



Razón y Palabra

Primera revista digital en América
Latina especializada en tópicos de
Comunicación

ISSN 1605-4806

DESARROLLO ECONÓMICO Y NANOTECNOLOGÍA. ANÁLISIS Y PERSPECTIVAS
PARA LA ECONOMÍA MEXICANA

*Javier Palacios Neri*¹

Presentación

Dos hechos aislados motivan las presentes notas. Por un lado, en fecha reciente tuvo lugar la primera reunión de académicos de la Universidad Autónoma Metropolitana interesados en la nanotecnología o, de manera más genérica, las nanociencias, para abarcar un espectro más amplio de actividades relacionadas con esta rama del conocimiento humano.² Por otro, desde el año anterior se suscitó el interés entre un grupo de especialistas, académicos, científicos y sociedad civil, la creación de una agencia espacial mexicana con atribuciones para realizar los estudios, análisis y propuestas necesarias para iniciar las actividades de nuestro país en los misterios atractivos del espacio. Ambas parecieran desvinculadas. Por el contrario. La segunda ofrece gran diversidad de actividades relacionadas con el avance y desarrollo de las nanociencias por ejemplo, observar el comportamiento de diversos proyectos nanotecnológicos en un ambiente con gravedad nula. Si bien las condiciones pueden reproducirse en laboratorios, las conclusiones serán más prometedoras cuando se desarrollan en ambientes específicos.

¹ Profesor Titular de Teoría Económica. Departamento de Producción Económica, División de Ciencias Sociales y Humanidades. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. Las opiniones son personales y nada tienen que ver con las instituciones con las que el autor está relacionado de una manera u otra. panj4441@correo.xoc.uam.mx

² En el tiempo de redacción del presente documento, se realizó el segundo de los foros sobre nanotecnología convocado por un grupo de entusiastas académicos.

Las nanociencias son de reciente introducción al pensamiento humano, aunque sus orígenes hablan de mayor tiempo.³ Se refiere al estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales para el control de la materia y la explotación de sus propiedades a nanoescala. En realidad más que el concepto, el interés es sobre lo que representa como beneficios para la economía mexicana, es decir; cuál es su apoyo potencial para crear nuevas estructuras y productos que impacten a la industria, la medicina y al desarrollo económico en general. El camino para evaluar el impacto en la sociedad mexicana es arduo y difícil de seguir. En particular porque el seguimiento de una tecnología en particular atraviesa por distintos avatares. En ocasiones el camino es tortuoso por la dificultad por comprobar si la tecnología es rentable para impulsar su estímulo en virtud de sus beneficios para la creación de empleos duraderos, permanentes y remunerados, una de las formas de expresión que adquiere el desarrollo económico.

La nanotecnología exige de elevada especialización. En este sentido, la formación de científicos es costosa y en los países en desarrollo la preparación de éstos se desvirtúa al final pues muchos recursos humanos formados en el extranjero prefieren quedarse en los países donde se preparan antes que regresar a sus países de origen y carecer de incentivos para el desempeño de su actividad. Existen políticas específicas para la repatriación de cerebros pero resulta costoso para el país que la lleva a cabo y la competencia es inmensa. Sin embargo, algo debe hacerse. Por ejemplo, el seguimiento de los efectos más notorios en la sociedad, por ejemplo; la creación de un nanorobot para el combate a los tumores malignos alojados en el cuerpo humano. ¿Hasta aquí termina el impacto de la nanotecnología en la sociedad? ¿Existen otras áreas donde se continúa una investigación aplicada de tal tipo? ¿Sólo la medicina es la receptora de tales beneficios o existen áreas colaterales que también reciben los beneficios?

La globalización como una de las fases superiores del capitalismo actual se inserta en la sociedad del conocimiento. Bajo ésta, algunos avances notorios, los nuevos inventos

³ Richard Feynman Premio Nóbel de Física, se considera como el padre de la nanotecnología. En 1959 sugirió la fabricación de productos en base al reordenamiento de átomos y moléculas.

y descubrimientos mostrarán un crecimiento exponencial. La biotecnología, nanotecnología, infotecnología serán algunos de los actores protagónicos de tales cambios. Motivarán sin duda, la nueva revolución industrial que tendrá resultados inusitados y cambiarán las formas de actuación de las fuerzas productivas y por supuesto, las propias relaciones de producción. Las formas de apropiación continuarán iguales.

Las diez tecnologías que cambiaron al mundo

1. Redes de nanosensores (Wireless Sensor Networks)
2. Ingeniería inyectable de tejido (Injectable Tissue Engineering)
3. Nanocélulas solares (Nano Solar Cells)
4. Mecatrónica (Mechatronics)
5. Sistemas informáticos Gris (Grid Computing)
6. Imágenes moleculares (Molecular Imaging)
7. Litografía Nano Impresión (NanoImprint Lithography)
8. Software confiable (Software Assurance)
9. Glucomicas (Glycomics)
10. Criptografía Quantum (Quantum Cryptography)

Fuente: M. I. T.

