



**El presente es un documento elaborado para el estudio “Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y en el Mundo”, realizado por la Academia de Ingeniería de México con el patrocinio del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.**

**La información así como las opiniones y propuestas vertidas en este documento son responsabilidad exclusiva de los autores.**

**La Academia y los autores agradecerán las sugerencias y comentarios de los lectores para mejorar su contenido y para corregir las omisiones en que se haya incurrido en su elaboración.**



# CONTENIDO

## Contenido

A. La innovación tecnológica y su relación con la ingeniería.....	3
1. El entorno sistémico de la innovación tecnológica y sus elementos generales.....	3
2. Definiciones y dimensiones de la Innovación.....	7
B. Impactos y capital humano de la ingeniería: global y regional .....	10
1. Impactos globales de la ingeniería.....	10
2. Enfoques nacionales, regionales o de agrupaciones, en el mundo .	12
3. Capital humano y formación de capacidades para la innovación en el mundo .....	13
4. Indicadores de innovación y su relación con la ingeniería en el ámbito internacional.....	20
C. Impactos y capital humano de la ingeniería: México.....	26
1. Impactos de la ingeniería en México .....	26
2. Capital humano e infraestructura para la innovación en México....	28
3. Indicadores de innovación y su relación con la ingeniería en México .....	37
D. Efectividad de los sistemas de centros de I+D que contribuyen al desarrollo tecnológico y desarrollo de producto / proceso .....	38
1. Criterios y funciones tecnológicas esenciales .....	38
2. Participación directa de la Ingeniería en el esfuerzo de innovación tecnológica y en los elementos que participan en su generación .....	41
3. Metodologías que aceleren los procesos de innovación apoyados en la ingeniería en México .....	42
E. Trascendencia de la articulación .....	43
F. Profundización del papel y relevancia de la ingeniería en la innovación en México. Recomendaciones. ....	43
1. Estrategia rápida de lanzamiento y consolidación .....	43
2. Enriquecimiento de la base de datos sobre innovación tecnológica	45
3. Enriquecimiento de referencias internacionales .....	45
4. Elaboración de mapas de ruta tecnológica .....	45
5. Evaluación de impacto de las políticas actuales de fomento a la innovación .....	46
6. Formación de capacidades en ingeniería para la innovación .....	46
7. Fomentar el Programa Nacional de Innovación como eje rector de la actividad científica y tecnológica en el sector productivo.....	47
Bibliografía .....	47

# El papel de la ingeniería en la innovación y en la ciencia y la tecnología

Leopoldo E. Rodríguez Sánchez  
Felipe Rubio Castillo, Enrico Martínez Sáenz, Víctor Lizardi Nieto, Luis Torreblanca Rivera, José Antonio Lazcano, Fernando Kohrs Aldape

Actualización y complementación:  
Carlos A. Morán Moguel  
E. Ivonne Vergara Maldonado

## A. La innovación tecnológica y su relación con la ingeniería

### 1. El entorno sistémico de la innovación tecnológica y sus elementos generales

Como norma general, la Innovación, tecnológica o no, se materializa al momento en que se hace realidad la entrada al mercado de un bien, un servicio o un nuevo modelo de comercialización o de organización. El indicador por excelencia de una efectiva entrada al mercado es el impacto económico que tal innovación produce (o la métrica apropiada en innovaciones de impacto predominantemente social o ambiental); esto es tan importante que la OCDE reserva el calificativo de innovación disruptiva sólo a aquella cuyo impacto económico o equivalente tiene alcance global.

En su acepción anterior, la Innovación Tecnológica se visualizaba sólo como un resultado, como el elemento o eslabón final de un sistema secuencial que procedía de acuerdo con la lógica siguiente:



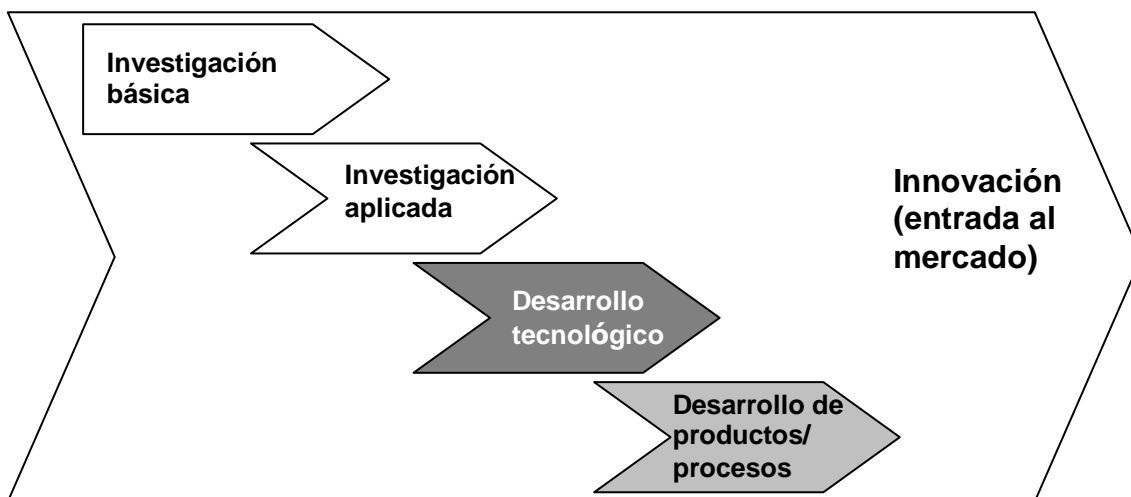
La razón fundamental por la cual se ha cuestionado esta visión desde hace varios lustros es que inducía a los participantes en todos los eslabones del sistema a establecer el contacto con el usuario o aplicador del desarrollo hasta el momento de tener una razonable robustez en el producto o proceso desarrollado. Esta práctica reduce mucho la efectividad y la eficiencia del esfuerzo en su conjunto y determina un bajo porcentaje de casos exitosos de innovación. Como problema

mínimo, esta visión exige esfuerzos significativos de reprocesado en el sistema.

La visión actual, propone que la innovación tecnológica puede abarcar simultáneamente todos los elementos del sistema requerido, que no es de naturaleza necesariamente secuencial, que la innovación tecnológica puede generarse a partir de cualquier elemento o cualquier conjunto de elementos (por ejemplo, a partir solo de la investigación básica), y que constituye por sí misma el marco o entorno sistémico en el que tales elementos pueden combinarse para generar situaciones como las de (i) enfrentar contradicciones, (ii) producir un cambio, o (iii) inducir un equilibrio, entre otros.

Lo más importante es que esa visión exige que desde cero y a través de todo el conjunto de elementos que entren en juego se establezca una estrecha relación con un usuario o aplicador relevante de la posible innovación y que, mediante dicha relación se establezcan y consideren desde el inicio las variables que determinen la funcionalidad y la robustez funcional esperada de la innovación y se facilite la definición de la forma y profundidad de las interrelaciones requeridas entre los participantes institucionales o individuales de todos los elementos requeridos.

Este paradigma puede ilustrarse de manera simplificada de la siguiente manera:



El aspecto más significativo en este diagrama es que la innovación tecnológica constituye tanto el resultado como el marco o entorno sistémico en el que operan todos estos elementos.

Para facilitar el empleo de estos conceptos en el análisis que seguirá, se proponen las siguientes definiciones (1) y (2):

*Investigación básica:* Investigación que se hace en las fronteras del conocimiento humano, sin objetivos industriales o comerciales inmediatos (1); investigación genérica avocada al desarrollo de nuevo conocimiento científico (2).

*Investigación aplicada:* Investigación dirigida a la aplicación de conocimientos existentes para el desarrollo o mejora de productos o procesos (1); actividades dedicadas a la "prueba-de-concepto", requeridas para transformar el conocimiento científico en un prototipo funcional, desarrollar credibilidad sobre su posible integración en una plataforma de desarrollo y escoger un mercado objetivo (2).

*Desarrollo tecnológico:* Resultado de la aplicación sistemática de conocimientos científicos, tecnológicos y/o de índole práctico, que lleva a la generación de prototipos o a una mejora sustantiva a bienes existentes, independientemente de su implementación o comercialización inmediata (1); trabajo técnico y de sistema de negocio, social, etc. requerido para reducir a la práctica la tecnología necesaria, en forma tal que se pueda justificar financieramente un plan de negocio o de aplicación (un prospecto de inversión), que compense el alto riesgo y otros efectos disruptivos de la innovación (2).

Entre las tareas que este elemento comprende se señalan:

- Objetivo de investigación:
  - Desarrollo de requerimientos de producto y especificaciones relacionadas con un mercado proyectado
  - Definir un proceso de producción
  - Identificar el proceso de creación de valor
  - Integrar la nueva tecnología con tecnologías existentes y tecnologías habilitadoras.  
Resultado > un prototipo integrado a un sistema (plataforma, etc.)
  
- Propuesta de valor económico (social, ambiental, etc.):
  - Estimar la corriente de ingresos, e identificar costos predecibles de producto

- Probar la Creación de Valor específica
  - Identificar mecanismos operacionales específicos
- Resultado > Modelo de Negocios (o sistema pertinente)

- Habilidades requeridas:
  - Empresario, Ingenieros
- Riesgo de Negocios
  - Relacionado con el monto de la inversión y la incertidumbre de recuperación
- Riesgo Técnico
  - Principalmente por las dificultades para la integración
  - Protección de la Propiedad Industrial e Intelectual

Desarrollo de Producto/Proceso: actividades avocadas a:

- Evaluar oportunidades de mercado
- Establecer la logística e infraestructura (instalaciones) requeridas para manufactura y embarque
- Finalizar las especificaciones detalladas de producto basadas en producciones piloto
- Evaluar resultados vs. los criterios y metas empleados para decidir sobre el fondeo de I+D. (2)

Sin menoscabo de lo anterior, en la Norma Mexicana NMX-GT-001-IMNC-2007 se pueden encontrar otras definiciones terminológicas útiles para el presente fin. La definición de Ingeniería como tal no se incluye en este documento pues es de carácter genérico a otros campos de acción de sus profesiones y no sólo al tema de Innovación.

Como puede verse en este análisis sistémico de la innovación tecnológica, la referencia expresa que se hace a la Ingeniería se centra en las capacidades o habilidades requeridas para el desarrollo tecnológico, en cuyo elemento se acopla con las habilidades empresariales para materializar la innovación a partir de ese elemento. En muchos proyectos, desarrollo tecnológico e ingeniería son una virtual identidad funcional; como mínimo, la ingeniería suele constituir la función más participativa en el desarrollo tecnológico.

Lo anterior no excluye la intervención de otras disciplinas, en especial las disciplinas de naturaleza científica. En la práctica, las habilidades requeridas en los diversos elementos, son crecientemente multidisciplinarias. La diferencia es que la función de la Ingeniería es equiparable sólo a la del Empresario. Esto mismo puede extenderse al elemento de Desarrollo de Producto/Proceso.

Por otra parte, ya desde la investigación aplicada puede igualmente inferirse la participación de la Ingeniería en equipo con especialistas científicos. Una importante contribución de la ingeniería a la investigación aplicada es e diseño y fabricación de equipos. Prototipos, plantas piloto y dispositivos necesarios para la prueba del concepto.

Puede agregarse que es muy común que la participación de la Ingeniería en investigación aplicada suele requerir de niveles académicos de postgrado en los ingenieros participantes. Este requerimiento de postgrados es crecientemente deseable en los elementos de desarrollo tecnológico y de desarrollo de producto/proceso conforme se incrementan los factores que incrementan el riesgo técnico de la innovación específica y los que aumentan la incertidumbre en las expectativas de resultados.

En síntesis, puede afirmarse que el gremio profesional predominante en el desarrollo tecnológico y el desarrollo de producto / proceso es el de los ingenieros; en el último elemento mencionado cabe puntualizar la demanda de ingenieros con experiencias operativas o cercanas a la operación. Esto no aplica en las mismas proporciones a la investigación aplicada y menos aun a la investigación básica; con frecuencia, la participación de ingenieros en investigación aplicada demanda niveles académicos de postgrado en tales ingenieros; es aún más crítico cuando hay alguna participación en la investigación básica.

