Nanoestructuras pasivas:
 - Nanoestructuras dispersas y de contacto (aerosoles y coloides).
 - Productos incorporando nanoestructuras – (revestimientos, compuestos reforzados por nanopartículas, metales nanoestructurados, polímeros y cerámicas).
2. Nanoestructuras activas (con función evolutiva)
 - Con efectos sobre la salud, bio-activos (drogas “en el blanco”, bioartefactos).
 - Estructuras adaptativas físico-químicas activas (transistores de 3D, amplificadores, y actuarios).
3. Nanosistemas integrados

- Manufactura asistida, redes de 3D y nuevas arquitecturas jerárquicas, robótica, biosistemas evolucionarios.

4. Nanosistemas moleculares heterogéneos

- Artefactos moleculares por diseño, diseño atómico, funciones emergentes.

Cada generación de productos está marcada por la creación de prototipos comerciales que usan el control sistemático de los respectivos fenómenos y procesos de manufactura. Los productos pueden también incluir componentes que corresponden a diferentes generaciones. Se espera que las actuales capacidades rudimentarias de la nanotecnología para el control y la manufactura en la nanoescala evolucionen significativamente tanto en complejidad como en el grado de integración hacia el 2020.

Nanotecnología y sus aplicaciones en países en desarrollo

La nanotecnología puede ser dominada para atender muchos de los problemas más críticos del desarrollo y en los últimos años varios han sido los esfuerzos para sistematizar mejor estas posibles contribuciones.

Por ejemplo, el Instituto Meridian de los Estados Unidos eligió ciertos sectores de mayor potencial de aplicación y convocó a especialistas en nanotecnología, en desarrollo de políticas públicas, académicos a diálogos en talleres de trabajo. El primero de ellos ejecutado en Chennai, India en octubre de 2006, trató sobre aplicaciones al agua. El Taller discutió sobre la base de estudios previamente elaborados [Hillie et al, 2006; Meridian, 2006], el mismo que identificó un conjunto de instrumentos y artefactos que ya incorporan nanotecnología y están en el mercado o que están en un estado avanzado de desarrollo, y que son:

- Membranas para nanofiltración, incluyendo tecnologías de desalinización
- Arcillas attapulgita, zeolitas, y filtros de polímeros
- Nanocatalizadores
- Nanopartículas magnéticas
- Nanosensores para la detección de contaminantes

En el mismo enfoque, el Instituto convocó a un nuevo Taller en Mayo de 2007, en Río de Janeiro, Brasil, para examinar las aplicaciones e impactos de la nanotecnología sobre los "commodities" de los países en desarrollo. Para muchos de estos países, estos productos constituyen el eje de su economía. De un total de 141 países en desarrollo, 95 de ellos dependen de sus "commodities" para al menos el 50% de sus ingresos por exportaciones [CFC, 2005]. Si bien existen aplicaciones positivas, existen también riesgos potenciales, que incluyen:

- Disminución de la demanda global de "commodities" y productos primarios exportables debido a la presencia de nuevos nanomateriales y productos facilitados por la nanotecnología, que pueden funcionar como sustitutos con igual o mejor comportamiento a precios comparables.
- Disminución de la demanda global para "commodities" de exportación debido a nanotecnologías que incrementan la potencia de pequeñas cantidades de materiales de "commodities" o que aumentan la longevidad de los mismos.
- Aumento en la oferta global de commodities de exportación y/o pérdida de ventajas comparativas debido a los procesos de producción basados en la nanotecnología, que permitan una producción más barata, localizada y/o irrestricta de los mismos.

Una limitada consulta dirigida a especialistas andinos permitió clasificar los avances potenciales más importantes para los países andinos (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Los diez avances y aplicaciones más significativas de la Nanotecnología para los países andinos