Por otra parte, se considera que el desarrollo económico es un complejo proceso en el que intervienen un sinnúmero de variables. Celso Furtado, Sunkel y Paz señalaron en su momento, que el subdesarrollo en América Latina es consecuencia del proceso histórico de la industrialización europea y más tarde, de Estados Unidos.⁴ El subdesarrollo y el desarrollo son en nuestra visión, la dos caras de la misma moneda: dos facetas de un único proceso de expansión del capitalismo industrial que inició en el siglo XIX. El proceso involucra la creación y difusión de la tecnología moderna y la definición de la nueva división internacional del trabajo. Subdesarrollo y desarrollo evolución de forma simultánea: estuvieron, están y estarán vinculados a nivel funcional, se vinculan de manera mutua y se condicionan entre sí, en tanto se modifique la

⁴ Furtado, Celso (1961). *Desarrollo y Subdesarrollo*, Editorial Universitaria, Buenos Aires.
Osvaldo Sunkel y Pedro Paz (1970). *El subdesarrollo latinoamericano y la teoría del desarrollo*. Edit. Siglo XXI Editores, México.

correlación de fuerzas que los generan. Existe, sin embargo, una característica que distingue ambas estructuras: en virtud a la capacidad endógena de crecimiento del desarrollo se convierte en dominante; el subdesarrollo por su parte, gracias a su incapacidad de crecimiento se torna una disposición pasiva, dependiente y dominada.⁵

Enfoques posibles para el estudio de la nanotecnología

Uno de los propósitos que persigue el presente documento es aportar ideas teóricas sobre los impactos que la evolución de la nanociencia produce y repercutirán en la economía mexicana. Existen diversos cuerpos teóricos que ofrecen elementos para tal interpretación. La teoría económica neoclásica en su caso, contiene una estructura orientada a la asignación de los recursos. En este sentido, sus aportaciones son interesantes aun cuando se cuestione su coherencia teórica interna. Pero este es un aspecto que está más allá del alcance del documento. Habrá que destacar no obstante, que su tratamiento sobre la tecnología es reducido y de suyo, limitado con relación a sus alcances teóricos para ofrecer una explicación plausible sobre el mundo real. Desde sus orígenes la considera componente exógeno aunque como tal, afecta de modo diferente a las condiciones que conducen al equilibrio económico que postula. Bajo el enfoque neoclásico es el mercado quien asigna los recursos para la producción de bienes y tecnología. De acuerdo con esta orientación, el mercado es el responsable de provocar la eficiencia económica. Los teóricos neoclásicos tienen una excusa cuando la asignación es ineficiente: aceptan la existencia de fallas de mercado que limitan el desarrollo y las prácticas productivas más eficientes. A pesar de que se someten a la intervención del Estado para solucionar dichas fallas, muestran susceptibilidad ante su participación.

⁵ Este foro es ajeno a la discusión sobre las contradicciones del subdesarrollo y el desarrollo. Se deja para otra agenda de investigación.

Aunque existen corrientes al interior de la misma que asignan un papel restringido a la intervención estatal. Pero las fallas de mercado que imposibilitan el desarrollo tecnológico son las asociadas a las externalidades positivas y negativas, los bienes públicos y la información imperfecta. En este sentido, el desarrollo de la tecnología transforma productos, procesos y las organizaciones productivas y sus impactos tienen beneficios positivos o perjudiciales para los agentes productivos. Los efectos están alejados de los precios de mercado y no participan en la asignación de recursos o la evaluación de resultados. En determinados casos, los cambios tecnológicos toman su tiempo para ser identificados por los individuos y el sistema de precios es incapaz de transmitir información sobre los mismos. Cuando la imitación de la innovación marcha a tasas elevadas, es decir; se difunde con mayor rapidez entre los agentes productivos, es imposible que el mercado asigne los beneficios a sus creadores. De esta manera, el propio mercado se convierte en un agente desestimulador del esfuerzo innovador. Los resultados son la posible formación de agentes económicos que realizan prácticas monopólicas y por tanto, ganancias extraordinarias y se reducen las posibilidades de prácticas eficientes.

Cuando el mercado impide la asignación de recursos para el desarrollo tecnológico, la participación de Estado se ve como la alternativa más idónea pues toda su maquinaria promueve sus actividades de innovación y las normas e instituciones necesarias que conduzcan a su creación.

Por su parte, el pensamiento económico evolutivo considera a la innovación como el factor dinámico imprescindible del desarrollo económico y está determinado de forma endógena por agentes productivos. Éstos son heterogéneos y su desempeño está en función del aprendizaje que de manera general, carece de formas homogéneas de aprendizaje. Este cuerpo teórico considera como uno de sus supuestos la difusión de la información la cual es imperfecta y costosa además de requerir períodos extensos para su adquisición y por supuesto, su hegemonía. Analizan con mayor profundidad las propiedades dinámicas del desarrollo tecnológico y evalúan las consecuencias del mismo a nivel económico, político y social.

Consideran que el desarrollo tecnológico es un proceso producido en contextos particulares, asociado a determinado tipo de revoluciones técnicas y científicas. El cuerpo teórico evolutivo interpreta al proceso del cambio tecnológico y las actividades de innovación distinto de las fuerzas que determinan el equilibrio tal como lo postula la teoría neoclásica. Al contrario, es la consecuencia de la dinámica en desequilibrio permanente. Sus modelos de interpretación sobre la innovación y la tecnología parten del análisis de los casos históricos y concretos de la innovación y el desarrollo tecnológico en un contexto sistémico, es decir; que involucra a la sociedad en su conjunto. Sólo así se gana en generalidad porque incorporan aspectos que otros modelos deciden relegar.

La economía institucional es otro esquema teórico con una interpretación particular del desarrollo tecnológico. Al incorporar a las instituciones como la norma que regula las conductas de los agentes, los propios mercados se convierten en verdaderas instituciones que operan con base a normas y reglas que definen y permiten su desarrollo. Bajo este enfoque las consecuencias son distintas a los anteriores: el cambio tecnológico altera la conducta económica, las relaciones de poder al nivel de la esfera política y los valores de la sociedad. La acción del gobierno exige de criterios sistémicos para la planeación general de los procesos tecnológicos a desarrollar. Un plan de esta naturaleza requiere definición de metas, prioridades y procedimientos para su instrumentación y evaluación posterior. De esta manera, el sistema productivo y el tecnológico se estudia como un todo integrado sin dejar de lado aspectos normativos.