Todo lo anterior se hace cotidianamente obvio y es una de las causas probables de que no se perciba como necesario el desarrollo de correlaciones cuantitativas entre los esfuerzos de innovación tecnológica y las actividades de ingeniería; éstas quedan implícitas en las estadísticas de innovación. Es claro que existe una importante oportunidad de investigación estadística en buscar el desarrollo de correlaciones cuantitativas entre ingeniería e innovación,

## 2. Definiciones y dimensiones de la Innovación

Existen dos grandes formas empleadas para definir la innovación.

La primera busca definirla en términos de sus resultados.

Es característica de este enfoque la definición de la tercera revisión (2005) del Manual de Oslo de la OCDE:

“Introducción (al mercado o aplicación) de un producto (bien o servicio) nuevo o significativamente mejorado, de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizacional - en las prácticas de negocios, en la organización del sitio de trabajo o en las relaciones externas” (3)

Cabe señalar que el mismo Manual de Oslo expresa serias reservas acerca de la aplicabilidad de esta definición ante objetivos de naturaleza diferente a los económicos (sociales, ambientales, etc.).

Al igual que la definición que se utiliza en la exposición de motivos de la iniciativa que plantea la reforma de la Ley de Ciencia y Tecnología de 2002 (4):

“La aplicación novedosa del conocimiento, entendida como el conjunto de actividades ordenadas que conducen a la obtención e implementación de nuevos productos y procesos, así como a lograr cambios significativos en los mismos que representen una mejora apreciable en el desempeño, costo o calidad para los usuarios.”

O como las que proponen algunas de las leyes estatales en la materia (Estados de Quintana Roo y Puebla):

“La transformación de una idea en un producto, proceso de fabricación o enfoque de un servicio social determinado, en uno nuevo o mejorado y la transformación de una tecnología en otra de mayor utilidad.”

La Innovación Tecnológica se refiere predominantemente a aquella relacionada con nuevos productos o procesos, aunque gracias a las tecnologías de información y telecomunicaciones ésta se hace también presente en las innovaciones de comercialización y las de carácter organizacional.

La segunda forma es la que visualiza a la Innovación desde su enfoque de sistema, como proceso.

Con este enfoque, de proceso, puede definirse la Innovación como: “El proceso capaz de identificar metas o factores puramente tecnológicos o combinaciones de factores tecnológicos con factores económicos,



sociales o ecológicos, que se contradicen entre sí y delinear estrategias que logren equilibrarlos, armonizarlos o incluso alinearlos”.

La mejor práctica identificada en cuanto a este tipo de proceso es la denominada “Innovación Sistemática” (5).

Es útil complementar estas definiciones con la consideración de que cualquier sistema de innovación es esencialmente un sistema social en el que participan diversos actores (por lo menos un desarrollador y un usuario). Cabe señalar que desde las décadas de 1960 y 1970, la innovación industrial se ha identificado crecientemente con el trabajo de instituciones más que de individuos.

La Norma Mexicana NMX-GT-001-IMNC-2007 (1) establece también una definición de este segundo enfoque. Así, esta norma define:

**Innovación:** Proceso dirigido a un mercado bajo un enfoque de negocio que detecta oportunidades y capacidades organizacionales para generar productos, procesos y servicios novedosos aceptados por los consumidores.

**Innovación tecnológica:** Proceso que conjuga una oportunidad de mercado con una necesidad y/o una invención tecnológica que tiene por objetivo la producción, comercialización y explotación de un nuevo proceso, producto, actividad comercial, modelo de negocio, modelo de logística o servicio al cliente.

Estas definiciones requerirán abundar en la naturaleza propia del proceso que se propone.

Finalmente, ADIAT utiliza un modelo que considera otras cuatro dimensiones que ayudan a clasificar una innovación:

- Nivel de novedad: si la innovación es nueva para la(s) organización(es) que la generan, nueva para un país o mercado regional, nueva para el mundo o disruptiva (en función del impacto económico global que llega a producir).
- Nivel o complejidad tecnológica: si la tecnología involucrada es alta, media o baja.
- Motivación que la genera: reducir costos, aumentar ingresos, mejora de oportunidad, reducción de riesgos u otras.

- Nivel de articulación con el entorno: contrato bilateral acotado, convenio general con diversas partes, integración de bases de datos, "innovación abierta".

## B. Impactos y capital humano de la ingeniería: global y regional

### 1. Impactos globales de la ingeniería

"A través de la historia humana, la ingeniería ha conducido el avance de la civilización. Desde los metalurgistas que concluyeron la era de piedra hasta los constructores de buques que unieron a la gente del mundo a través de los viajes y el comercio, el pasado atestiguó muchas maravillas de proezas de Ingeniería."(6) Estas contribuciones han cambiado profundamente a la agricultura, la fabricación de textiles y a la interacción y comunicación humana, incluidos inventos como el reloj mecánico y la prensa de impresión.

La Revolución Industrial trajo la influencia de la ingeniería a cada aspecto de la vida: baste citar como ejemplos a las máquinas que complementaron y reemplazaron el trabajo humano en muchas tareas, a los sistemas mejorados para saneamiento, con sus beneficios para la salud, y a la máquina de vapor que facilitó la minería, dio potencia a trenes y barcos y proveyó energía a las fábricas.

Más recientemente, destacan aquellos identificados como los logros más grandes de la Ingeniería del Siglo XX por la National Academy of Engineering (NAE) de EEUU (7).

1. Electrificación
2. Automóviles
3. Aviones
4. Suministro y distribución de agua
5. Electrónica
6. Radio y TV
7. Mecanización agrícola
8. Computadoras
9. Teléfono
10. Aire acondicionado y refrigeración
11. Supercarreteras
12. Vehículos espaciales
13. Internet
14. Imágenes médicas
15. Aparatos electrodomésticos

16. Tecnologías de la salud
17. Tecnologías del petróleo y la petroquímica
18. Laser y fibras ópticas
19. Tecnología nucleares
20. Materiales de alto desempeño

En cada una de estas categorías ha existido un sinnúmero de bienes y servicios que se han ofrecido a los mercados y que casi indefectiblemente han sido objetos de diversas patentes. Todos ellos, califican sin duda alguna a la denominación de innovaciones. En la referencia (7) se pueden consultar múltiples ejemplos específicos de tales innovaciones.

Sin menoscabo de estos importantes logros, el Siglo XXI está imponiendo retos igualmente formidables, en especial en todo aquello que se refiere a alcanzar un desarrollo sustentable en todas sus dimensiones con las limitaciones de un planeta con recursos finitos.

El pasado 2 y 3 de marzo de 2009, la National Academy of Engineering de los Estados Unidos organizó una reunión cumbre en tres universidades líderes en ingeniería (Duke University, USC y el Olin Collage) con líderes tecnológicos de todo el mundo que participaron en la red con el fin de identificar los grandes retos para la ingeniería del Siglo XXI (8). Derivado de esta cumbre, el Comité Pertinente de la NAE ha identificado 14 áreas que están a la espera de soluciones de Ingeniería durante el Siglo XXI. Estas áreas son:

1. Hacer económicamente competitiva a la energía solar
2. Proveer energía a partir de fusión nuclear
3. Desarrollar métodos para secuestrar carbón (CO<sub>2</sub>)
4. Manejar el ciclo de nitrógeno
5. Proveer acceso a agua limpia (cantidad y calidad)
6. Restaurar y mejorar la infraestructura urbana
7. Avanzar la informática sobre la salud
8. Ingeniería para mejores medicamentos
9. Realizar la ingeniería inversa del cerebro
10. Prevenir el terror nuclear
11. Ciberespacio seguro
12. Acrecentar la realidad virtual
13. Avanzar en el aprendizaje personalizado
14. Ingeniería para las herramientas de descubrimiento científico

Los mayores obstáculos para lograr alcanzar tales retos serán:

- a. La economía de las soluciones provistas (independientemente de resolver un problema tecnológico industrial, social o ambiental).
- b. Grupos atrincherados que disfrutan de lo existente y buscan la preservación de posiciones de poder.
- c. Altos costos de los nuevos proyectos de ingeniería, que pueden conducir a la necesidad de fondeo de origen público a niveles sin precedente, lo cual demandará apoyo popular y político.
- d. Mejorar la educación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM en inglés) en todos los niveles y la difusión apropiada de información técnica al público en general.
- e. Mejorar la adopción exitosa de nuevas tecnologías por el público en general.
- f. Mejorar el empleo de la tecnología informática en diversos campos y aspectos.

Socialmente, se percibe que el mayor reto es el de dispersar los frutos de la Ingeniería por todo el mundo en beneficio de todos los estratos socio-económicos, pobres y ricos.

En la referencia (8) pueden consultarse diversas estrategias para intentar el alcance de estos grandes retos en el Siglo XXI.

## 2. Enfoques nacionales, regionales o de agrupaciones, en el mundo

Sin menoscabo de la atención y participación posible en los grandes retos globales antes descritos, no todo tiene que ser innovación nueva para el mundo.

Los sistemas de innovación con enfoques nacionales, regionales o de agrupaciones son fórmulas de efectividad ya muy probada para estimular la innovación, consideran inclusive la posibilidad de desarrollar prospectos de mercado global. Desde luego, se tiene que partir de consensos bien definidos y focalizados de la visión estratégica para el Sistema y que incluya los campos en los que será posible el logro esencialmente por consideraciones de dos clases: (i) una profunda percepción de las necesidades del mercado o mercados objetivo y (ii) una clara y realista apreciación de las habilidades medulares (tecnológicas o de otra índole) que dan viabilidad al esfuerzo innovador.

Un buen ejemplo lo ofrece el grupo Fraunhofer de Alemania (9) que combina el pensamiento estratégico de 57 institutos de investigación tecnológica en 7 agrupamientos estratégicos ("*clusters*") y se ha concentrado en 12 temas de innovación que se describen a continuación para facilitar su comparación con la lista de retos globales:

1. Internet de objetos
2. Productos y entornos inteligentes
3. Microenergía
4. Adaptrónica
5. Realidad simulada para productos y procesos
6. Interfase de maquinaria centrada en humanos
7. Politrónica
8. Sistemas de peso ligero
9. Biotecnología industrial
10. Luz como una herramienta
11. Computación en red para empresas
12. Seguridad

Lo importante en estos casos es haber realizado un esfuerzo estratégico profundo basado en información analítica y de prospectiva.

### 3. Capital humano y formación de capacidades para la innovación en el mundo

Lo más cercano al establecimiento de estadísticas sobre ingeniería que ha sido posible detectar globalmente, busca correlacionar el potencial de innovación con elementos de capital humano.

Estas correlaciones revisten especial importancia dado que el bajo nivel de capital humano para la innovación ha sido calificado como la debilidad estructural más importante para México por la OCDE (10).

Se ha localizado un tipo de análisis que es posible aplicar a las Universidades con *currícula* de ingeniería en cualquier parte del mundo (11). Bajo la coordinación de la Universidad de Oregon de los Estados Unidos se desarrolló una métrica denominada Impacto en Innovación basada en una ponderación de grados de licenciatura, maestría y doctorado en ingeniería, combinada con los gastos de investigación realizados por la universidad correspondiente y se aplicó a 339 universidades de los Estados Unidos. De este análisis surgieron como líderes 15 importantes universidades, pero destaca aún entre éstas la gran diferencia en la métrica señalada:

Rango/ Universidad / Impacto en innovación

1. Georgia Institute of Technology - 182
2. University of Illinois at Urbana-Champaign - 163
3. Massachusetts Institute of Technology - 144

4. University of Michigan - 141
5. Texas A&M University - 138
6. The Pennsylvania State University - 135
7. Purdue University - 135
8. The University of Texas at Austin - 122
9. Virginia Polytechnic Institute and State University - 120
10. University of California, Berkeley - 114
11. Stanford University - 113
12. North Carolina State University - 111
13. University of Florida - 110
14. University of Southern California - 109
15. University of California, San Diego - 108

Estos resultados se publicaron en julio de 2007 con datos correspondientes a 2006 provistos por la American Society for Engineering Education.

Otras estadísticas relevantes son las que ha proporcionado la OCDE en sus análisis anuales de perspectiva en ciencia, tecnología e industria. La OCDE propone como estadística relevante el porcentaje de graduados en ciencia y en ingeniería en relación con el total de nuevos graduados en todas las disciplinas profesionales. La lectura de esta estadística se desvirtúa cuando el número total de graduados es bajo. Destaca sí la proporción que presentan varios países recientemente calificados como muy innovadores (como Corea, China, Finlandia y Suecia), en los que la relación entre graduados de ingeniería y graduados en ciencias oscila entre 1.5 hasta 2.5 veces.