Posición	Avance
1	Tratamiento y mejoramiento del Agua. Nanosensores para la detección de contaminantes y patógenos; nanomembranas y arcillas para la desalinización y remoción de compuestos tóxicos; nanomagnetos para la remoción de compuestos radioactivos
2	Transplante y reparación de órganos y tejidos. Nanomateriales para vendas de transplante y reparación de órganos y tejidos; sangre artificial; prótesis incluyendo recursos visuales y auditivos
3	Diagnóstico y control de enfermedades. Laboratorio-sobre-chip; puntos cuánticos para la biodetección y bioanálisis; pruebas y secuenciamiento de ADN para propósitos humanos, veterinarios y agricultura; artefactos para la detección de patógenos; amplificador de imágenes médicas; y etiquetas moleculares ópticas y magnéticas
4	Incremento de la eficiencia de equipos eléctricos, químicos y mecánicos. Fullerenos como lubricantes; máquinas, artefactos y manufactura molecular; nanomateriales para el aislamiento térmico y eléctrico y la reducción de la fricción y el desgaste; y la ingeniería molecular de materiales
5	Almacenamiento, producción y conversión de energía. Celdas solares y de combustible; almacenamiento y conversión de hidrógeno; membranas húmedas auto-reparables para almacenamiento de energía; y aplicaciones y artefactos fotónicos.
6	Mejoramiento del aire. Artefactos para la separación de gases; nanorevestimientos para la fotocatalisis de contaminantes aéreos y para la reducción de emisiones de combustibles fósiles; y nanosensores para materiales tóxicos y fugas
7	Almacenamiento y procesamiento de datos. Nanotubos de carbón para transistores de un electrón; memoria, almacenamiento y procesamiento de ADN y óptica; pozos y puntos cuánticos; espintrónica; transistores con nanocables
8	Transmisión de datos. Nanocables, y monocapas autoensambladas
9	Mejoramiento de la agricultura. nanocápsulas para la propagación de herbicidas; sistemas de liberación de agua y nutrientes lentos; nanosensores de calidad de suelos; nanosensores para salud vegetal; fertilizantes biodegradables, y nanomagnetos para descontaminación de suelos
10	Sistemas de transporte de drogas. Nanocápsulas; liposomas; dendrímeros; "buckyballs" para entrega de drogas y vacunas; y sistemas de entrega de drogas lentos y sostenibles

El riesgo en nanotecnología

Al mismo tiempo que se han señalado las oportunidades actuales y futuras de las tecnologías convergentes, y en particular de la nanotecnología, se alerta también de sus impactos negativos, en particular su desarrollo como una forma de manipulación de las economías y sociedades que se encuentren en desventaja al no tenerlas desarrolladas, ampliando de esta manera mucho más la brecha de pobreza y desigualdad entre países [Goncalves, 2006].

Un estudio del grupo ETC [ETC, 2003] anota que las relaciones económicas y sociales entre los países del norte y del sur pueden verse afectadas aún más, por ejemplo con la introducción de nuevos materiales basados en textiles mejores que el algodón, lo que afectaría la producción de un número muy grande de países. Es conveniente señalar acá que a pesar de las alertas existentes, los enfoques de gobernabilidad del riesgo específicos a la nanotecnología parecen estarse quedando atrás y hay una percepción que la velocidad actual y el alcance de la I+D excede la capacidad de los reguladores de evaluar el impacto humano y ambiental. [Vessuri y Sánchez, 2007]

Sobre la base de diferentes estudios, Rejeski [2005] ha resumido los riesgos potenciales de la nanotecnología de la siguiente manera:

- Una vez que los nanomateriales construidos muestran comportamientos que dependen de su estructura física y química, los paradigmas de evaluación del riesgo que han sido desarrollados sobre la base de química global tradicional pueden no ser más válidos.

- La respuesta sobre la inhalación de partículas insolubles, nano-estructuradas, en los pulmones no es conocida. En general, no existe información disponible sobre el comportamiento de materiales nano-estructurados en el cuerpo.
- Partículas de diámetro nanométrico pueden ser eliminadas de los pulmones a través de rutas no convencionales y afectar otras partes del cuerpo, incluyendo el sistema cardiovascular, el hígado, los riñones, y el cerebro. No se conoce casi nada sobre el impacto de nanomateriales estructurados sobre estos órganos.
- Las partículas de diámetro nanométrico pueden ser capaces de penetrar la piel en algunos casos, aunque esta es aún un área de investigación básica y las posibilidades de penetración son aparentemente mayores para la piel dañada. El potencial efecto que representan las partículas nanoestructuradas en cosméticos y otros productos de la piel puede no ser dañino, pero esto requiere de mayor estudio.
- Casi nada se conoce sobre el peligro de la ingesta vía aditivos alimentarios o por accidente de nanomateriales estructurados.
- Aunque una comprensión del impacto de nanomateriales estructurados y productos de origen nano de su lanzamiento en el medio ambiente o el agua es considerada crítica, virtualmente nada se conoce hasta el momento.