Es posible que la política tecnológica del país vaya más allá del enfoque de las fallas de mercado. La política tecnológica debe procurar la gestación de la tecnología y la existencia de factores productivos una vez que sus promotores han identificado como sistémico el carácter de la misma y verificado la disponibilidad de sistemas productivos e innovadores de calidad. Este enfoque supone la desigualdad en los agentes productivos, reconoce el carácter dinámico y acumulativo de la tecnología. Por tanto, las recomendaciones para avanzar hacia un sistema de innovación tecnológica eficiente

es menester que las políticas e instituciones distingan las características de los agentes y ofrezca políticas tecnológicas de largo plazo adaptables a los distintos contextos en donde se desarrollan las fuerzas productivas. Estas políticas deben incorporar aspectos además de los económicos, los culturales, históricos, geográficos, ambientales, de biodiversidad y ecológicos, entre otros.

Ciencia y transferencia de tecnología

La ciencia, transferencia de tecnología, la inversión en innovación y tecnología, las políticas económicas orientadas hacia la creación de procesos tecnológicos son variables determinantes en el desarrollo de las naciones. Los teóricos del crecimiento económico han privilegiado el carácter de la tecnología en el avance de las naciones. Sin embargo, existen diferencias abismales entre ellas. Los procesos tecnológicos son una muestra evidente de cómo la brecha se ensancha cada día más. Y se profundiza, sin remedio alguno. Algunos políticos ofrecen en sus discursos de campaña promesas para adoptar tecnologías que una vez incorporadas en las ramas más dinámicas de la economía, producirán el despegue tan ansiado. Otros reconocen, aceptan y proponen la asignación de montos superiores de recursos financieros para promover las actividades de investigación y desarrollo en los distintos campos de las ciencias. Al final del día, los recursos asignados a la ciencia y la tecnología son un porcentaje reducido y muchas veces disminuido, del producto interno bruto, tal como se muestra en el cuadro siguiente. En toda la historia moderna del país, este ramo importante del presupuesto federal, jamás se ha acercado a representar el uno por ciento como proporción de ese indicador macro. Sin duda, es necesario modificar las raíces estructurales de la ciencia y la tecnología para dedicar recursos importantes y transformar su círculo vicioso en una órbita de virtuosismo científico, tecnológico, social, académico, económico y con un horizonte ilimitado.

Gasto Federal en Ciencia y Tecnología (Millones de pesos)

Año	Gasto		PIB		Gasto /PIB
	Corrientes	Precios 2006	Corrientes	Precios 2006	
1997	13,380	29,002	3,179,120	6,891,033	0,42
1998	17,789	33,398	3,848,218	7,224,834	0,46
1999	18,788	30,656	4,600,488	7,506,535	0,41
2000	22,923	33,346	5,497,736	7,997,618	0,42
2001	23,993	32,962	5,811,776	7,984,182	0,41
2002	24,364	31,305	6,267,474	8,052,928	0,39
2003	29,309	34,687	6,895,357	8,160,522	0,43
2004	27,952	30,815	7,713,796	8,503,992	0,36
2005	31,339	32,747	8,366,205	8,742,101	0,37
2006	32,791	32,791	9,155,490	9,155,490	0,36

Fuente: Cuenta de la Hacienda Pública Federal, SHCP, 1997 – 2006, Sistema de Cuentas Nacionales de México, INEGI.

De igual forma, alrededor del mundo diversas economías redefinen sus modelos de tecnología para incorporar proyectos basados esta relativa nueva actividad científica. Los eventos se suceden por todas las ciudades europeas, por ejemplo. Las universidades con mayor prestigio orientan cantidades importantes de presupuesto para los nuevos desarrollos producidos en diversos centros de investigación. Éstas se distribuyen en las ramas de la ciencia más diversas: la química y los nuevos materiales, la salud, la biología y biotecnología ahora nanobiología, las nanoherramientas y la metrología, también las nuevas tecnologías de la información y comunicación, los transportes y las ciencias del espacio, el sector energético, la seguridad nacional y el medio ambiente, el sector de la construcción, la economía y los sectores estratégicos, la agricultura y los alimentos, la cultura del riesgo y las ciencias en general. El siguiente cuadro es muestra de lo que se afirma al menos por lo que hace en gasto en investigación y desarrollo experimental. Se desconoce si hubo recursos etiquetados para el desarrollo de las nanociencias.

Gasto en inversión y desarrollo experimental por país (Millones de PPP corrientes)

País	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Alemania	42,606	44,478	48,017	51,572	53,397	55,674	60,241	61,464	62,493
Argentina	1,794	1,847	1,995	1,958	1,868	1,627	1,878	2,235	2,573
Brasil	-	-	-	12,770	13,806	13,616	13,564	13,775	-
Canadá	12,139	13,551	14,811	16,734	19,029	19,154	19,567	20,878	21,777
Corea	16,637	14,789	15,793	18,386	21,156	22,247	24,344	28,363	31,949
Chile	625	662	677	748	792	1,067	1,117	1239	-
EU	212,709	228,109	245,476	267,768	278,230	277,055	289,722	301,016	324,465

España	5,531	6,432	6,815	7,704	8,230	9,684	10,969	11,828	13,264
Francia	29,786	30,559	31,823	33,819	36,623	38,360	37,182	38,721	40,392
Italia	13,371	14,297	14,241	15,420	16,609	17,699	17,372	17,726	-
Japón	87,785	91,062	92,774	98,783	104,025	108,248	113,259	118,577	130,745
México	2,516	2,927	3,505	3,348	3,620	4,014	4,419	4,688	5,094
R U	23,508	24,435	26,288	28,007	29,374	31,517	31,885	32,596	35,171
Suecia	7,141	-	8,115	-	10,436	-	10,501	10,364	11,287

Fuente: Main Science and Technology Indicators 2007, OECD. Los cálculos para México fueron elaborados por CONACYT.
 PPP: Purchasing Power Parity, Poder de paridad de compra.