### **Formación de capacidades para la investigación en ingeniería y la innovación: el caso de los Centros de Investigación en Ingeniería de los Estados Unidos**

Un programa para el desarrollo de la innovación en ingeniería que vale la pena analizar para su posible incorporación con las adecuaciones pertinentes en México es el programa de Centros de Investigación en Ingeniería (ERCs, por sus siglas en inglés) establecido en los Estados Unidos por la National Science Foundation (NSF) para proporcionar un gran soporte a la innovación y cuya meta es educar una fuerza de trabajo globalmente competitiva en un ambiente de investigación interdisciplinaria donde la academia y la industria trabajan en conjunto (11b).

Este programa iniciado en el año de 1985, ha significado un gran impulso a la formación de capacidades de innovación en ingeniería en

los Estados Unidos. El grupo de centros interdisciplinarios localizados en universidades a lo largo de todo el país conforman una red de formación de recursos humanos operando en un ambiente en el cual la academia y la industria trabajan en colaboración para lograr avances estratégicos en sistemas tecnológicos complejos; avances con el potencial de generar nuevas industrias o transformar de manera importante productos, procesos o servicios en empresas existentes.

Cada Centro es establecido mediante el financiamiento otorgado por las universidades, la industria y la NSF (algunas veces con recursos adicionales provenientes de los gobiernos locales). La Fundación brinda apoyo financiero y de asesoría durante 10 años a cada centro, al final de los cuales, la mayoría llega a ser auto sostenible. Por la parte académica, en adición a la universidad que hospeda el centro, pueden participar universidades avanzadas en el tema de la investigación y la universidad huésped actúa como líder. Durante 2009, el total de recursos destinados a cada centro fue desde 4.1 millones de dólares, hasta 8.8 millones; de los cuales 3 o 4 millones fueron financiados por la NSF.

Encuestas realizadas a empleadores industriales han mostrado que el 80% de los ingenieros graduados de estos centros son percibidos por sus supervisores como personal más productivo, en comparación con sus pares; además de que saben cómo integrar el conocimiento de varias disciplinas y manejar equipos de trabajo para el avance tecnológico de las organizaciones (11c).

Un estudio realizado en 2007 permitió conocer que el valor económico de los productos y procesos generados en los ERC había alcanzado ya cifras de decenas de miles de millones de dólares, y se esperaba que algunas de las tecnologías más prometedoras, a punto de ser liberadas, tuvieran un rápido crecimiento en el mercado de bienes y servicios tecnológicos. Este impacto económico se enriquece, además, con los enormes beneficios que estos productos han generado en términos de salud, seguridad, productividad, calidad de vida y protección ambiental (11d).

De 1985 a 2009, esta iniciativa generó:

- 1,701 inventos,
- 624 patentes adjudicadas,
- 2,097 patentes y licencias de software otorgadas,
- 142 empresas de base tecnológica con 1,452 empleados

A manera de ejemplo se cita el caso del ERC/RSM (Centro de Investigación en Ingeniería / Sistemas Reconfigurables de Manufactura, liderado por la Universidad de Michigan). Con un financiamiento cercano a los 50 millones de dólares, este Centro ha graduado a 80 Doctores y 270 Maestros en Ingeniería; y ha desarrollado productos y aplicaciones patentadas que han llegado a la industria y que forman actualmente parte de productos disponibles en el mercado. (11e).

Nombre de la patente	Número de patente
Reconfigurable Machine Tool	5,943,750
Reconfigurable Manufacturing System	6,349,237
Reconfigurable Logic Controller	6,256,598
Reconfigurable Automatic Tool Changer	6,442,815
Reconfigurable Power Spindle	6,309,319
Optical Method for Measuring Angular Alignment of Flat Surfaces	6,674,521
Reconfigurable Apparatus and Method for Inspection	6,567,162
Bi-Axial Coplanar Apparatus	6,557,235
Reconfigurable Multi-spindle Apparatus	6,569,071
Reconfigurable Surface Finish Inspection Apparatus	7,027,145

ERC/RMS Patents at a Glance (11e)

Actualmente, el sistema de Centros de Investigación en Ingeniería cuenta con 49 centros, 20 de ellos en el programa de apoyo y 29 ya graduados y funcionando con sus propios recursos. La tabla siguiente muestra la lista de los 20 centros que se actualmente participan en el programa.

MANUFACTURA (5)	BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA SALUD (5)
<b>Synthetic Biology ERC (SynBERC)</b> University of California at Berkeley / Harvard University / MIT / Prairie View A&M University / University of California at San Francisco	<b>Quality of Life ERC (QoLT)</b> Carnegie Mellon University / University of Pittsburgh
<b>Center for Biorenewable Chemicals (CBiRC)</b> Iowa State University / Rice University / University of California Irvine/ University of New Mexico / University of Virginia / University of Wisconsin-Madison	<b>ERC for Revolutionizing Metallic Biomaterials (RMB)</b> North Carolina A&T University / University of Cincinnati / University of Pittsburgh
<b>ERC for Compact and Efficient Fluid Power (CCEFP)</b>	<b>Nanosystems ERC for Advanced Self-Powered Systems of Integrated Sensors and Technologies (ASSIST)</b> North Carolina State University / Pennsylvania



<p>University of Minnesota / Georgia Institute of Technology / Purdue University / University of Illinois at Urbana-Champaign / Vanderbilt University</p> <p><b>ERC for Structured Organic Particulate Systems, (C-SOPS)</b> Rutgers University / New Jersey Institute of Technology / Purdue University / University of Puerto Rico-Mayaguez</p> <p><b>Nanosystems ERC for Nanomanufacturing Systems for Mobile Computing and Mobile Energy Technologies (NASCENT)</b> University of Texas / University of New Mexico / University of California Berkeley</p>	<p>State University / Florida International University / University of Virginia</p> <p><b>Biomimetic MicroElectronic Systems (BMES) ERC</b> University of Southern California / Caltech / University of California</p> <p><b>NSF Engineering Research Center for Sensorimotor Neural Engineering (CSNE)</b> University of Washington / Massachusetts Institute of Technology / State University</p>
<p><b>ENERGÍA, SUSTENTABILIDAD E INFRAESTRUCTURA (5)</b></p>	<p><b>MICROELECTRÓNICA, SENSORES Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN (5)</b></p>
<p><b>ERC for Quantum Energy and Sustainable Solar Technologies (QESST)</b> Arizona State University / California Institute of Technology / University of Delaware / Massachusetts Institute of Technology / University of New Mexico</p> <p><b>Future Renewable Electric Energy Delivery and Management (FREEDM) Systems Center</b> North Carolina State University / Arizona State University / Florida State University / Florida A&amp;M University (HBCU) / Missouri University of Science and Technology</p> <p><b>Smart Lighting ERC</b> Rensselaer Polytechnic Institute / Boston University / University of New Mexico</p> <p><b>ERC for Re-Inventing America's Urban Water Infrastructure (ReNUWIt)</b> Stanford University / University of California, Berkeley / Colorado School of Mines / New Mexico State University</p> <p><b>ERC for Ultra-wide Area Resilient Electric Energy Transmission Networks (CURENT)</b> University of Tennessee–Knoxville / Northeastern University / Rensselaer Polytechnic Institute / Tuskegee University</p>	<p><b>Center for Integrated Access Networks (CIAN)</b> University of Arizona / California Institute of Technology / Norfolk State University (HBCU) / Tuskegee University (HBCU) / Universities of California in Berkeley, San Diego, and Los Angeles, / University of Southern California</p> <p><b>ERC for Extreme Ultraviolet Science and Technology (EUV ERC)</b> Colorado State University / University of Colorado, Boulder / University of California, Berkeley</p> <p><b>Nanosystems ERC for Translational Applications of Nanoscale Multiferroic Systems (TANMS)</b> University of California, Los Angeles (UCLA) / Cornell University / California State University, Northridge</p> <p><b>ERC for Collaborative Adaptive Sensing of the Atmosphere (CASA)</b> the University of Massachusetts-Amherst in partnership with Colorado State University, the University of Oklahoma, and the University of Puerto Rico-Mayaguez; Class of 2003</p> <p><b>ERC on Mid-Infrared Technologies for Health and the Environment (MIRTHE)</b> Princeton / City University of New York / Johns Hopkins / Rice University / Texas A &amp; M University / University of Maryland–Baltimore County</p>

*Tabla. Centros que participan actualmente en el Programa ERC.*

A continuación se enlistan los 29 centros “graduados”, es decir, centros ya consolidados que han superado la fase de apoyo financiero y operan actualmente con sus propios recursos. Sólo se incluye la Universidad líder de cada Centro.

MANUFACTURA (10)	BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA SALUD (6)
<p><b>ERC for Environmentally Benign Semiconductor Manufacturing</b> University of Arizona</p> <p><b>Engineering Design Research Center</b> Carnegie Mellon University</p> <p><b>Center for Advanced Engineering of Fibers and Films</b> Clemson University</p> <p><b>Particle Engineering Research Center</b> University of Florida</p> <p><b>Systems Research Center</b> University of Maryland</p> <p><b>ERC for Reconfigurable Manufacturing Systems</b> University of Michigan</p> <p><b>Wireless Integrated Microsystems, ERC</b> University of Michigan</p> <p><b>Center for Interfacial Engineering</b> University of Minnesota</p> <p><b>Gordon ERC for Subsurface Sensing and Imaging Systems</b> Northeastern University</p> <p><b>ERC for Net Shape Manufacturing</b> Ohio State</p>	<p><b>ERC for the Engineering of Living Tissues</b> Georgia Tech</p> <p><b>Center for Computer-Integrated Surgical Systems and Technology</b> Johns Hopkins University</p> <p><b>Biotechnology Process Engineering Center</b> MIT</p> <p><b>Center for Biofilm Engineering</b> Montana State University</p> <p><b>VaNTH ERC for Bioengineering Educational Technologies</b> Vanderbilt University</p> <p><b>Engineered Biomaterials ERC</b> University of Washington</p>
ENERGÍA SUSTENTABILIDAD E INFRAESTRUCTURA (6)	MICROELECTRÓNICA, SENSORES Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN (7)
<p><b>Advanced Combustion Engineering Research Center</b> Brigham Young University/University of Utah</p> <p><b>Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research</b> The University at Buffalo</p>	<p><b>Center for Neuromorphic Systems Engineering</b> Caltech</p> <p><b>Data Storage Systems Center</b> Carnegie Mellon</p>

<p><b>Pacific Earthquake Engineering Research Center</b> University of California at Berkeley</p> <p><b>Mid-America Earthquake Center</b> University of Illinois at Urbana-Champaign</p> <p><b>Center for Advanced Technology for Large Structural Systems</b> Lehigh University</p> <p><b>Offshore Technology Research Center</b> Texas A&amp;M/University of Texas</p>	<p><b>Microelectronics Packaging Research Center</b> Georgia Tech</p> <p><b>Center for Compound Semiconductor</b> Microelectronics, Illinois</p> <p><b>Center for Computational Field Simulation</b> Mississippi State</p> <p><b>Integrated Media Systems Center</b> University of Southern California</p> <p><b>Center for Power Electronics Systems</b> Virginia Tech</p>
--	---

Tabla. Centros "graduados" del Programa ERC.