Considerando esta situación, varios países y grupos de países están iniciando tareas de dialogo y definición de normas de control, monitoreo y regulación. Sin embargo, los recursos asignados a las tareas de investigación de los riesgos son aun escasos frente a aquellos destinados a la investigación.

El "South Centre" [ETC, 2005], ha llamado la atención a la imposibilidad de evaluar las oportunidades y desafíos potenciales que la nanotecnología presenta a los países en desarrollo, sin examinar el contexto más amplio de la transferencia de tecnología y de la propiedad intelectual.

La cuestión del control y propiedad de la nanotecnología es vital para los países en desarrollo una vez que, una singular innovación en la escala nanométrica (materiales, artefactos y procesos) puede ser relevante para un sinnúmero de aplicaciones a través de todos los sectores industriales. Se señala que "las empresas que poseen patentes pioneras pueden potencialmente voltear industrias enteras". La ingeniería en escala nanométrica provee nuevas oportunidades para el control monopólico de materia animada e inerte, y de esta manera la propiedad intelectual jugará un papel clave en decidir quién puede capturar el mercado del billón de dólares previsto para los próximos diez a quince años, quien ganará acceso a las tecnologías en la nano escala, y a qué precio, es decir "las patentes pondrán una sombra más grande sobre la nanotecnología que sobre cualquier otra ciencia moderna en un estado comparable de desarrollo".

Plataformas para involucrar a grupos de interés

Los métodos para involucrar a empresarios y responsables de políticas en debates anticipatorios acerca de las tecnologías transformativas, no están bien desarrollados. Hay, sin embargo, estudios como los que adelanta el International Risk Governance Council, IRGC (*Renn y Roco, 2006*) que muestran oportunidades para estimular la innovación participativa en esta área, y generar mejores plataformas para involucrar a grupos de interés. Se sugiere que todo conflicto puede ser manejado, involucrando a grupos de interés cuando se distribuyen los diferentes riesgos bajo cuatro categorías tal como señalan los **cuadros 2, 3, 4 y 5** a continuación.

Cuadro 2. Problemas de riesgos simples

Caracterización del conocimiento	Estrategia de gestión	Instrumentos apropiados	Participación de grupos de interés
Problemas de riesgos simples <i>Marco: Materiales naturalmente nanoestructurados, donde la composición química determina las propiedades</i>	<i>Basada en la rutina: (juicio de tolerancia/ aceptabilidad)</i>	Aplicación de la toma de decisión 'tradicional' <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de riesgo-beneficio • Trade-offs riesgo-riesgo • Ensayo y error • Estándares técnicos Incentivos económicos • Educación, etiquetado, información • Acuerdos voluntario 	Discurso instrumental

Cuadro 3. Problemas de riesgos complejos asociados con componentes

Caracterización del conocimiento	Estrategia de gestión	Instrumentos apropiados	Participación de grupos de interés
Problemas de riesgo inducidos por la complejidad de los componentes <i>Marco: Nanoestructuras pasivas con nuevas propiedades y funciones para la misma composición química: 1ra generación de nanoproductos.</i>	<i>Informada en cuanto al riesgo (agente de riesgo y cadena causal)</i>	Caracterización de la evidencia disponible <ul style="list-style-type: none"> • Consenso experto en la búsqueda de instrumentos: • Delphi o conferencia de consenso • Meta-análisis • Construcción de escenarios, etc. • Resultados alimentados en operaciones rutinarias. 	Discurso epistemológico
	<i>Enfocada en la robustez: (sistema que absorbe el riesgo)</i>	Mejoramiento de la capacidad de amortiguamiento de la meta de riesgo a través de: <ul style="list-style-type: none"> • Mecanismos adicionales de seguridad • Redundancia y diversidad en el diseño de mecanismos de seguridad • Mejora en la capacidad de manejo • Establecimiento de organizaciones de alta confiabilidad 	

La situación de la nanotecnología en los países Andinos

Las aplicaciones de la tecnología y el control de riesgos no podrán avanzar sin que exista una cierta capacidad instalada de investigación e innovación, y dentro de un marco apropiado de políticas públicas.

Durante varias décadas, los países de América Latina han estado desarrollando su institucionalidad, definiendo políticas y planes en CTI y ejecutándolos con diferentes grados de éxito. Las políticas adoptadas permitieron llevar la ciencia y la tecnología a las empresas y crear mayor confianza en las capacidades científicas locales en diferentes áreas productivas. Algunos planes fueron exitosos en la implementación de actividades que integraron los sectores público y privado estableciendo "agendas comunes" en áreas de prioridad.