Enumerarlas requiere de otra agenda de investigación. Pero diversos especialistas coinciden en que las nanociencias sorprenderán al mundo con una nueva revolución tecnológica en los próximos años. Aunque es posible que el futuro se encuentre ya, entre nosotros. En las fechas cuando se redactaba este documento la prensa mundial informaba de un *nano robot* creado en Australia para aplicaciones en medicina. Sin duda, el uso y aplicación de tal herramienta será un parteaguas en la historia de la medicina actual.

Se dice que la computación *quantum* está llamada a revolucionar el modo actual con el cual se procesa y comunica la información en este siglo. Hoy por hoy las computadoras han modificado los modos de la comunicación, los procesos de la información y la forma para hacer negocios, entre otras transformaciones de singular importancia. Existe una tendencia acelerada hacia la rapidez y disminución de los procesadores que permiten y facilitan la solución a diversos problemas científicos y ofrecen mayor amplitud de comunicación y alimenta a una industria de gran valor. Las computadoras basadas en la tecnología *quantum* ofrecen un completo paradigma de reciente cuño en computación y si bien no estarán disponibles de inmediato, se espera que las primeras computadoras *quantum* estén listas en la presente centuria. La seguridad nacional también se favorece con las nanociencias. Existen dispositivos y aplicaciones para la detección, protección e identificación personal. La seguridad nacional y la personal son un tema importante que enfrenta la actual sociedad global. La detección aborda aspectos relacionados con tecnologías de imagen, sensores y redes de sensores para la detección de bacterias patógenas y químicas; la protección personal que involucra los equipos de descontaminación y sus filtros. A su vez, la identificación incluye las técnicas contra la falsificación de documentos, posesiones e identidades y

autenticación —o su traducción literal por los usuarios de la informática, *autenticación*—, las aplicaciones en ciencias forenses, la criptografía *quantum*, el mercado de la falsificación y los bienes llamados *grises*.

El impacto en la sociedad, que incluye la regulación vigente y los marcos éticos, su repercusión potencial sobre los derechos éticos y humanos y la percepción pública. Los anteriores son ejemplos de cómo las nanociencias producen efectos sobresalientes sobre el comportamiento de las sociedades y en particular, de los individuos o consumidores. Sin duda, el espectro de impactos es cada día más amplio y creciente. Los alcances de esta novedosa rama de la ciencia, crece en proporción inversa a su miniaturización. Cada vez es mayor el número de sectores productivos y económicos a su alcance. Algunas de las necesidades tecnológicas de nuestro tiempo más cruciales de la microelectrónica, la tecnología energética y la biomedicina tienen que ver con la nanotecnología. Cada una de ellas tiene algún tramo de su conocimiento relacionado con las nanociencias. Puede decirse que su irrupción en ellas provoca un resurgimiento de proporciones aún sin cuantificar. Se trata del renacimiento de procesos obsoletos tal vez, o caducos en casos aislados pero aún productivos. Porque si en algunos casos la tecnología ya se encuentra en desuso, la aparición de nuevos procesos tecnológicos permite su actualización y recomposición interna que provoque nuevas definiciones, patrones novedosos de articulación productiva con potencial cada vez más amplio y con impactos en las sociedades y por supuesto, con potencial para estimular el desarrollo económico de los países poseedores de las patentes respectivas. Este es otro renglón donde son escasas las solicitudes. Véase la siguiente información.

Patentes solicitadas y concedidas en México 1997 – 2006

Año	Solicitadas			Concedidas		
	Nacionales	Extranjeras	Total	Nacionales	Extranjeras	Total
1997	420	10,111	10,531	112	3,832	3,944
1998	453	10,440	10,893	141	3,078	3,219
1999	455	11,655	12,110	120	3,779	3,899
2000	431	12,630	13,061	118	5,401	5,519
2001	534	13,032	13,566	118	5,360	5,478
2002	526	12,536	13,062	139	6,472	6,611
2003	468	11,739	12,207	121	5,887	6,008

2004	565	12,629	13,194	162	6,676	6,838
2005	584	13,852	14,436	131	7,967	8,098
2006	574	14,926	15,500	132	9,500	9,632

Fuente: Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual, IMPI, 2007

Un campo de aplicación en proceso de desarrollo es el sector ambiental. Las aplicaciones de la nanotecnología pueden ser insospechadas. En el reciente foro convocado por especialistas de la Universidad Autónoma Metropolitana, se presentó un proyecto que con aplicaciones de la nanociencia renovaba el agua residual. Como es sabido, el agua está convocada convertirse en un problema crucial para los años próximos. El precio que se paga por ella es cada vez más alto o recibe mayores subsidios para acarrearla desde los veneros en las montañas. El desperdicio que de ella se hace es inconmensurable. La importancia del proyecto, es indudable.⁶

Política científica y tecnológica

La política tecnológica se integra y forma parte de una política más amplia, la política económica. Su parte sustancial u objeto es función del tipo de relaciones establecidas entre las categorías que motivan su contenido. Por un lado se encuentra el poder de decisión perteneciente a los diversos órdenes de gobierno. Por otra parte, las prácticas o mecanismos para la toma de decisiones como los instrumentos, medios, acciones, variables instrumentales, entre otros. Se cuentan además a los propósitos que orientan tales decisiones como los objetivos, fines, metas, comportamientos y más. También están los receptores de tales medidas como los sectores, los grupos de actividades, las actividades industriales y económicas de todo tipo. Como consecuencia, la importancia que los hacedores de política otorguen a cada una de las categorías determina la relación dominante de la política económica de los estados.