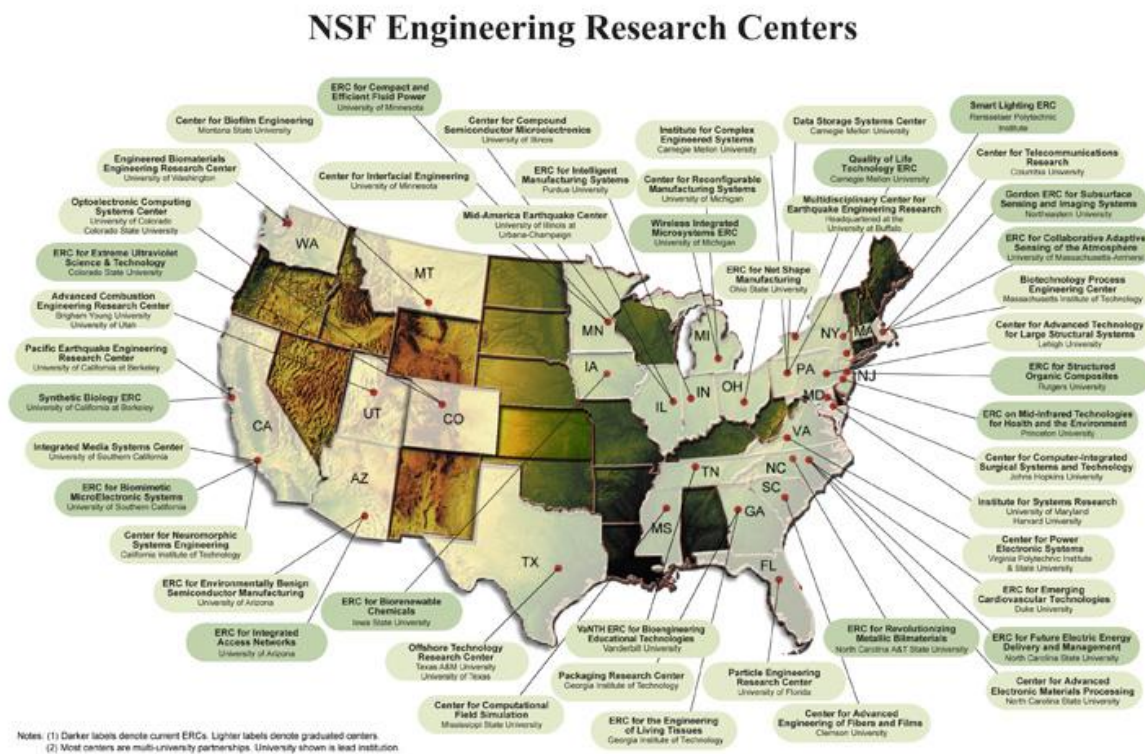


Imagen. Mapa del Sistema NSF Engineering Research Centers.  
Fuente: Engineering Research Centers Association (11b)

#### 4. Indicadores de innovación y su relación con la ingeniería en el ámbito internacional

Pese a la amplia aceptación global del concepto de innovación y de su reconocido impacto en el desarrollo, su práctica sistemática y confiable es aún una disciplina en evolución. Aún más incipiente es el acuerdo sobre cómo medirla a fin de establecer objetivos y metas pertinentes y relevantes que permitan dar seguimiento a los esfuerzos que se realizan para su logro.

A escala internacional empiezan apenas a emerger los resultados de investigación reciente sobre las métricas de innovación, que hacen todavía más evidentes los problemas que falta por resolver para contar con un modelo robusto de indicadores a nivel país, región o institución.

Dos de los documentos más relevantes se han publicado apenas en 2009, (12) y (13).

##### Canadá

El primero de estos documentos acaba de ser publicado por el Science, Technology and Innovation Council of Canada (STIC) bajo el título State of the Nation 2008, Canada, Science, Technology and Innovation System. Para interpretar correctamente los hallazgos y recomendaciones de este documento es necesario tener muy presente el contexto que refleja, contexto que contiene los siguientes elementos impulsores:

- un sector privado que tiene a las estrategias de CTI como la parte esencial de su enfoque,
- Institutos de Educación Superior (IESs) y centros de investigación (públicos y privados) que desarrollan, reclutan y retienen fuertes bases de talento, e
- investigadores que mantienen al país en la frontera del conocimiento y trabajadores que ven y actúan sobre las oportunidades de trabajar de manera más inteligente y creativa.

El gobierno de Canadá ha escogido cuatro áreas prioritarias para la investigación: Medio Ambiente, Recursos Naturales y Energía, Salud y Ciencias de la Vida y Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC's). Apenas en septiembre de 2008, el ministerio de industria anunció 13 sub-prioridades dentro de las cuatro primeras.

En la búsqueda por mejorar su Sistema de CTI, Canadá ha ampliado también su definición de innovación de la siguiente manera:

“Innovación es el proceso por el cual individuos, compañías y organizaciones, desarrollan, dominan y usan nuevos productos, diseños, procesos y métodos de negocios. Estos pueden ser nuevos para ellos, para su sector, para su Nación o para el mundo. Los componentes de la innovación incluyen investigación y desarrollo, invención, inversión de capital y capacitación y desarrollo (de recursos humanos).”

Debe notarse el énfasis en la aplicación de las novedades, en su adopción y difusión en la economía y el papel de Agentes de difusión sociales que incluyen a individuos, empresas y universidades. Estos usuarios y productores de la innovación son parte del sistema de innovación y también incluyen a gobiernos, facilitadores y reguladores y la adopción y difusión son estimuladas por políticas públicas que incluyen asistencia financiera en la forma de apoyos directos e incentivos fiscales indirectos (en proporción 1 a 9), políticas de propiedad intelectual, así como políticas de competencia y regulatorias. Las firmas de capital de riesgo para innovación (venture capital) y otros inversionistas del sector privado que financian la innovación son también parte del sistema.

El desempeño en innovación es influenciado por múltiples sectores y políticas públicas en educación, ciencia y tecnología, industria y finanzas, desarrolladas por diferentes niveles de gobierno. Las políticas sobre migración, ciencia y tecnología internacional, comercio internacional e inversión extranjera también afectan los resultados en innovación.

Modelo canadiense de indicadores de innovación:

Indicadores globales

- Gasto nacional total en I+D como % del PIB.
- Gasto nacional por sector que lo aplica: gobierno federal, gobiernos estatales, IESs y empresas; cabe señalar que los apoyos directos y los incentivos fiscales se reflejan a través del gasto de las empresas y no el del gobierno federal.

Estos indicadores globales, considerados como una medida algo cruda, seguirán empleándose para efectos de benchmarking global del país.

## Otros indicadores

El modelo editado por Canadá seleccionó los indicadores clave que emplearán en lo sucesivo bajo dos criterios fundamentales: (a) aquellos que son internacionalmente comparables y que se actualizan anualmente, (b) los que permiten monitorear el avance en tendencias y temas específicamente canadienses. Este modelo clasifica a los indicadores en tres grandes categorías:

- (1) indicadores de innovación en los negocios,
- (2) indicadores de desarrollo y transferencia del conocimiento, e
- (3) indicadores de talento

### Indicadores de innovación en los negocios

- Productividad, crecimiento económico e innovación: este indicador se concentra en el análisis de las fuentes de crecimiento en la productividad en los negocios comparándose con las de los EEUU; destaca la brecha en la productividad total de los factores (o MFP: multifactor productivity en inglés) que distingue a las economías más innovadoras. En Canadá, preocupa también la pobre evolución de la productividad laboral que ya fue criticada en el caso de México por el reporte de OCDE (13). Para el análisis de este indicador en el caso de México parecería también recomendable la comparación con Corea del Sur como ha sido enfatizada por el más reciente reporte de la OCDE (14).
- Intensidad del gasto en I+D de las empresas, como % del PIB, comparado en la base de 30 países de OCDE (Main Science and Technology Indicators Database).
- Intensidad del gasto en I+D de las empresas, como % del PIB, comparado en la base de países OCDE, Ajustado por Variaciones en la Estructura Industrial (Productivity Commission 2007, Public Support for Science and Innovation, Research Report, Productivity Commission, Canberra).
- % de I+D realizado por las empresas.
- Apoyo gubernamental a I+D en las empresas como % del PIB y desglosado en apoyos directos y el costo de los incentivos fiscales (casi el 90%). En Canadá, de un gasto total de las empresas del orden de 1.06% del PIB (2006), 0.23% eran apoyos gubernamentales, con lo que la proporción del fondeo de I+D termina siendo una relación de (0.43/0.57 - privada/pública).

- Inversión de las empresas en maquinaria y equipo como % del PIB
- Capital de riesgo para la innovación como % del PIB. En 2006 el 35% de ese capital se aplicó en arranques (start-ups) o capital semilla.
- % de las ventas totales en productos innovadoras. No disponible en varios países, entre ellos los EEUU.
- % de firmas que colaboran en actividades innovadoras con aliados públicos o privados, por tamaño (PYMES y grandes). Con este indicador buscan monitorear el surgimiento de la innovación abierta.
- % de firmas que colaboran en innovación con IESs, por tamaño (PYMES y grandes).

Debe señalarse que se cuenta con información limitada acerca de los tipos de colaboración que existen y cuáles son más efectivos que otros, por lo cual no se tienen aún indicadores de este tipo.

- % de firmas que colaboran en innovación con el gobierno, por tamaño (PYMES y grandes).

#### Indicadores de desarrollo y transferencia del conocimiento

- Realización del gasto de I+D por las IESs, como % del PIB, comparado en la base de 30 países de OCDE (Main Science and Technology Indicators Database).
- Especialización (concentración, comparada con la concentración mundial) de las publicaciones del país en un campo de publicación.
- Factor de impacto relativo promedio en las citas sobre publicaciones por campo de publicación. Indicador de la calidad de lo publicado.
- Los rankings de Universidades o IESs en el mundo: Graduate School of Education, Shanghai Jiao Tong University - GSE-SJTU o Times Higher Education Supplement — Quacquarelli Symonds (THE-QS)THE-QS o World Economic Forum's (WEF) survey.
- % de la I+D plenamente financiada por empresas, que es realizada por IESs.
- Licencias de tecnología entre IESs / CPIs y empresas.
- PYMES escindidas de Universidades.
- Gasto gubernamental de I+D intramuros como % del PIB.

Debe recalcar que las patentes no han podido incorporarse entre los indicadores en ninguna de las categorías por dificultades tales como no poder juzgar cuáles han sido exitosas, es decir, cuáles se han convertido

en innovación y cuáles son endógenas o sólo extensiones de la innovación generada en otra parte.

#### Indicadores de talento

- Programa de evaluación PISA para estudiantes de 15 años de edad. En ciencia, lectura y matemáticas.
- Educación continua y conocimientos y habilidades en adultos. (Conference Board de Canadá).
- % de la población con educación terciaria (dividida entre College y University)
- Grados en ciencia e ingeniería como % del total de nuevos grados.
- Grados en negocios (Bachelors, MBAs y Doctorados) otorgados por cada 1000 habitantes, comparado con EEUU.
- Ranking internacional de las principales escuelas nacionales de MBAs. (Financial Times).
- Gerentes con experiencia de trabajo internacional.
- Graduados con PhD por cada millón de habitantes (países OCDE): ingeniería, ciencia y otros.
- Semilleros (internships) y becarios.
- Investigadores por cada 1000 empleados.
- Premios distinguidos internacionalmente reconocidos.
- Atracción de talento internacional mediante inmigración de personas altamente capacitadas.
- Tendencias en participación en los mercados de educación internacionales (% del total mundial).
- Estudiantes con VISA por país de origen.
- Cátedras de excelencia en investigación.

#### La primera encuesta nacional de innovación de EEUU

Aun cuando se han realizado diversas encuestas de innovación en Europa (la primera desde 1991) y Canadá con muy diferentes enfoques analíticos, en 2009 se propuso llevar a cabo la primera encuesta nacional de innovación en los EEUU, previamente sólo se realizaron algunas encuestas piloto. Esta encuesta ha sido propuesta y liderada por Duke University y por Georgia Institute of Technology y financiada por la Kauffman Foundation y la National Science Foundation (NSF).



Una diferencia fundamental en esta encuesta es el aseguramiento de que las empresas que respondan y se computen en los resultados serán realmente empresas innovadoras, lo cual será validado mediante diversas preguntas del propio cuestionario. Las preguntas buscan cubrir el rango completo del concepto de innovación y no sólo el de I+D en materia de la caracterización y clasificación contable de sus gastos, y esto permitirá que queden incluidos actores del proceso de innovación como clientes o proveedores de servicios y que se pueda registrar aun la innovación iniciada mediante la transferencia de tecnología de terceros.

Esta encuesta pondrá también un énfasis especial en analizar la evolución que se está dando hacia la innovación abierta, trata de identificar cómo y en qué grado está ocurriendo la división del trabajo innovador (DoIL en inglés). La hipótesis de trabajo es que la DoIL, en la medida que promueva la especialización, producirá una mayor eficiencia del sistema total, aumentará el ritmo del progreso tecnológico y en su momento, las eficiencias de escala, aprendizaje y explotación de la ventaja comparativa enfatizada por Adam Smith.

El concepto de mano de obra innovadora incluirá por ende todo el rango de actividades comprendidas en nuestro proceso de innovación, a saber: 1) investigación y generación de ideas y el refinamiento de la idea, incluye la evaluación de diferentes enfoques para hacer avanzar la idea hacia su viabilidad comercial; 2) desarrollo: reducción de esas ideas y conocimiento a su práctica comercial, incluye el trabajo científico y de ingeniería requerido para desarrollar prototipos o versiones "beta"; (3) comercialización, combina productos o servicios nuevos o mejorados con otras capacidades como manufactura, mercadotecnia, ventas y servicio para introducir los nuevos productos y servicios al mercado.