A pesar de los logros, existen muchas limitaciones aún. Varios estudios han analizado las políticas, estrategias y planes, alcanzando una serie de conclusiones de diferente naturaleza que explican su limitado impacto, la falta de decisiones políticas reales, ausencia de fondos, y de una cultura para la investigación y la innovación, son algunas de ellas. [ver p.e. *Velho, 2004; OEA, 2004; Albornoz, 2002; BID, 2001*].

Cuadro 4. Problemas de riesgo debido a cuestiones irresueltas de elevada incertidumbre

Caracterización del conocimiento	Estrategia de gestión	Instrumentos apropiados	Participación de grupos de interés
Problemas de riesgo inducidos por incertidumbres del sistema <i>Marco: estructuras y nanosistemas activos</i>	<i>Basada en la precaución (agente de riesgo)</i>	Uso de características azarosas como la persistencia, ubicuidad, etc., como aproximaciones en estimaciones de riesgo Los instrumentos incluyen: <ul style="list-style-type: none"> • Contención • Tan bajo como sea razonablemente alcanzable y posible • El mejor control de tecnología disponible, etc • Etc 	Discurso reflexivo
	<i>Enfocada en la resiliencia (sistema que absorbe el riesgo)</i>	Mejora en la capacidad de manejar sorpresas <ul style="list-style-type: none"> • Diversidad de medios para lograr beneficios deseados • Evitar la vulnerabilidad elevada • Permitir respuestas flexibles • Preparación para la adaptación 	

Cuadro 5. Problemas de riesgo relacionados con elevada ambigüedad en la sociedad debido a desarrollos futuros desconocidos y diferencias en juicios de valor

Caracterización del conocimiento	Estrategia de gestión	Instrumentos apropiados	Participación de grupos de interés
Desconocido; problemas de riesgos inducidos por la mayor ambigüedad <i>Marco: grandes nanosistemas y nanosistemas moleculares</i>	<i>Basada en el discurso</i>	Aplicación de métodos de resolución de conflictos para lograr el consenso o la tolerancia a los resultados de la evaluación de riesgo y la selección de opciones de gestión <ul style="list-style-type: none"> • Integración de los grupos de interés en el logro del cierre del debate • Énfasis sobre la comunicación y el discurso social 	Discurso participativo

En un estudio reciente [Gupta y Aguirre, 2006] se identificó, directamente de los actores involucrados en el diseño y la puesta en marcha de las políticas y planes, que para muchos de los gobiernos de la región, la ciencia y la innovación no fueron una prioridad durante la década de los años 90, muchos de ellos estaban más bien embarcados en la aplicación del nuevo paradigma económico de la liberalización de los mercados y la reducción de la intervención estatal. Hoy en 2007, y particularmente en muchos de los países más pequeños, la CTI todavía espera ser considerada como un instrumento de cambio. La falta de decisión política es citada como la causa más común del lento desarrollo de la CTI, aún en la presencia de políticas y planes. Cuando esta decisión ha existido, se tradujo rápidamente en importantes avances de la investigación y de la innovación, mostrando la existencia de una masa crítica que bien utilizada puede producir resultados de impacto.

Otras limitaciones frecuentemente señaladas por los encuestados sobre la aplicación de las políticas y planes, son la ausencia de participación del sector privado en su definición, la visión ofertista que todavía domina muchos planes y que contienen implícitamente un modelo lineal de ciencia e innovación, aunque se reconoce también que ciertos planes han ido transitando hacia una visión de la demanda. También importante es la falta de continuidad, muchos líderes de

opinión sostienen que ésta debería constituir una política de Estado, su ausencia usualmente resulta en cortes presupuestarios, cambios de personal, y de orientación.

Al mismo tiempo, una opinión bastante generalizada es que los planes deberían ser mucho más realistas, más detallados y flexibles. Una característica común es de planes con objetivos interminables, y de proyectos así como de programas que no pueden ser ejecutados en tiempos cortos. Al mismo tiempo, pocos buscan nichos de oportunidad acordes con las capacidades nacionales y al grado de competitividad del país, o al comportamiento de los mercados globales; es importante notar que muchos planes carecen de suficiente detalle para permitir inducir el interés de los productores o usuarios de conocimiento futuro. Un "benchmarking" y la construcción de cartas-de-tendencias son necesarios en la mayoría de casos.

Con referencia específica a la nanotecnología, existen algunos elementos en las políticas de los países Andinos.