Una visión que tuvo mucha influencia en el decenio de los sesenta fue interpretar a la política económica como el conjunto de decisiones que con base a determinados fines y objetivos manipulaban los instrumentos. De modo que la política económica se

⁶ El semanario de la UAM informa en su Vol. XV, número 21, del 3 de marzo de 2009, que los académicos Irma Rojas Oviedo y Carlos Tomás Quirino de la Unidad Xochimilco son pioneros en la obtención de nanopartículas (acuosotas) con aplicaciones en los campos médico y farmacéutico.

conceptualiza como los modos de operar o de utilización de los mecanismos que definen a las decisiones tomadas para lograr algunos objetivos.

Por tanto, el cambio tecnológico es resultado de un conjunto de acciones de agentes económicos, organizaciones e instituciones de carácter privado y público. La política tecnológica está vinculada de manera cercana con un conjunto de políticas de corte distinto: política macroeconómica, educativa, fiscal, tecnológica, industrial, entre otras. Cada una de ellas debe contar con acciones vinculantes a las política tecnológicas, entre las que destacan:

- i) procurar que el desarrollo científico tenga aplicaciones productivas y directas o dirigir su orientación hacia donde existan condiciones para su aplicación histórica y geográfica determinada por las razones de corte socioeconómico
- ii) garantizar que la ecuación y la calificación profesional sean las adecuadas para los requerimientos productivos y evitar los factores que limiten el desarrollo tecnológico
- iii) inducir la demanda por productos de alta tecnología para promover la difusión tecnológica que conllevan
- iv) crear las condiciones macroeconómicas necesarias que favorezcan el desarrollo de la actividad tecnológica
- v) analizar los requerimientos tecnológicos de los distintos mercados, por productos, por clusters, por regiones, por sectores o la figura que mejores resultados proporcione

Tal vez por ello resulta complejo definir una política tecnológica amplia y de largo alcance pero duradera. El objetivo es reconocer el carácter transversal de la política tecnológica. Que considera la interacción de distintos agentes, con intereses diferentes pero coincidentes en el plano tecnológico. De ahí su vinculación cercana con todos los órdenes de políticas económicas en una nación. Por otra parte, se ha entendido a la tecnología como la aplicación productiva del desarrollo científico. La práctica asocia en un mismo concepto a la *política científica y tecnológica*. Sin embargo, sólo los necios

negarían el vínculo entre la ciencia y la tecnología y el papel que desempeña el desarrollo científico en el surgimiento de las nuevas tecnologías.

Para el caso de las economías en desarrollo parece apropiado explicitar la diferencia entre ciencia y tecnología. La ciencia puede desarrollarse y difundirse sin necesidad de convertirse en una aplicación productiva o ser un propósito en la planeación de las actividades científicas. Por el contrario, la tecnología está vinculada de manera directa con el sistema productivo en su conjunto. Sus resultados deben ser cuantificables y apropiados a sus objetivos. Para su amplio desarrollo y difusión se necesita la existencia de un sistema integrado de producción e innovación que incluya a las políticas de estado, las empresas y las instituciones necesarias poseedoras de la cultura de la innovación y con capacidad para desarrollarse, vincularse y apropiarse de los resultados de la actividad innovadora. En este tipo de economías, la ciencia se desarrolla de manera divergente con las actividades del desarrollo tecnológico. El proceso seguido durante la etapa del desarrollo sustitutivo de importaciones fue incapaz de generar una demanda significativa por innovaciones, de ahí la consideración del aspecto científico de las políticas de gobierno que subordinaron el contenido tecnológico. Se nota por tanto, la ausencia de la vinculación sistema del conjunto de políticas públicas en torno al desarrollo de capacidades productivas tecnológicas. Las relaciones forzadas y obligadas son imposibles e inconvenientes en una única línea entre la ciencia y la tecnología.

Por las razones anteriores, se propone que la nanotecnología sea vista como una unidad de análisis vinculada de manera sistémica con otras disciplinas y actividades a las que se orientan y regulan diferentes políticas pero bajo objetivos comunes.

El desarrollo de la nanotecnología en América Latina

El desafío por ubicarse en la frontera del desarrollo tecnológico abarca a las economías de la región latinoamericana. La mayoría de los países del área incluyen en sus programas de ciencia y tecnología aspectos relacionados con la nanotecnología. Como

es conocido por especialistas, destacan los esfuerzos de las economías con niveles de desarrollo relativo e importante. Las evidencias son varias y la información disponible es limitada. En ocasiones es menester buscarla en el extranjero. Este es el caso del estudio comparativo realizado por el NanoForumEULA.⁷ Los responsables del instituto de investigación sobre nanotecnología enviaron una misión a América Latina para revisar el estado-del-arte en la investigación sobre nanotecnología y la política científica en esos países.

Los resultados del estudio son interesantes y vale la pena destacar algunos hechos sobresalientes: en México se comprobó la existencia de inversión en la infraestructura de investigación de alta calidad pero contrasta con la ausencia de una política de gobierno clara e incipiente. Sin embargo, es probable que la cooperación internacional pueda detonar mayores recursos y sobre todo, ampliar la base de la investigación. Argentina mantiene por su parte, red y cooperación internacional que operan de manera eficiente y el gobierno tiene una política científica bien definida y orientada hacia la ciencia básica aunque en una única disciplina. El obstáculo que enfrenta el país es el bajo nivel de inversión en infraestructura y proyectos a desarrollar. Brasil, en cambio, muestra un desarrollo impresionante en nanotecnología. Su desarrollo en esta rama de la ciencia lo coloca a la cabeza de los países latinoamericanos con relación a la nanotecnología.