Se propone que la encuesta sea realizada a través de dos ciclos en los que el resultado del primero servirá para afinar la muestra del segundo. Actualmente se lleva a cabo el levantamiento de información y se pretende llegar a 20,000 negocios encuestados con un plazo límite a septiembre de 2013.

Será sumamente importante para México dar seguimiento a estos desarrollos al analizar la pertinencia del modelo desarrollado por Canadá como la aplicación de la encuesta Duke/GeorgiaTech (incluidas las referencias que puedan hacerse a ella en los Kauffman Data Symposium Proceedings).

Igualmente será importante sumar a este esfuerzo una investigación y seguimiento del esfuerzo que se realiza en el Reino Unido para diseñar un nuevo índice de innovación que permita medir mejor la contribución de la innovación al crecimiento de la productividad. Este proyecto está siendo ejecutado bajo la dirección del National Endowment for Science, Technology and the Arts of U. K.

En lo referente a la relación con la ingeniería, además de revisar las evaluaciones y juicios críticos que involucren a esta rama profesional en estos trabajos innovadores sobre las métricas de la innovación, será menester, en especial a partir del diseño realizado por Duke/GeorgiaTech para su encuesta, señalar con precisión el papel que deben jugar los ingenieros en el análisis e interpretación de una encuesta así, pues será menester asegurar que en cada variable o cada elemento de las muestras que sea considerado como innovador se cuente con una apreciación certera de que la innovación realmente se ha materializado, para lo cual es esencial la participación de la ingeniería, en especial si se trata de innovación tecnológica.

## C. Impactos y capital humano de la ingeniería: México

### 1. Impactos de la ingeniería en México

El entendimiento cabal del tema de la innovación (e implícitamente su relación con la ingeniería) resulta fundamental para entender por qué México resulta mal calificado en sus posiciones de competitividad internacional en encuestas como las de WEF (posición 60) o del IMD (posición 56) en especial en los renglones de infraestructura tecnológica e innovación. Desde luego, estas posiciones explican en buena parte por qué México no ha crecido económicamente a la velocidad y con la magnitud de otros países.

Se dispone de diversas bases de datos con información acerca de Innovación Tecnológica en México que, consecuentemente, involucran actividades de ingeniería.

Una de las bases más confiables es la de los ganadores de los Premios a la Innovación Tecnológica de ADIAT (15) desde 1992. Por los criterios empleados para la selección de los proyectos ganadores no existe duda de que se trata de verdaderas innovaciones, que han encontrado una entrada exitosa al mercado y no únicamente de proyectos de I+D que no hay alcanzado ese nivel de logro. Los participantes que no resultaron ganadores casi siempre carecían de un impacto significativo sobre el

mercado aunque frecuentemente han sido desarrollos tecnológicos muy meritorios.

Del análisis de esta base de 45 ganadores del Premio ADIAT, bajo diversas modalidades, se derivan las siguientes conclusiones:

Distribución según el objeto de la innovación

Innovación de Producto:	56%
Innovación de Proceso:	29
Innovación Producto/Proceso:	13
Innovación Organizacional:	2

Vale la pena señalar la percepción de diversos expertos de que en ese periodo la innovación de proceso fue ampliamente dominante, como condición indispensable para sobrevivir frente a la rápida apertura de la economía, sin embargo, muchas de estas iniciativas de innovación no fueron debidamente documentadas y se requeriría de un esfuerzo de investigación dedicado para rescatar tal información.

Distribución según el nivel de innovación

Innovación nueva para el país:	69%
Innovación nueva para el mundo:	31

Como cabría esperarlo, en estas empresas ganadoras la innovación no se queda únicamente en el nivel de nueva para la empresa.

Distribución según el nivel tecnológico

Tecnología Media:	69%
Tecnología Baja:	20
Tecnología Alta:	11

Distribución según el motivo para su desarrollo

Reducción de Costos	42%
Mejoría de Ingresos	38
Reducción de Riesgos	11
Captura de Oportunidades	7
No disponible	2

Distribución según el nivel de articulación del desarrollador

Desarrollo no articulado (interno)	67%
Convenio con Centro de Desarrollo	18
Integración con usuario	9
Contrato bilateral formal	4
No disponible	2

Los temas en los que se enfocaron estos ganadores se listan con respecto a su frecuencia:

1. Materiales (Polímeros y sus formulaciones)	22%
2. Acero (Tecnologías de Proceso de reducción directa)	16
3. Partes automotrices (Componentes y Sistemas)	11
4. Electrodomésticos	7
5. Biotecnología (diversos)	7
6. Alimentaria (azúcar, nopal)	7

El resto de los ganadores muestran una significativa dispersión de temas que incluyen: Maquinaria, petróleo, ecología, agricultura, química, electrónica, electricidad, calzado y dispositivos biomédicos.

Esta distribución de temas es consistente con la crítica hecha por la OCDE en su Revisión de las Políticas de Innovación de México. (16)

Se recomienda fuertemente extender este tipo de análisis sobre otros bancos confiables de información acerca de innovaciones tecnológicas que ya hayan entrado con éxito al mercado, en especial, al consultar los bancos pertinentes de CONACYT (por ejemplo, Fondo de Emprendedores). Al cumplir con esta recomendación será preciso asegurar cuáles de los proyectos incluidos en los programas analizados han logrado la esperada entrada al mercado, es decir, se han traducido en innovación, y cuáles están todavía registrados como meros proyectos de I+D. Por otra parte el Premio Nacional de Tecnología no nos ofrecerá necesariamente una base consistente de innovaciones tecnológicas realizadas, pues el PNT califica primariamente el sistema de gestión tecnológica de la empresa o institución participante refiriéndose sólo parcialmente a las innovaciones tecnológicas que haya producido; el empleo de esta base de información requeriría un detallado análisis de las innovaciones tecnológicas que estas empresas hubieran informado.

## 2. Capital humano e infraestructura para la innovación en México

El ya citado Reporte de Perspectiva sobre Ciencia, Tecnología e Industria 2012 (10) en su Sección de Country Profiles correspondiente a México enfatiza como la mayor debilidad estructural de México su bajo nivel de capital humano.

Este bajo nivel se refiere no sólo, ni preponderantemente, al capital humano en ciencia e ingeniería, sino a la baja dotación de estudiantes en nivel terciario (profesional) en lo general. Paradójicamente, este bajo

nivel hace que el porcentaje de estudiantes de ciencia e ingeniería del total de profesionales aparezca a niveles inclusive ligeramente arriba del promedio de los países OCDE, por lo cual esta estadística es realmente poco significativa.

Es mucho más significativo señalar que la producción de profesionales de la ingeniería está en una proporción del orden de 1.5 veces la producción de profesionales científicos.

Esto podría señalar una predisposición a la innovación tecnológica, habida cuenta de que el país contara con un buen nivel de producción de los profesionales requeridos para la investigación básica y que, además de ello, se tuvieran en operación dispositivos efectivos para la transferencia de tecnología de la academia hacia la aplicación industrial, lo que aún no se ha dado. En breve será lanzado el proyecto para la formación de las oficinas de transferencia de tecnología desde las instituciones dedicadas a la investigación básica o incluso a la investigación aplicada; en virtud de ello se vuelve aún más necesario fortalecer las habilidades de desarrollo tecnológico y desarrollo de producto/proceso.

Por otra parte, el desarrollo innovador podría apoyarse en mecanismos de transferencia de tecnología desde el extranjero, como fue el caso del Japón hasta la década de 1970, el de Chile desde la década de 1980 o el de China desde la década de 1990. Desafortunadamente, en México no se cuenta con ningún programa o política dedicados a apoyar la transferencia de tecnología desde el exterior.

Para empezar a construir una mejor idea sobre la dotación de capital humano en ingeniería en México, vale la pena revisar las cifras totales más recientes: (17 y 17b)

- Población de Ingeniería en el ciclo escolar 2011-2012: 816,627 estudiantes de licenciatura
- Egresados en el ciclo -2011-2012: 87,067 de licenciatura
- Graduados en el ciclo 2011-2012: 66,045

Estas cifras podrían parecer satisfactorias en comparación con las de graduados de Estados Unidos en 2006, del orden de 70,000, pero éstas también se quedan cortas en comparación con los países que están acelerando más su crecimiento con base en la innovación; los ejemplos más destacados son China con cifras del orden de 600,000 e India de 350,000 para esas mismas fechas. No obstante, existen diversos análisis

críticos de esas cifras que las hacen poco comparables; por ejemplo, McKinsey concluye que sólo el 10% de los ingenieros chinos son internacionalmente competitivos y que eso mismo pasa con el 25% de los ingenieros indios.

En México no disponemos de una valoración suficientemente confiable de la calidad de nuestros egresados y graduados de las licenciaturas de ingeniería, pues ni siquiera se ha homologado la aplicación de exámenes de egreso como los de CENEVAL, pues estos no obligan a las instituciones. Sin embargo, muchos *currícula* de licenciatura en ingeniería están del lado largo, demandan típicamente 9 o 10 semestres de estudios. Es crucial contar con sistemas de evaluación de aplicación general y analizar su correlación con los diversos certificados que se otorgan en los Estados Unidos.

Al nivel de estudiantes de postgrado, la población en el ciclo escolar 2010-2011 fue de 23,228 estudiantes en Ingeniería y Tecnología, de los cuales sólo 3,898 son de doctorado. Los egresados en el ciclo 2009-2010 fueron 6,229 y sólo 434 de doctorado. El número total de graduados de posgrado en Ingeniería y Tecnología en el ciclo 2009-2010 fue de 4,438 de los cuales sólo 466 correspondieron a doctorado.

En el ámbito del ejercicio profesional, el perfil ocupacional de los ingenieros relacionados con la innovación ha cambiado sustancialmente en las dos últimas décadas.

En las empresas industriales y las grandes empresas del sector público, la presión por mantener estructuras de costos y gastos competitivos ante la apertura económica generó múltiples acciones de reducción de personal que afectaron considerablemente a la población de ingenieros en funciones técnicas cercanas o incluso propias de la operación. Las empresas mayores recurrieron transitoriamente a la formación de grupos técnicos centrales como "ingeniería de procesos", "ingeniería de mantenimiento", "servicios técnicos", etc.; posteriormente esos grupos fueron también reducidos o eliminados. No existen actualmente estadísticas disponibles sobre estos movimientos.

Este personal técnico cumplía con la realización de las funciones tecnológicas necesarias para establecer el puente entre la investigación aplicada o aún la investigación básica y la aplicación en el mercado, la innovación.

Estas deficiencias configuran los que la OCDE (16) denomina como baja capacidad de absorción tecnológica de las empresas mexicanas como otra de las debilidades importantes del Sistema de Innovación Nacional y de los Sistemas de Innovación Regional.

Frente a estas carencias, que se presentan sobre todo en las PYMES mexicanas pero también en las empresas industriales grandes, existe la formidable alternativa de los centros públicos de investigación (CPI's) entendido el concepto en su sentido más amplio, es decir, considera a los CPI's del Sistema CONACYT, a los Institutos con este enfoque de las Instituciones de Educación Superior y a los CPI's de institutos intramuros de otros sectores de la administración pública federal.

Estos centros tienen la capacidad, en proporciones variables, de tender los puentes necesarios entre la investigación académica y la aplicación industrial. En estos centros reside una porción significativa de los ingenieros dedicados en México a generar innovación desde los diferentes elementos precursores.

Dada esta importante circunstancia, es crucial llevar al máximo la efectividad de este grupo de instituciones que logre plenamente su articulación como red y como organizaciones integradas en torno a procesos que les provean los elementos de planeación estratégica esenciales para lograr la óptima focalización de sus esfuerzos.

Es igualmente importante, dimensionar la aportación que las disciplinas de ingeniería realizan a través de estos centros y poder contar con las estadísticas que resultaren pertinentes para tal fin.