En el caso colombiano., en 2004, COLCIENCIAS seleccionó 8 áreas estratégicas para el desarrollo de la productividad y competitividad de la economía colombiana, una de éstas fue la de "Materiales Avanzados y Nanotecnología". En 2005, se estableció el Consejo Nacional de Nanociencia y Nanotecnología, como una agrupación sin ánimo de lucro adscrita a la IEEE de Colombia nanocolombia@ieee.org y al IEEE Nanotechnology Council, orientado a participar conjuntamente con universidades, centros de investigación y desarrollo, la industria y el gobierno en todas aquellas actividades comprometidas con la nanociencia y nanotecnología en el país. Su misión es la de "Promover y generar tareas de formación, divulgación, investigación y desarrollo tecnológico en el área de la nanociencia y nanotecnología, así como abrir espacios de participación mancomunada entre la academia, la industria y el Estado en el ámbito local y regional para hacer viable una apropiación, generación y aplicación del conocimiento en esta línea estratégica para el Siglo XXI". El Consejo se encuentra actualmente comprometido en las siguientes áreas de interés:

- Auto ensamblado, replicación y control nanoescalar
- Cáncer y nanotecnología
- Nanoelectrónica y electrónica molecular.
- Nanofotónica y espintrónica.
- Nanomateriales.
- Nanotecnociencia computacional.
- Computación cuántica y molecular.
- Nanorrobótica.
- Bionanotecnociencia.
- Implicaciones éticas y sociales de la nanotecnociencia.

Más recientemente se ha creado Nanocolombia www.nanocolombia.com como una institución privada cuya misión es promover la inversión en empresas o joint ventures de nanotecnología.

En **Ecuador**, en el mes de noviembre del 2005, la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) a través de la Vicepresidencia de la República, publicó el documento que contiene la Política Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2005-2010. Dentro de los objetivos de la política, uno se refiere al financiamiento de las ciencias básica y las ciencias de materiales, que incluye a la nanotecnología.

En **Perú** el Plan Nacional Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación para la Competitividad y el Desarrollo Humano (PNCTI) 2006-2021, incluye la manipulación y diseño de nanomateriales como un eje temático dentro del Programa de Materiales (PROMAT). [Gutarra, 2007].

Los objetivos de este eje son los de controlar, manipular y diseñar materiales de escala nano con potencial uso en control ambiental, agricultura, medicina, energía, construcción, espintrónica y

otras áreas prioritarias para el país. El impacto esperado en la ejecución de esta componente del Plan es el incremento de la inversión pública y privada en nanomateriales. Las líneas de acción comprenden:

- Desarrollo de nanomateriales metálicos, cerámicos, magnéticos, semiconductores o superconductores
- Crecimiento de monocapas moleculares
- Desarrollo de nanocápsulas y nanoportadores
- Diseño y construcción de transductores de baja dimensión.
- Métodos computacionales para el diseño de nanoestructuras.

En Venezuela, se espera hasta diciembre de 2007, la conclusión de un estudio prospectivo para que el Ministerio de Ciencia y Tecnología defina la política y un plan de desarrollo de la nanotecnología sobre la base de las capacidades instaladas en diferentes instituciones académicas.

En los cuatro países existen capacidades de investigación y producción muy diversas. En Colombia se han identificado 34 grupos, mientras que en Perú apenas 17 investigadores, en Ecuador un grupo de quince y en Venezuela 92. Las empresas que desarrollan o adquieren nanotecnología son todavía embrionarias, aunque algunos grupos de investigación ya han desarrollado prototipos y experiencias de aplicación en diversos sectores económicos y sociales.