México

El documento reconoce la dotación de recursos con los que cuenta el país. Concede la mayor importancia a la existencia de diversos centros de educación superior, organizaciones dedicadas a la investigación con diversas calidades y grupos de investigación que trabajan investigaciones de primera línea. Se destaca una característica que nadie ignora: la mayoría de los investigadores de alto nivel realizan sus carreras en países como Estados Unidos, Europa y Japón. Esta es una

⁷ Comparing needs in nanotechnology research cooperation between Mexico, Argentina and Brazil. Sixth Framework Programme. (2008), Nanoforum EULA.

observación sutil: México carece de instituciones para la formación de investigadores valiosos. El documento realizó una investigación exhaustiva sobre la infraestructura de investigación y muestra un mapa con la distribución de actividades de investigación extensiva de nanotecnología en la parte norte del país, el centro y por supuesto, la ciudad de México. Muchos de los grupos de investigación poseen equipos sofisticados y recursos suficientes para el desarrollo de infraestructura para la investigación.

Existe además, un número creciente de estudiantes pero los técnicos capacitados para el manejo de equipo de alta tecnología como microscopios de sonda de barrido, son escasos. Mucha de la investigación realizada en los centros analizados es en ciencias básicas y los sistemas de educación superior aún mantienen características de única disciplina. A nivel de patentes existe registros mínimos de inventos producto de la nanotecnología y muchos de los investigadores carecen de conocimiento sobre cómo solicitar una patente por su innovación.

El reporte incluyó a las empresas interesadas en nanotecnología. Una de ellas es la empresa minera Peñoles. Esta firma inició un programa piloto para producir nanopartículas de plata y con el apoyo de inversionistas pretende incorporarlas en productos textiles y otros bienes finales. Otros grupos realizan investigación sobre las aplicaciones de la nanotecnología para la producción de energía sustentable y combustibles fósiles y también reporta oportunidades para aplicaciones en agua y agroalimentos.

Las seis organizaciones de investigación en nanotecnología situadas en el norte del país, a lo largo de la frontera con Estados Unidos, realizan actividades en nanotecnología y su aplicación en materiales inorgánicos y polímeros, ciencias aplicadas y servicios industriales. Esos centros de investigación cuentan con equipo de alto nivel como microscopios SEM, HRTEM, AFM y STM, espectroscopios e instrumentos ópticos, entre otros. A su vez, la nanociencia se concentra en la síntesis de las nanopartículas (plata, oro, platino y óxidos) nanotubos, nanobarras y nanolistones, mejoramiento de las propiedades de los materiales, los bionanomateriales

y la conversión de energía. En el centro del país las investigaciones se centran en la óptica y la biotecnología, los nanomateriales para la óptica, las nanopartículas y los materiales porosos. Los centros de investigación en esta zona geográfica cuentan con microscopios ópticos para la caracterización de los nanomateriales. Destacan por sus alcances los investigadores localizados en los centros de investigación de San Luís Potosí y Querétaro cuyas actividades para caracterizar a los nanomateriales, incluyendo los nanotubos y sus propiedades físicas y de medición ópticas son de alta calidad. La colaboración universidad industria en el área es profunda y difícil de disminuir.

En el sur de México el reporte subraya que sólo se hace investigación de este tipo en Puebla y Mérida, en los campos de la óptica y física aplicada. Pero el polo vital de la investigación en nanotecnología se concentra en la capital del país. La investigación abarca casi todas las disciplinas. Muchos grupos de investigación cooperan con la industria petroquímica. Desde 2003 opera en la UNAM la red de investigadores académicos en nanotecnología más grande del país. Este foro es el segundo en la historia postmoderna de la UAM. Inaugura una etapa trascendental de la investigación aplicada. Así como el desarrollo y crecimiento económicos preocuparon a los científicos sociales estudiosos de los comportamientos humanos y de los procesos sociales, las nuevas manifestaciones del conocimiento humano son el campo de análisis sobre el cual se observan cómo dichos avances impactan a las sociedades. De la misma manera y porque en la presente etapa del capitalismo senil los recursos financieros son determinantes, urge la definición de otro paradigma basado en el protagonismo de los propios avances del conocimiento en la nanotecnología. Son necesarias nuevas formas de concepción y práctica de la tecnología, que contemple los ámbitos de operación vertical y horizontal, que promueva y estimule la aportación de soluciones reales que emanen de abajo hacia arriba, ausente de mecanismos burocráticos que refuerzan la concentración del poder.

El estudio señala que la nanotecnología se menciona de manera breve en extremo, en un documento elaborado por la Secretaría de Economía publicado a principios del año pasado. El documento llamaba la atención sobre la necesidad para elaborar un plan

nacional en este campo y menciona que hubo un convenio entre el gobierno mexicano y la Unión Europea para un acuerdo de cooperación que incluyó presupuesto por 20 millones de euros para proyectos conjuntos de investigación en nanotecnología. A pesar de los recursos convenidos, a la fecha se desconoce algún plan nacional en tal sentido o alguna estrategia para fortalecer e impulsar la investigación en nanotecnología. A pesar de ello, los científicos sociales han cabildeado en tal sentido. Tal vez los cambios en esa dependencia motivaron otro tipo de definiciones. Pero los recursos continúan en estado latente.