### **CPI's del Sistema CONACYT**

#### Desarrollo Tecnológico:

CIATEC	CIQA
CIATEJ	COMIMSA
CIATEQ	FIDERH
CIDESI	INFOTEC
CIDETEQ	

#### Ciencias exactas y naturales:

CIAD	CIMAV
CIBNOR	CIO
CICESE	INAOE
CICY	INECOL
CIMAT	IPICYT

#### Ciencias Sociales y Humanidades:

CIDE	COLMICH
CIESAS	COLSAN
CENTRO GEO	ECOSUR
COLEF	MORA

En grado variable, todas estas instituciones realizan las funciones tecnológicas-puente referidas, propias de los elementos de Desarrollo Tecnológico y Desarrollo de Producto/Proceso, combinándolas con proporciones igualmente variables de Investigación Aplicada e incluso Básica.

### **CPI's de SEP / IPN**

#### Desarrollo Tecnológico

CIDETEC	CIITEC
CICATA (Altamira)	CICATA (Legaria)
CICATA (Querétaro)	CMPL
CRPL	CIDETI (Tijuana)

#### Ciencias Exactas y Naturales

CINVESTAV	CICIMAR
CIEMAD	CIBA
CIC	CBG
CEPROBI	

#### Ciencias Sociales y Humanidades

CIECAS	CIIDIR (Durango)
CIIDIR (Oaxaca)	CIIDIR (Guasave)
CIIDIR (Michoacán)	

### **CPI's UNAM**

Centro de Nanociencias y Nanotecnología	Centro de Investigaciones en Ecosistemas CIECO
Centro de Geociencias	Instituto de Investigación en Materiales
Centro de Ciencias de la Atmósfera	Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada (CFATA)
Centro de Investigación en Energía	Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET)
Centro de Ciencias Genómicas	Instituto de Ingeniería

### **CPI's sectoriales**

IMP  
IIE  
ININ



## IMTA

Además de las instituciones pertinentes del sector salud, SAGARPA, SEMARNAT, etc.

Tradicionalmente se ha pensado que sólo es importante tener en cuenta para estos fines a los CPI's con clara orientación tecnológica. No obstante, si se considera la tendencia mundial creciente a que los centros con orientación basada en ciencias generen también innovación tecnológica de manera directa y que para hacerlo podrían igualmente requerir funciones de ingeniería, se está volviendo crecientemente importante considerar también la participación de este tipo de centros de investigación basada en ciencias.

Adicionalmente, se dispone de una creciente dotación de empresas con un esfuerzo bien estructurado de I+D, con una también creciente vinculación con CPI's e Institutos; algunas de ellas ofrecen también servicios a otras empresas industriales. Se lista una muestra representativa:

Probiomed S. A. de C. V.	CIP Grupo COMEX
Ternium	CID/KUO/DESC
Mabe S. A. de C. V.	PROLEC GE S. de R. L. de C. V.
Delphi Automotive Systems	Plamex
Sony Baja California S. A. de C. V.	UHDE Engineering de México, S. A. de C. V.
SIPSA S. A. de C. V. (Peñoles)	3M México, S. A. de C. V.
CEMEX S. A. de C. V.	CID Mexichem
Grupo Bimbo	Dupont México
Schering Plough S. A. de C. V.	Pfizer, S. A. de C. V.
Silanes	Vitro Corporativo S. A. de C. V.
Centro de Investigación y Desarrollo CARSO	

### **Iniciativas de impulso a la innovación en México: programas y fondos federales y mapas de ruta tecnológica sectoriales**

A pesar de ser tan importantes en la generación de empleo, las pequeñas y medianas empresas (Pymes) mexicanas no han alcanzado un nivel de competitividad suficiente como para posicionarse en el mercado global, ni para integrarse como proveedoras de grandes empresas. El Plan Nacional de Innovación considera ésta como una estrategia para mejorar la posición competitiva de las empresas y como factor de crecimiento y desarrollo de las mismas. No obstante, , la OCDE

señala que “México ha avanzado con demasiada lentitud hacia una vía de crecimiento impulsado por la innovación”, e insiste en que el gobierno mexicano debería dar una mayor prioridad a las reformas y políticas que pueden incrementar las capacidades para impulsar la innovación (16b).

Al respecto, algunas instituciones han diseñado instrumentos para incentivar la innovación y e intensificar el fomento a la investigación científica y el desarrollo tecnológico en el sector productivo. Algunas de estas iniciativas son las siguientes:

- **Fondo sectorial de innovación (Secretaría de Economía – CONACYT).** El objetivo de este fondo es brindar un marco de apoyo a las empresas y grupos académicos para la realización de investigación científica, desarrollo tecnológico, formación de recursos humanos, infraestructura, así como la conformación y desarrollo de redes entre empresas y actividades de base tecnológica, unidades de vinculación, y agrupaciones de empresas. También considera las actividades de vinculación entre generadores de ciencia, tecnología e innovación y los sectores productivos y de servicios; así como la realización de proyectos de innovación identificados como prioritarios para el desarrollo regional. Por último, el fondo también se orienta hacia el establecimiento de sistemas de gestión de tecnología en las empresas; la creación de fondos semilla y de capital de riesgo para la formación de empresas de base tecnológica y la creación y consolidación de parques científicos y tecnológicos.
- **Fondos de innovación tecnológica (Secretaría de Economía – CONACYT).** Es un fideicomiso creado para apoyar a las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES), así como a empresas tractoras (grandes empresas que fomentan el crecimiento y desarrollo económico a nivel Macro ya que acarrear consigo la activación de economías globales al generar empleos de forma directa y por medio de la subcontratación de servicios y consumo de productos de otras empresas). Las propuestas que provengan de empresas grandes deberán incorporar, obligatoriamente, la coparticipación tecnológica de al menos diez micro, pequeñas o medianas empresas (MIPYMES) con aportaciones concretas en el desarrollo del proyecto y que busquen incrementar su nivel de competitividad a través del desarrollo de nuevos productos, procesos de manufactura, materiales o servicios. Los sectores de apoyo son: Sistemas de manufactura avanzada; Tecnologías para la salud; Agroalimentario; Biotecnología; Nanotecnología;

Tecnologías móviles y multimedia y Tecnologías limpias y energías renovables.

- **Programa de estímulos a la innovación (CONACYT).** Son programas de apoyo para las empresas que invierten en proyectos de investigación, desarrollo de tecnología e innovación dirigidos al desarrollo de nuevos productos, procesos o servicios. Estos programas buscan propiciar la vinculación de las empresas en la cadena del conocimiento “educación-ciencia-tecnología-innovación”; su articulación con la cadena productiva; formar e incorporar recursos humanos especializados a las empresas; generar nuevos productos, procesos y servicios de alto valor agregado; así como contribuir a la generación de propiedad intelectual en el país. Existen tres modalidades: INNOVAPYME, PROINNOVA e INNOVATEC.

Por otro lado, existen en México esfuerzos para diseñar los diferentes caminos de acción empleando una de las herramientas de planeación estratégica más empleadas en los últimos años en el mundo y en los que la ingeniería desempeña un papel fundamental: los mapas de ruta tecnológica. La popularidad de esta herramienta ha generado adaptaciones con diferentes propósitos en una amplia variedad de sectores y a todos los niveles, desde pequeñas empresas a programas nacionales. Asociaciones industriales, gremiales y agencias gubernamentales han empleado los mapas de ruta tecnológica para determinar políticas tecnológicas nacionales; para establecer la orientación estratégica en ciertos segmentos industriales y para tomar decisiones en temas de infraestructura, inversión de capital y desarrollo de recursos humanos.

México cuenta actualmente con mapas de ruta tecnológica en algunos sectores productivos. Uno de los promotores de este esfuerzo ha sido PROMÉXICO, organismo del Gobierno Federal mexicano encargado de fortalecer la participación de México en la economía internacional apoyando la actividad exportadora de empresas establecidas en el país y coordinando las acciones para atraer la inversión extranjera directa a territorio nacional. Los mapas de ruta tecnológica publicados por PROMEXICO son los siguientes:

- **Mapa de ruta de diseño, ingeniería y manufactura avanzada.** La orientación de este documento es hacia la manufactura avanzada centrada en la gestión de talento y hacia el impulso de las capacidades de diseño, desarrollo e ingeniería en los procesos, productos y materiales producidos en México. Es un

plan que recoge las impresiones y perspectivas de futuro de un grupo de líderes de los sectores automotriz, aeroespacial y electrónico; así como representantes de la academia, centros de investigación y gobierno.

- **Mapa de ruta de dispositivos médicos.** En nuestro país la industria de dispositivos médicos está compuesta principalmente por pequeñas y medianas empresas que requieren encauzar su potencial para desarrollar cuadros tecnológicos más avanzados y con mayor nivel de integración en la cadena productiva. Este es el objetivo que persigue este mapa de ruta tecnológica, además de establecer las líneas de acción en las que debe centrarse la estrategia del sector: diseño e integración nacional de productos; incorporación a redes nacionales; atracción de inversión extranjera directa; certificación de empresas nacionales; desarrollo de proveedores y consolidación de nichos de mercado.
- **Mapa de ruta tecnológica de la industria aeroespacial de México (Plan de vuelo).** Este documento es el resultado del esfuerzo de coordinación entre el sector empresarial, académico y público para generar una visión compartida del sector aeroespacial mexicano y establecer compromisos para su desarrollo. Incluye un análisis prospectivo sobre las tendencias globales del sector aeroespacial y de la defensa, considerando las implicaciones para México. Por último, identifica a las regiones más importantes de la industria aeroespacial mexicana, desde la perspectiva de las exportaciones y la articulación de clústeres: Baja California, Chihuahua, Sonora y Querétaro. Hasta la fecha han sido desarrollados mapas de ruta tecnológica específicos para las regiones de Baja California y Chihuahua.

Además de los mapas de ruta tecnológica desarrollados por PROMÉXICO, instituciones como Pemex y el Instituto Mexicano del Petróleo también han adoptado este enfoque para planear las Áreas Tecnológicas Estratégicas de los proyectos Delta del Grijalva, Crudo Ligero Marino y Activo de Producción Ku-Maloob-Zaap, y se tiene programado el desarrollo de los mapas de Ayatsil-Tekel y Tsimin-Xux, así como de los proyectos estratégicos para aguas profundas y campos maduros y no convencionales. Con base en estos mapas, el IMP junto con Pemex Exploración y Producción enfocarán la planeación conjunta de la investigación y desarrollo tecnológico, identificarán las necesidades y acciones tecnológicas prioritarias y podrán realizar un cruce entre los proyectos pasados y presentes con el fin de identificar si algunos de los

resultados de investigación y desarrollo tecnológico pueden ser aplicados para cubrir una necesidad actual.

Igualmente, el Instituto de Investigaciones Eléctricas en colaboración con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) ha coordinado el trabajo conjunto de varias instituciones (Secretaría de Energía, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretaría de Economía, Comisión Federal de Electricidad, universidades, asociaciones gremiales y sectoriales y empresas privadas) para avanzar en la elaboración y definición de mapas de ruta tecnológica como medios para la diversificación energética y el desarrollo sustentable de México. Actualmente están disponibles los resultados del "Taller de Ruta Tecnológica de la Energía Eólica", y "Taller Mapa de Ruta de la Energía Fotovoltaica en México".

### 3. Indicadores de innovación y su relación con la ingeniería en México

La medición confiable de la innovación es fundamental en el diseño de políticas públicas. Dicha medición ayuda a los encargados de elaborar políticas a evaluar su eficiencia y la del gasto que representan, así como a calcular la contribución de la innovación para alcanzar objetivos sociales y económicos; además, legitima la intervención pública reforzando su responsabilidad. Sin embargo, medir la innovación no es tarea sencilla y los esfuerzos que se han hecho hasta hoy resultan insuficientes, ya que hacen falta indicadores adecuados que cuantifiquen el papel que desempeña la innovación en la economía actual (17c).

Una fuente importante de datos sobre innovación en México es la Encuesta sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico, que ha incluido en sus versiones de 2006, 2008 y 2010 secciones específicas denominadas Módulos de Innovación Tecnológica, además de los resultados obtenidos en la Encuesta de Innovación Tecnológica de 2001. Estas encuestas se diseñaron siguiendo criterios del Manual de Oslo, en forma paralela a los "Community Innovation Surveys" (CIS) que ha venido realizando la Unión Europea desde 1991. Estos documentos contienen un importante acervo de información aprovechable, pero no consideraban formalmente establecer un modelo de indicadores de innovación que permitiera formular objetivos y políticas para buscar su logro. En la versión anterior de este documento, que forma parte de los entregables de la segunda fase del Estudio del Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo, se incluyó la recomendación de adoptar este propósito, concretarlo y aprovechar al máximo las nuevas

experiencias que están generando Canadá y los EEUU. Al respecto, la formulación de un sistema de indicadores de ciencia, tecnología e innovación cobró mayor fuerza cuando el CONACYT y el INEGI impulsaron la creación del Comité Técnico Especializado en Estadísticas de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTEECTI), en octubre de 2009.