Conclusiones

- Existe un importante potencial a ser explorado en el desarrollo de la nanotecnología y de la convergencia que beneficie a las sociedades andinas en todos sus niveles económicos, y por ello es importante considerar la urgencia de avanzar en la investigación y el monitoreo de las mismas, a favor del mejor desempeño humano. Este enfoque es fundamental para transferir la importancia de la máquina al desarrollo del individuo y de esta manera evitar el dominio tecnológico sobre un mundo donde crece la población, se explotan irracionalmente los recursos naturales y existen conflictos sociales.
- Si los países andinos han de tomar ventaja de los avances de las tecnologías convergentes y en particular de la nanotecnología, mediante la generación de conocimiento propio y la adquisición de aquel generado fuera, es necesario que existan políticas que guíen o promuevan la creación de capacidades para su dominio. Tales políticas deben considerar la necesidad de adelantar esfuerzos especiales para romper las barreras entre campos científicos y tecnológicos y para desarrollar nuevos recursos intelectuales y físicos. Particularmente, considerar:
 - La preparación de organizaciones para los cambios que las tecnologías convergentes imponen, lo que requiere establecer metas de largo plazo para remodelarlas y hacerlas más efectivas bajo las nuevas condiciones.
 - La ejecución de actividades que puedan ofrecer a cada individuo y a la sociedad en su conjunto la preservación de valores fundamentales tales como privacidad, seguridad, y responsabilidad moral. La consideración de las implicaciones humanas de las tecnologías convergentes deberá incluir un examen de consecuencias potenciales no esperadas de sus desarrollos, incluyendo cuestiones éticas y legales.
 - El desarrollo de programas de educación interdisciplinaria, especialmente en las escuelas de graduados, para crear una nueva generación de científicos e ingenieros que puedan trabajar a través de campos y colaborar con colegas de

una variedad de especialidades. A este fin, las instituciones educativas en todos los niveles deben realizar profundas reformas curriculares y reformas organizacionales para reestructurar la enseñanza de la ciencia y la ingeniería de tal manera que disciplinas anteriormente separadas puedan converger alrededor de principios comunes para entrenar la fuerza laboral del futuro.

- Los conceptos básicos de nanociencia, biología, información y ciencias cognitivas deben ser introducidos al inicio de la educación de pregrado; los grados técnicos y humanísticos deben tener cursos y actividades comunes relacionadas a NBIC y las dimensiones humanas de la ciencia y la tecnología.
 - El establecimiento de redes de centros de investigación, financiadas por una coalición de agencias gubernamentales y operadas por consorcios de universidades y corporaciones. Ello incluye la creación de facilidades multiuso, investigación multiuso e información, entre ellas, archivos de datos de infraestructura, que emplean tecnología digital avanzada para servir un rango amplio de clientes, incluidas agencias gubernamentales, diseñadores industriales, y laboratorios universitarios.
 - La integración de las ciencias requerirá el establecimiento de una cultura compartida que se extienda a través de campos existentes. Revistas interdisciplinarias, conferencias periódicas nuevas, y asociaciones formales entre organizaciones profesionales deben ser establecidas. Será necesario el desarrollo de un nuevo lenguaje técnico para comunicar los desafíos científicos y de ingeniería sin precedentes basados en las matemáticas de sistemas complejos, la física de estructuras en la nanoescala, y la lógica jerárquica de la inteligencia.
 - El desarrollo de formas de atender las preocupaciones éticas, legales y morales, durante el proceso de investigación, desarrollo, y difusión de tecnologías convergentes. Esto requerirá nuevos mecanismos para asegurar la representación del interés público en todos los proyectos NBIC importantes, incorporar educación ética y de ciencia-social en el entrenamiento de científicos e ingenieros, y asegurar que los decisores de política estén conscientes de las implicaciones científicas y de ingeniería de las cuestiones a las cuales enfrentan.
- Las organizaciones gubernamentales deben proveer liderazgo para coordinar el trabajo de otras instituciones y deben acelerar la convergencia apoyando nuevos esfuerzos científicos multidisciplinarios al mismo tiempo que mantienen las disciplinas tradicionales que son clave para el éxito.
 - La comunidad científica debe crear nuevas formas de entrenamiento interdisciplinario y comunicación, reducir las barreras que inhiben a los individuos de trabajar a lo largo de las disciplinas, resaltar agresivamente las oportunidades de convergencia en sus conferencias, desarrollar lazos a una variedad de otras organizaciones técnicas, y tratar cuestiones éticas relacionadas a desarrollos tecnológicos. A través de mecanismos como conferencias y publicaciones, las sociedades profesionales pueden plantar semillas de NBIC en organizaciones de aprendizaje, agencias de financiamiento y la sociedad en su conjunto.
 - Las organizaciones no gubernamentales que representan grupos de usuarios potenciales deben contribuir al diseño y prueba de tecnologías convergentes y recomendar prioridades de NBIC, para maximizar los beneficios para sus diversos asociados. Fundaciones privadas de investigación deben invertir en investigación en NBIC en aquellas áreas que son consistentes con su misión particular. Los medios

públicos deben aumentar su cobertura de alta calidad de la ciencia y la tecnología, sobre la base del nuevo paradigma de convergencia, para informar a los ciudadanos para que puedan participar sabiamente en debates sobre cuestiones éticas tales como los efectos no esperados sobre igualdad social, políticas referidas a la diversidad, y las implicaciones para transformar la naturaleza humana.