Argentina

El estudio menciona que en este país encontraron una red nacional en la cual los nanocientíficos de diversas disciplinas e instituciones laboran en un marco de entendimiento y cooperación. Desde 2005, el gobierno argentino cuenta con una estrategia nacional definida para impulsar las redes nanotecnológicas, preparación de los recursos humanos y el fomento a la creación de empresas en esta rama del conocimiento humano. Tienen en contra, sin embargo, la carencia de inversión suficiente para adquisición de equipo especializado y la infraestructura de investigación suficiente, así como compañías con procesos de alta tecnología. Los investigadores argentinos cooperan con sus colegas de Brasil en el Centro Argentina – Brasil para la Nanotecnología y realizan visita con grupos de investigación en Estados Unidos y Europa y regresan a su país para apoyar a los investigadores jóvenes y crear una base nacional de científicos.

Existe en ese país una clara idea sobre la transferencia de tecnología y la necesidad de apoyar las empresas nuevas en nanotecnología. En este sentido, el Fondo Argentino para la Nanotecnología administra un fondo revolvente de 10 millones de dólares para investigaciones iniciales y desde el año pasado administra un nuevo fondo especial para nanotecnología. Argentina ha aceptado el código de conducta para investigación en nanotecnología, publicado a principios de 2008, y prepara el suyo propio el cual es responsable un comité nacional sobre ética.

Brasil

Es el país más fuerte en lo que a nanotecnología concierne en América Latina. Desde 2001, el país cuenta con una estrategia nacional para impulsar el desarrollo de la nanotecnología. Mantiene una inversión creciente para la construcción de redes de investigación en nanotecnología e infraestructura que abarca a diversas zonas del país.

Dos son las redes que destacan. Por un lado, la red en microsistemas y nanoelectrónica y por el otro, la correspondiente a nanomateriales. En las redes participan, además de las universidades públicas y privadas, los centros de investigación y compañías de diferentes sectores y regiones. Los centros de investigación nacional incluyen a los centros de investigación en agronegocios que incluye la investigación en agroalimentos, toxicología e instrumentación, el centro de investigación aeroespacial, el centro en metrología, entre otros. Desde el gobierno central se coordina el desarrollo de la nanotecnología. Brasil cuenta con una estrategia para el período 2009 – 2015 que acentúa el énfasis en la construcción de infraestructura de investigación y la formación de recursos humanos para transferir tecnología a las industrias. En conjunto, tiene un presupuesto aproximado por 24 millones de euros a ejecutar en los próximos cuatro años. Tienen una gama amplia de los sectores que Brasil considera relevantes y los cuales se ven afectados por los avances que se produzcan en la nanotecnología: la producción de alimentos, la biotecnología, electricidad y electrónica, la industria aeroespacial, los textiles, la industria metal – mecánica y la energía, incluye el petróleo y gas.

Como se desprende de la información anterior, el proceso de investigación en el campo de la nanotecnología ha iniciado. Desde el siglo pasado, diversas economías latinoamericanas se abrieron a la experimentación, innovación, desarrollo, capacitación y formación de recursos humanos y en general, a mantenerse a la cabeza del resto de naciones, guardadas todas las proporciones. Es un hecho que la nanociencia está llamada a convertirse en un nuevo paradigma en el conocimiento humano. El despegue

mostrado coincide con la tesis de que el nuevo milenio será testigo de las olas de innovación desde los así-llamados-países emergentes.⁸ Son éstos quienes participarán en igualdad de condiciones con los países desarrollados, pues desde ahora, muchos de los empresarios que incursionan con éxito en mercados globales corresponden a países emergentes.

Los países mencionados en el documento son los primeros en adquirir el compromiso histórico por avanzar en la senda de la innovación tecnológica en una de sus manifestaciones más prometedoras. Como se mencionó, la nanotecnología produce efectos positivos en una gama amplia de actividades. Los resultados se observarán en el avance de los beneficios del desarrollo económico. Tal vez éstos tarden en llegar, pero lo harán más cuando el acceso a los mismos esté limitado o enfrente obstáculos que profundicen la brecha entre países pobres y ricos.

Se ha documentado que en economías en desarrollo la ciencia avanza sobre una ruta distinta al desarrollo tecnológico, éste de suyo, limitado. En los años de la sustitución de importaciones y con apertura comercial, la demanda por innovaciones del sector productivo en México y otras economías de la región, fue insignificante. Lo relevante es que en los últimos decenios, la tecnología se ha convertido en un factor relevante en las relaciones comerciales de países desarrollados y en desarrollo. El progreso tecnológico ha contribuido, más que cualquier otro factor al desarrollo económico. Los recursos orientados a la investigación y desarrollo han crecido a tasas moderadas. Los contenidos tecnológicos de los artículos manufacturados se ha convertido en una de las determinantes fundamentales de los patrones comerciales en la etapa de la globalización. Aunque esta afirmación es antigua, pues desde el decenio de los setenta en el siglo pasado se destacaba esta afirmación.⁹

⁸ Véase Javier Palacios Neri. (2009). *La utopías del desarrollo económico de México*. De próxima publicación.

⁹ Vernon, Raymond ed. (1970). *The Technology Factor in International Trade*. Columbia, University Press, Nueva Cork.

En general, los efectos del progreso tecnológico se convierten en un arma de doble filo que lesiona los intereses de los países en desarrollo. Por un lado, el contenido tecnológico de artículos manufacturados se convierte en un factor de competitividad y posicionamiento en los mercados y por otro, incurren en la dependencia tecnológica. De manera que en esta etapa global del capitalismo, los avances científicos y tecnológicos son más rápidos en los países desarrollados y provocan que de manera sutil, la dominación tecnológica se convierta en la forma principal de dominio sobre los países en desarrollo.