Por su parte, el Foro Consultivo Científico y Tecnológico organizó conjuntamente con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, la Secretaría de Economía y la Secretaría de Educación Pública el *1er. Taller sobre Indicadores de Ciencia, Tecnología e Innovación*, llevado a cabo en febrero de 2010. El taller permitió al Comité Técnico Especializado en Estadísticas de Ciencia, Tecnología e Innovación reflexionar acerca de qué información es la que se genera, si es suficiente, si se elabora con rigor científico y si se produce con periodicidad.

Entre los indicadores básicos de actividades científicas y tecnológicas que son generados por CONACYT destacan los relacionados con el gasto y los recursos humanos en Investigación y Desarrollo Experimental (IDE), así como los de patentes, publicaciones científicas, balanza de pagos tecnológica, comercio exterior de bienes de alta tecnología, uso de tecnologías de la información y comunicaciones (TIC's), y de manera especial, la innovación en el sector empresarial. Es en estas últimas categorías donde se aprecia con mayor claridad la labor de los ingenieros mexicanos y donde se encuentra un importante acervo de información útil para el gremio; no obstante, se requiere un trabajo adicional para obtener la información más relevante al respecto, ya que una parte importante de indicadores versan en torno a la aplicación de recursos financieros.

## D. Efectividad de los sistemas de centros de I+D que contribuyen al desarrollo tecnológico y desarrollo de producto / proceso

### 1. Criterios y funciones tecnológicas esenciales

Como primer criterio a considerar se propone el de la efectividad de los centros de I+D en lo individual, definida como su capacidad de producir resultados de alto impacto en los objetivos que buscan o en los que participan y referida en este caso a su contribución a la innovación tecnológica y, más específicamente a los elementos de desarrollo tecnológico y de desarrollo de Producto/Proceso del proceso de innovación. Esta efectividad individual parece ser primariamente

consecuencia de varios factores fundamentales. Entre ellos, se suelen proponer los siguientes:

- a) La masa crítica de personal tecnológico con la que cuenta el centro, expresada no solamente como la cantidad total de tecnólogos, ni siquiera desglosada en términos de su composición (Post-doctorados, doctorados, maestrías, y licenciaturas), sino desplegada en términos de sus habilidades o competencias tecnológicas medulares (“core”) y de ahí desglosada en las categorías ya descritas. Es también frecuente que una masa crítica se vincule con resultados ya específicos generados por el centro en una determinada área de competencia. Esta masa o masas críticas en habilidades o competencias tecnológicas concretas es lo que constituye realmente la especialidad o la competencia misma del centro.
- b) La red externa de recursos humanos de alta especialidad a la que el centro tiene acceso real a través de diversos mecanismos como: participación directa en proyectos realizados, asesor tecnológico, disposición a consultas tecnológicas puntuales u otras modalidades.
- c) El sistema de planeación estratégica y de proyectos tecnológicos de que dispone el centro, apoyado en su experiencia institucional acumulada en sus áreas de competencia.
- d) El equipamiento e infraestructura de que dispone el centro que se vincule directamente con apoyar y fortalecer sus áreas de competencia.
- e) Otros.

Estas consideraciones adquieren especial relevancia para el tema que aquí se analiza frente a la necesidad de elevar la efectividad de los centros de I+D en relación con la innovación tecnológica no solo en lo individual sino como sistema o sistemas de centros, como se puede constatar en diversas referencias exitosas (ejemplo en 8).

En lo general, la presentación de la oferta de los centros de I+D de México (CPI’s e Institutos) adolece de falta de precisión en la caracterización de sus competencias reales de I+D, en algunos casos influenciada seguramente por la conveniencia de listar ampliamente su oferta de servicios.

La prueba de fuego de este tipo de criterio se materializará mediante la capacidad del centro de desarrollar o contribuir sustancialmente a la elaboración de un “Roadmap” tecnológico y de una planeación completa de proyectos de I+D (básicamente normativa o sistemática).

Un segundo criterio a tener en cuenta para la efectividad individual del centro es el de su orientación hacia mercados definidos. Este criterio es esencial para que el centro de I+D posea por si mismo capacidades tales como:

- a) Identificar con una visión de plataforma de productos, qué productos específicos pueden requerir o no esos mercados.
- b) Entender al eventual aplicador ("cliente") de la innovación y anticipar la orientación y enfoque comercial requerido en éste, así como la compatibilidad con sus líneas de productos actuales o las posibles implicaciones de incursionar en otras.

No se ha identificado un posicionamiento sistemático de los centros de I+D de México con base en su orientación a mercados.

Nuevamente, la prueba de fuego para el centro de I+D estará en su capacidad de desarrollar o contribuir sustancialmente a la elaboración de un "Roadmap" de aplicación y de una planeación completa de las actividades comerciales de la etapa de desarrollo de producto/proceso.

Un tercer aspecto a considerar cuidadosamente para asegurar la efectividad del esfuerzo innovador se refiere precisamente a esa crítica realizada por la OCDE acerca de la baja capacidad de absorción tecnológica de muchas empresas mexicanas. Típicamente, esa baja capacidad de absorción se puede relacionar con la inexistencia o eliminación (por razones de ahorro de costos) de diversas funciones tecnológicas que frecuentemente resultan esenciales para llevar hasta el mercado una innovación; de esta consideración resulta que la capacidad de una empresa de absorber una tecnología difiere incluso radicalmente de la de otra en el misma rama industrial o de negocio.

Este ha sido uno de los temas que ha ocupado a Genichi Taguchi en su reconocido esfuerzo por contribuir a la efectividad del desarrollo de producto/proceso y eventualmente, a la del desarrollo tecnológico.

La ilustración muestra un diagrama muy genérico, típico de los desarrollos para una industria de procesos. Este diagrama debe ser convenientemente expresado para cada sector posible de aplicación de la innovación.

La cuestión fundamental para los centros de I+D bajo esta consideración se refiere a su capacidad para:

- a) Identificar claramente las funciones tecnológicas que debieran existir en la empresa que aplicará la innovación.
- b) Validar y asegurarse de la existencia de las funciones más importantes para el caso.



- c) Poder proveer o sustituir, por sí mismos o en coordinación con terceros, las funciones tecnológicas que estuvieran carentes en la empresa que aplicará la innovación, y tender así el puente necesario para que ésta ocurra.

Ni en México ni en otros países se dispone de información estadística que cuantifique estos factores que, cualitativamente, pero en alto grado, parecen determinar la efectividad del esfuerzo innovador.

La investigación disponible en materia de gestión tecnológica no ha cubierto sistemáticamente estos aspectos, pero existe la necesidad de hacerlo, en especial frente a la conveniencia de elevar la efectividad de las valiosas instituciones de que disponemos mediante su articulación como red.

Por lo que se refiere a este tercer aspecto es igualmente necesario que las empresas más interesadas en el esfuerzo de innovación participen en la investigación de estas deficiencias de funciones tecnológicas dentro de sus propias estructuras. Tampoco se ha podido localizar una determinación cuantitativa de lo que OCDE denomina capacidad de absorción tecnológica de las empresas; la calificación de que esta es baja es resultante de una percepción generalizada de personas e instituciones consultadas.

## 2. Participación directa de la Ingeniería en el esfuerzo de innovación tecnológica y en los elementos que participan en su generación

No existen estadísticas confiables acerca de la participación de la Ingeniería en el esfuerzo integral de Innovación Tecnológica.

En sus informes generales del estado de la ciencia y la tecnología, en sus capítulos sobre recursos humanos (18), CONACYT consigna para 2011 que el número total de la población económicamente activa ocupada en ciencia y tecnología con estudios de ingeniería es de 603,400 al nivel de licenciatura, 33,000 al de maestría y 3,300 al de doctorado, para un total de 639,700; informa también que para el mismo periodo esa cifra representa el 41.8% de un total de 1,528,000 ingenieros, cifra que incluye ingenieros con ocupaciones diferentes a la ciencia y tecnología. Esto compara con las cifras correspondientes a las ciencias naturales y exactas (con un total de 167,400 ocupados en ciencia y tecnología), que reflejaría una relación de 3.8 a 1 entre ambas áreas profesionales, que sería muy superior a la que informa OCDE, por lo que se infiere que las bases no son equivalentes.

La información más cercana y confiable es la que CONACYT consigna acerca del personal adscrito a los CPI's de su propio Sistema (19). Sin embargo, tal información solo detalla cuántos "técnicos, asistentes de investigador y tecnólogos" (3,694 personas) y cuántos Investigadores (2,358 personas) existen en tales CPI's sin precisar cuántos ingenieros, con la complicación de que en ambas categorías tienen cabida los ingenieros.

La Encuesta Sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico (ESIDET 2010) no aborda tal estadística y aunque identifica cuáles son las principales fuentes de innovación internas en las empresas, no lo hace a nivel de área profesional. Informa que aproximadamente el 18% de las fuentes están en departamentos de ingeniería, pero todos los demás departamentos (servicios al cliente, producción, I&D, etc.) que identifica también como fuentes internas, suelen estar tripulados por ingenieros.

### 3. Metodologías que aceleren los procesos de innovación apoyados en la ingeniería en México

Sin menoscabo de la trascendencia de atender a los dos incisos previos, un adecuado esfuerzo por aumentar la efectividad de los procesos de innovación deberá prestar también atención a metodologías que de manera selectiva aumenten su calidad y sus aspiraciones.

En México no se detecta aún la presencia de prácticas suficientemente difundidas con este fin.

Particularmente desde la perspectiva de la ingeniería, en el ámbito internacional adquieren especial relevancia algunas de ellas.

Simplemente como ejemplo, se pueden mencionar:

- a) La ingeniería concurrente o ingeniería simultánea: que es una metodología orientada a integrar sistemáticamente y en forma simultánea el diseño de productos y procesos. (20)
- b) Los métodos Taguchi, genéricamente calificados como "calidad en ingeniería" y que se apoyan en técnicas estadísticas para mejorar la variación (y no sólo mejorar la media) en un objetivo o meta técnica. Estos métodos se consideran también como una forma de integrar las funciones de ingeniería y de I+D que aseguran la robustez de productos y procesos desde su fase de diseño (desarrollo de producto / proceso) o aún más atrás (desarrollo tecnológico), por ello también se conoce como estrategia de robustez. La estrategia de Taguchi incluye tres etapas: (i) Diseño del sistema (nivel conceptual) que por sí mismo demanda de creatividad e innovación, (ii) Diseño de parámetros para eliminar

las variaciones de desempeño e incluso en la funcionalidad del producto, y (iii) Diseño de tolerancias. (21)

Los métodos Taguchi se aplicaron inicialmente a productos y procesos de la industria manufacturera pero su alcance se ha extendido rápidamente. Del mismo modo, se ha buscado su aplicación desde el elemento de desarrollo tecnológico de una innovación. Una gran ventaja de los Métodos Taguchi es que son fácil y directamente traducibles a términos monetarios.

- c) La aplicación de otras herramientas como las de creatividad (TRIZ en especial) o de manera más efectiva, un proceso como innovación sistemática.

En esta materia, lo más importante es propiciar una conversación continua entre los centros de I+D y empresas y de ser posible, establecer ciertos acuerdos básicos que contribuyan al establecimiento de una cultura.

## E. Trascendencia de la articulación

Como se indicó en el último párrafo del inciso A.2. una dimensión crecientemente importante de la innovación en el mundo es la del nivel de articulación con el entorno cuya clara tendencia es hacia la integración de bases de datos entre desarrolladores y aplicadores o usuarios y, aún más allá hacia la llamada "innovación abierta" en la que se favorece la participación integrada de todos los protagonistas del proceso: universidades y CPI's , empresas (públicas o privadas) y gobiernos (en especial a través de sus políticas de desarrollo).

Uno de los modelos que se está difundiendo con mayor vigor para este fin es el de la triple hélice de Etzkwotiz. No obstante es preciso trabajar en aterrizar su significado e implantación concreta, pues frecuentemente su mención no va más allá de un diagrama conceptual del "debiera".