- Para optimizar sus esfuerzos de mejorar la gobernabilidad y definición de políticas para enfrentar el "desafío de la convergencia" es necesario que los gobiernos, la academia, y el sector productivo cuenten con la existencia de una organización que pueda monitorear los avances y al mismo tiempo divulgarlos a un público menos especializado. Esfuerzos de difusión deben ser alentados en los países andinos.
- El avance de la ciencia, la tecnología y la innovación es una condición necesaria pero no suficiente para el desarrollo, los mecanismos de gobernabilidad establecidos para manejar políticas del Siglo XX deben también cambiar. Un esfuerzo institucional y organizacional significativo es necesario para tener un eficiente sistema de CTI. La institucionalización debe tener lugar en los más altos niveles políticos, de tal manera que efectivamente pueda manejar recursos, definir direcciones y proveer continuidad. No solamente esfuerzos institucionales son necesarios sino políticas que se dirijan al cambio también, particularmente aquellas que no solo vean el plano nacional, sino de manera prioritaria al sistema mundial y tomar conocimiento de él, mientras se contribuye a su desarrollo.
- No hay regulación de la actividad de investigación más allá de la relacionada con la evaluación de las propuestas de investigación. Los investigadores debieran ejercitar su responsabilidad personal hacia cuestiones de salud humana y seguridad ambiental.
- La auto-regulación puede ser insuficiente para la gobernabilidad de la nanotecnología, particularmente habida cuenta de la disminución de la credibilidad de científicos e ingenieros que con frecuencia sacan ventaja económica de sus innovaciones a través de asociaciones pública - privada. De allí la importancia de las políticas públicas en la regulación del sector.
- Las capacidades nacionales de evaluación de riesgos de la nanotecnología y de atención de posibles emergencias son precarias, y en esa dirección seguramente debería ir una parte importante de los esfuerzos de promoción de las entidades gubernamentales.
- Algunas organizaciones, en particular ONG han señalado la necesidad de aplicar el principio precaucionario a la nanotecnología. El desafío más importante es encontrar el equilibrio entre el principio precaucionario aplicado por la evaluación sistémica de los riesgos de largo plazo, y una aproximación ética de verdaderos beneficios de corto plazo [Roure, 2006].
- Si los países andinos han de aplicar el principio precautorio, deben considerar que éste requiere que los gobiernos tengan a su disposición recursos humanos y una infraestructura eficiente de investigación y de pruebas. La introducción del principio precautorio en la política es importante precisamente para decidir sobre la construcción de capacidades para su implementación. Cuando los ciudadanos y actores del desarrollo sientan que los gobiernos tienen tales capacidades, tendrán una mayor confianza en la información que reciben sobre las oportunidades, potenciales y riesgos de la nanotecnología. Tal confianza debe también ser construida alrededor del sistema de regulación.
- Si bien existe un monitoreo y seguimiento continuo de los tópicos NBIC en la mayoría de las comunidades científicas andinas, no se han detectado trabajos orientados hacia la

evaluación, alerta o formación de opinión en los decisores o menos aún dirigidos hacia la ciudadanía.

- En los países andinos no existe una estructura oficial en el aparato del Estado que defina políticas o acciones de regulación y control relacionadas con las NBIC. Los roles potenciales de los gobiernos en materia de políticas son:
 - Apoyar la I+D en temas ambientales, de salud y seguridad, la educación, cuestiones sociales, políticas éticas y legales, de desarrollo humano en el más largo plazo e integrar los resultados en la planificación de grandes proyectos de I+D y de inversiones en nanotecnología.
 - Preparar e implementar un nuevo enfoque de gobernabilidad del riesgo basado en correcciones adaptativas en el nivel del sistema societal. En el corto plazo y cuando sea adecuado, adaptar la legislación existente al desarrollo de la nanotecnología.
 - Construir capacidades para enfrentar accidentes y otras situaciones inesperadas.
 - Proporcionar incentivos para disminuir los riesgos; por ejemplo, desarrollar aplicaciones de nanotecnología que reemplacen materiales contaminantes con sustitutos verdes.
 - Preparar planes de largo plazo y escenarios para el desarrollo de la nanotecnología, y medidas anticipatorias de gobernabilidad del riesgo sobre esta base. Evaluar la relación entre regulaciones e innovación.
 - Apoyar estudios sobre las implicaciones de la nanotecnología sobre la legislación nacional existente, los códigos profesionales, la nomenclatura y estándares, los derechos humanos y los acuerdos internacionales. Apoyar el uso de la metrología en las decisiones de gobernabilidad del riesgo.
 - Encarar el acceso igualitario a los beneficios de la nanotecnología y las cuestiones de equidad en la sociedad.
 - Preparar estudios longitudinales sobre percepción pública.
 - Desarrollar una estrategia de comunicación para mantener a la industria, usuarios finales y organizaciones civiles informadas acerca de desarrollos representativos y aspectos EHS de la nueva tecnología. Considerar establecer un rol de *clearing-house information* para las organizaciones gubernamentales.
 - Adoptar procesos de monitoreo y control transparentes con insumo público.
 - Estimular las colaboraciones internacionales en la gobernabilidad del riesgo.