De ser este el caso para las economías de América Latina, los parámetros tecnológicos cambiarán en contra de aquellos países que se quedan al margen de los avances científicos y tecnológicos. Cuando un país es incapaz de reconocer que sólo con el desarrollo de la capacidad científica y tecnológica propia, doméstica, es posible desprenderse de la dependencia tecnológica, estará sentando las bases para el desarrollo tecnológico autónomo y si en ello, considera el uso que hace de los recursos naturales, avanzará por la senda del desarrollo sustentable. Se desprenderá, por tanto, de la dependencia tecnológica y dominio por parte de los países más desarrollados. Aunque este es un tema que en apariencia está rebasado, es probable que sea distinto y que muchas de las consecuencias que se viven en tiempos de crisis, por ejemplo, se deban aparte de la interrelación existente en la globalización, sean producto de esa dependencia.

Los hechos se ven por todos lados: en la mayoría de las economías las empresas y otras unidades productivas están obligadas a adquirir técnicas de fuentes extranjeras, y por lo general, bajo condiciones desfavorables, convirtiéndose en dependientes de esas fuentes y por ello, dominadas. Más allá de determinado límite, la independencia política y cultural del país se verán amenazadas por estas formas de dependencia y dominación.

De manera que los países en desarrollo enfrentan la falta de opciones tecnológicas apropiadas. En ocasiones enfrentan la alternativa de seleccionar entre la generar producción industrial con técnicas modernas intensivas en capital o abandonar la

oportunidad para elevar su producción y nivel de empleo doméstico con el uso y aplicación de técnicas obsoletas. La ausencia de opciones tecnológicas viables, junto a la baja y escasa capacidad científica y tecnológica de los países en vías de desarrollo se convierte en un desafío complejo y se torna más agudo cuando se observan por ejemplo, elevadas tasas de crecimiento demográfico, desempleo, subempleo, como en la actualidad. Por tanto, una de las vías que aún conservan las economías subdesarrolladas es la capacidad de crear tecnología e incluso, promover la absorción de tecnología sobre bases claras.

Conclusiones y recomendaciones

Definir el camino a seguir para que la nanotecnología reditúe beneficios al desarrollo económico de la Nación, puede ser azaroso. ¿Cuáles son los pasos a seguir para que un determinado proceso tecnológico impacte en la estructura de las sociedades? ¿Cuándo, el más humilde de los trabajadores en el país, recibirá los beneficios del desarrollo económico? Sin duda es complejo afirmar que la materialización de los beneficios de cualquier manifestación del progreso tecnológico en la sociedad, es inmediata. Se toma su tiempo para producir beneficios, pero es urgente hacer algo y avanzar en dichos objetivos. Del discurso anterior se deduce que si la ciencia y la tecnología han de contribuir al desarrollo de las economías como la nuestra, se necesita impulsar una profunda transformación de las estructuras del esfuerzo científico y tecnológico que se refuerce con el carácter global que asume en los días presentes. Pueden adelantarse algunos cambios necesarios pero requieren el compromiso a nivel político en las dimensiones local y global:

- i) La profunda modificación de la división internacional del trabajo
- ii) La reorientación de las actividades científicas y tecnológicas a nivel local y global
- iii) Generación de capacidad científica y tecnológica doméstica
- iv) Promover esquemas de planificación de las sociedades en donde la incorporación de la ciencia y la tecnología adopten posiciones de vanguardia

- v) Promover en escalas más amplias los fondos de investigación y desarrollo existentes y estimular la creación de este tipo de fuentes financieras, orientadas al desarrollo de la nanotecnología o en algunas de sus ramas

A nivel doméstico se sugiere adoptar diversos cambios, adaptarlos a las particularidades de cada región y reconocer las diferencias entre los estados de la federación y una vez reconocidas las heterogeneidades y tomar en cuenta para mejorar las capacidades científicas y tecnológicas, las diferencias en tamaños, recursos, niveles de modernización, patrones culturales y otros factores más. Las acciones a definir necesarias para el desarrollo de capacidad local que fomente y propicie el avance de la ciencia y la tecnología, contemplan entre otras; las siguientes:

- i) La formulación clara de objetivos científicos y tecnológicos de largo alcance, que contemple la definición, estilo y tipo de ciencia y tecnología que requiere la Nación
- ii) Relacionar ese estilo con la estrategia general de desarrollo económico social y sustentable
- iii) En la delineación de tal política considerar las interacciones entre ciencia y tecnología con el entorno económico, ambiental, político, educativo y cultural del país
- iv) Impulso, fomento y creación cuando sea necesario, de la infraestructura local e institucional para el desarrollo de la ciencia y tecnología

El entorno afecta de manera diversa a la demanda por conocimiento y las posibilidades de su generación a nivel local. En este sentido, las características que dominan en el sistema económico y diversas políticas económicas, conllevan un conjunto de políticas científicas implícitas y con frecuencia contradicen los objetivos del desarrollo científico y tecnológico. Por ello, es menester que científicos sociales dedicados al análisis de las sociedades y su interacción con otros aspectos del conocimiento científico, sean los responsables de la preparación de este tipo de particularidades.

Bibliografía

Barrañón, Armando. *New Nanotechnology Developments*. Departamento de Ciencias Básicas, UAM Atzacapotzalco, México.

Anisen, Lucien, Bart Walhout & Rinie van Est (2008). *Ten lessons for a nanodialogue: the Dutch debate about nanotechnology tus far*. The Hague: Rathenau Institute.

Drexler, Eric. (1986) *Engines of Creation*. Anchor Books Edit. Doubleday. Papeback: Gedisa, Marzo 1994.

Crichton, Michael, (2003). *Presas*. Editorial Plaza & Janés, España.

Coriat, Benjamín. *El Taller y el Robot* (Ensayos sobre el fordismo). Edit. Siglo XXI, Argentina.