Referencias

- Aguirre, B.C., Mercado, A., Aguirre, A.J.L., Paredes, C.C., Portugal, R., Aguilar, J. (2007) Tecnologías Convergentes en Bolivia: Estudio Nacional. Informe preparado para el Proyecto "Tecnologías Convergentes en los Países Andinos. La Paz, abril.
- Albornoz, M. (2002). Situación de la Ciencia y la Tecnología en las Américas. Centro Redes, Buenos Aires, Noviembre.
- CFC (2005). Overview of the Situation of Commodities in Developing Countries. Common Fund for Commodities (CFC). 11ma. Reunión de Seguimiento y Coordinación del Comité sobre Cooperación entre Países en Desarrollo. Grupo de los 77. La Habana, Marzo.
- ETC (2005). The Potential Impacts of nano-Scale Technologies on Commodity Markets: The Implications of Commodity Dependent Developing Countries. Paper prepared by ETC Group for the South Centre, November.

- Forero Pineda C., y Gómez Baquero, F. (2007). El Desarrollo de las Tecnologías Convergentes Alrededor de la Escala Nano en Colombia. Informe preparado para el Proyecto "Tecnologías Convergentes en los Países Andinos". Bogotá, abril.
- Goncalves F.E.W. (2006). Estudio Exploratorio cerca de los Recursos Existentes en las Tecnologías Convergentes en Venezuela, Caso Nanotecnología, período 1990 – 2005. **Tesis de Maestría**. IVIC, Caracas, Julio.
- Gupta, M. y Aguirre B.C. (2006). Policy Making in Science, Technology and Innovation in Latinamerica and the Caribbean. Informe preparado para el Proyecto sobre Tecnologías Convergentes en los Países Andinos. Panama, November.
- Gutarra, E.A. (2007). Panorama y perspectivas de la micro y nanotecnología en el Perú. Presentación al Encuentro Nano MERCOSUR. Buenos Aires, agosto.
- Meridian (2006). Overview and Comparison of Conventional Treatment Technologies and Water Nano-based Treatment Technologies. Meridian Institute, Washington - Chennai, October.
- Meridian (2007). Final Report on the Workshop on Nanotechnology and Commodities. Rio de Janeiro. Meridian Institute, Washington DC. April.
- Rejeski, D. (2005). Testimony on "Environmental and Safety Impacts of Nanotechnology: What Research is Needed?" to the Committee on Science of the US House of Representatives, Washington DC, November 17.
- Renn, O. y Roco, M. (2006). Nanotechnology Risk Governance, White Paper No. 2. International Risk Governance Council, Geneva.
- Roco, M.C. and Bainbridge, W.S. eds. (2001) *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*, Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 3-4.
- Roco, M.C. and Bainbridge W. S. (2002) Overview of the Report NSF/DOC (M.C. Roco and W.S. Bainbridge, editors): *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*. NSF, Arlington, Virginia, June.
- Vega-Centeno, M., Morales, R. y Roselli, R. (2007). Tecnologías Convergentes en Perú. Informe preparado para el Proyecto "Tecnologías Convergentes en los Países Andinos". Lima, marzo.
- Velho, L. (2004). Science and Technology in Latin America and the Caribbean: An Overview. INTECH/UNU/Discussion paper # 2004.4. Maastricht, February.
- Vessuri, H. y Sánchez, I. (2007). Tecnologías Convergentes en Venezuela. Informe preparado para el Proyecto "Tecnologías Convergentes en los Países Andinos". Caracas, marzo.