## F. Profundización del papel y relevancia de la ingeniería en la innovación en México. Recomendaciones.

### 1. Estrategia rápida de lanzamiento y consolidación

Para acelerar esta estrategia se propone aplicar en el corto plazo una metodología de tipo simposio, con la participación de los directores de los centros de I+D y de las empresas involucradas, en la cual se cubran

simultáneamente los siguientes puntos, se busque hasta donde sea posible el consenso de los participantes:

- a) Identificación de criterios y de funciones tecnológicas que debieran emplearse para formular la oferta de competencias medulares de cada centro de I+D.
- b) Definir una base taxonómica que pudiera emplearse para dicha formulación (ejemplo: plataformas tecnológicas europeas).
- c) Definir una base taxonómica para referir mercados posibles (ejemplo: definición de sectores de la economía del conocimiento de la Unión Europea).
- d) Realizar un levantamiento estadístico para empezar a definir cuantitativamente el alcance de la ingeniería en la innovación.
- e) Levantar una relación de proyectos de I+D en los que las actividades de ingeniería han jugado o estén jugando un papel significativo en concretar la innovación.
- f) Establecer, a partir de estos consensos cuáles podrían ser los conceptos fundamentales a considerar para lograr definir y consolidar una red efectiva (o varias redes) de los centros de I+D, cuáles podrían ser las funciones primarias a cumplir por esa red, qué funciones básicas debieran considerarse para la participación de las empresas que se involucren y qué organización se propone para definir el proyecto para su implantación.
- g) Con el propósito de asegurar un avance sólido y confiable de todo este esfuerzo sería igualmente conveniente predefinir los criterios para su conveniente evaluación. Un modelo de evaluación conveniente, aplicable en lo general a políticas o programas de desarrollo está siendo difundido por el Independent Evaluation Group (IEG) del Banco Mundial a través de un entrenamiento denominado International Program for Development Evaluation Training (IPDET); CONACYT ya tiene conocimiento de este modelo. (22)

En este Simposio se pretendería también vincular estos temas con el próximo lanzamiento del Programa para la constitución de oficinas de transferencia de tecnología.

El Simposio se desarrollaría dividido en dos grandes temas:

- (i) Desarrollo de producto / proceso, con un énfasis especial en la temática de diseño avanzado,
- (ii) Desarrollo tecnológico, que busque cubrir también por extensión la participación de la ingeniería en los elementos de investigación aplicada e incluso básica, desde la perspectiva de los centros de I+D y las empresas interesadas.

## 2. Enriquecimiento de la base de datos sobre innovación tecnológica

En paralelo con lo anterior, se buscará el acceso a otras bases de datos que puedan enriquecer las referencias sobre innovaciones tecnológicas y se analizarán con la misma metodología empleada para analizar la base de Premios ADIAT a la innovación tecnológica.

Con este fin invitará a participar a empresas o cámaras que operan premios a la innovación en sus respectivos sectores y se analizará con el CONACYT cuáles de sus bases de datos son idóneas para este fin.

Se pondrá especial énfasis en el análisis de los casos en los que se identifique la innovación generada con apoyo en metodologías como las señaladas en el inciso D.3.

Se dará especial seguimiento a la evolución internacional de las métricas sobre innovación, que busque el pronto desarrollo para México de un modelo mexicano de indicadores de innovación, para empezar en el ámbito nacional y seguido de su adecuada adaptación a modelos subnacionales.

## 3. Enriquecimiento de referencias internacionales

Continuar ampliando y enriqueciendo constantemente las referencias internacionales en todos los puntos abordados.

## 4. Elaboración de mapas de ruta tecnológica

Los mapas de ruta tecnológica han demostrado ser una herramienta útil para alinear la tecnología y su desarrollo con objetivos estratégicos a nivel organizacional, institucional y sectorial. Esta herramienta de la planeación es ampliamente usada en países de vanguardia, con resultados que alientan su empleo en México.

Se recomienda brindarle un seguimiento constante y con un enfoque de evaluación de impacto a los mapas de ruta tecnológica ya desarrollados en nuestro país, con el fin de valorar los resultados alcanzados, las desviaciones y las brechas existentes, con el fin de mantener un adecuado control que permita establecer acciones correctivas y que proporcione, además, hallazgos útiles para el desarrollo de estos planes en otros sectores industriales.

Es recomendable que otros Centros Públicos de Investigación aprovechen la experiencia de lo realizado por el IIE y el IMP en lo relativo al desarrollo de mapas de ruta tecnológica para incentivar en sus respectivas áreas de influencia el empleo de esta herramienta para planear desde una perspectiva tecnológica y de innovación las líneas de acción y los recursos de los diferentes sectores industriales.

Se recomienda, así mismo, formar recursos humanos con la perspectiva y el conocimiento de las diferentes metodologías que existen para elaborar mapas de ruta tecnológica; incluyendo este tema en los programas de ingeniería a nivel licenciatura y posgrado.

#### 5. Evaluación de impacto de las políticas actuales de fomento a la innovación

Para impulsar el desarrollo de la innovación en las empresas de nuestro país resulta vital seguir otorgando apoyo y recursos a los esfuerzos que realizan organismos como Secretaría de Economía y CONACYT, a través de programas para emprendedores, fondos de capital semilla y programas de estímulo a la innovación. Del mismo modo, es importante evaluar el impacto que dichos programas han tenido en las empresas, estableciendo un sistema de medición que supere los indicadores de gasto y permita valorar las ventajas competitivas que estos recursos han generado en las organizaciones.

#### 6. Formación de capacidades en ingeniería para la innovación

Así mismo, es necesario contar con capacidades en infraestructura y recursos humanos con orientación hacia el desarrollo tecnológico y la innovación en el sector productivo. México puede emular, mediante los análisis y adecuaciones necesarios, el esfuerzo que la NSF ha realizado para generar en Estados Unidos una red de centros de investigación en ingeniería que forman recursos humanos y generan innovación a partir de los servicios que brindan a las empresas. Disponer de CPI's con estas características es una condición necesaria para desarrollar la dinámica del concepto denominado triple hélice.

Varios de los CPI's en activo, pertenecientes a universidades y a la red de centros CONACYT, tienen ya esta orientación; sin embargo, otros laboratorios y centros tiene el potencial para desarrollar este enfoque, por lo que es menester apoyarlos y dirigirlos para incluir en su visión el desarrollo tecnológico como fuente de competitividad en las empresas y desarrollo económico para el país.

## 7. Fomentar el Programa Nacional de Innovación como eje rector de la actividad científica y tecnológica en el sector productivo

El Programa Nacional de Innovación (PNI) es un documento publicado en 2011 por el Comité Intersectorial para la Innovación, con la participación de representantes del Gobierno Federal y de los Gobiernos Estatales, así como de los sectores empresarial, científico y académico. Este Programa tiene como objetivo establecer políticas públicas que permitan promover y fortalecer la innovación en los procesos productivos y de servicios, para incrementar la competitividad de la economía nacional en el corto, mediano y largo plazo.

A partir de análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas en los temas de: mercado nacional e internacional; generación de conocimiento con orientación estratégica; fortalecimiento a la innovación empresarial; financiamiento a la innovación; capital humano; y, marco regulatorio e institucional, se establecen objetivos, líneas de acción, actividades e indicadores y metas para medir el desempeño y avance en la ejecución del programa.

Cabe destacar que la versión actualmente vigente destaca que este programa es adaptable y dinámico en función de las necesidades de desarrollo que el país vaya enfrentando; por lo que su vigencia no es sexenal y sus planteamientos implican corresponsabilidad de todos los actores involucrados en la construcción y fortalecimiento de un sistema nacional de innovación.

Es recomendable difundir este programa y darlo a conocer en las diferentes instancias que conforman el sistema de innovación mexicano, a todos los niveles de gobierno. Así mismo, es importante revisarlo y realizar las adecuaciones necesarias, sobre todo en lo relativo al establecimiento de entidades responsables, conservando siempre el carácter flexible del programa. Un seguimiento constante que involucre medición, revisión de resultados y análisis de desviaciones será útil para determinar las adecuaciones necesarias para incrementar el impacto de las líneas de acción establecidas.

## Bibliografía

(1) Sistema de gestión de la tecnología – Terminología – Norma Mexicana NMX-GT-001-IMNC-2007 (desarrollada bajo el liderazgo de ADIAT)

- (2) Understanding Private-Sector Decision Making for Early-Stage Technology Development, U. S. Department of Commerce, Advanced Technology Program, septiembre 2005
- (3) The Measurement of Scientific and Technological Activities Oslo Manual Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data, 3rd Edition, OECD, EUROSTAT, noviembre 2005
- (4) INICIATIVA CON PROYECTO DE DECRETO QUE REFORMA Y ADICIONA DIVERSAS DISPOSICIONES DE LA LEY DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE 2002 (MODIFICADA EN 2006)
- (5) Hands on Systematic Innovation: For Business and Management, Darrell Mann, Edward Gaskell Publishers (October 2004); <http://www.systematic-innovation.com/>
- (6) Introduction to the Grand Challenges for Engineering, National Academy of Engineering, USA, junio 2008; <http://www.engineeringchallenges.org/cms/8996/9221.aspx>
- (7) Greatest Engineering Achievements of the 20<sup>th</sup> Century, National Academy of Engineering, USA, 2009; <http://www.greatachievements.org/>
- (8) Grand Challenges for Engineering, Academy of Engineering USA, Marzo 2009; <http://www.engineeringchallenges.org/>
- (9) Identifying Winning Technologies with Global Market Prospects. Case Study: Fraunhofer Portfolio Process, Dieter R. Fuchs, Fraunhofer, WAITRO, marzo 2009
- (10) OECD Science, Technology and Industry Outlook 2012, OECD, octubre 2012. (pags. 344-347)
- (11) Innovation Impact, Oregon State University, julio 2007
- (11b) Engineering Research Centers Association. <http://www.erc-assoc.org/> (Consulta realizada el 6 de diciembre de 2012)
- (11c) Engineering Research Centers Association. Engineering Research Centers: Linking discovery to innovation. ([http://www.erc-assoc.org/factsheets/ERC%20Overview%20Fact%20Sheet\\_09-final.pdf](http://www.erc-assoc.org/factsheets/ERC%20Overview%20Fact%20Sheet_09-final.pdf))



(11d) NSF. National Science Foundation. Innovations- ERC – Generated commercialized products, process and startups. (2010)

(11e) Engineering Research Center for REconfigurable Manufacturing systems (<http://erc.engin.umich.edu/patents.html>)

(12) State of the Nation 2008, Canada, Science, Technology and Innovation System, Science, Technology and Innovation Council de Canada (STIC); [www.stic-csti.ca](http://www.stic-csti.ca)

(13) 2009 Duke / Georgia Tech Innovation Survey ; <http://www.kauffman.org/uploadedFiles/ResearchAndPolicy/EntrepreneurshipData/2008data/2009-duke-georgia-tech-innovation-survey.pdf>

(14) OECD Reviews of Regional Innovation. 15 Mexican States, OECD, junio 2009

(15) De la Investigación Aplicada a la Innovación – Historia de la ADIAT, Asociación Mexicana de Directivos de la Investigación Aplicada y el Desarrollo Tecnológico, marzo 2009

(16) OECD Reviews of Innovation Policy – Mexico, OECD, septiembre 2008

(16b) PROCEI. Programa de Competitividad e Innovación México UE. La innovación en México. Documento consultado en [http://www.promexico.gob.mx/work/models/promexico/Resource/1644/1/images/LA\\_INNOVACION\\_EN\\_MEXICO.pdf](http://www.promexico.gob.mx/work/models/promexico/Resource/1644/1/images/LA_INNOVACION_EN_MEXICO.pdf)

(17) Observatorio de la Ingeniería Mexicana. Academia de Ingeniería, 2012. <http://www.observatoriodelaingenieria.org.mx/ingestad/>

(17b) Estadísticas de la Educación Superior, ANUIES, Anuario Estadístico 2010-2011; [http://www.anui.es.mx/servicios/e\\_educacion/index2.php](http://www.anui.es.mx/servicios/e_educacion/index2.php)

(17c) OCDE. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. La medición de la innovación: una nueva perspectiva. Traducción del Foro Consultivo Científico y Tecnológico. México, 2012.

(18) Informe general del estado de la ciencia y la tecnología •2011, CONACYT; CAPÍTULO II RECURSOS HUMANOS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

(19) CENTROS PÚBLICOS DE INVESTIGACIÓN CONACYT Anuario 2009;  
Personal Adscrito al Sistema Centros CONACYT  
[http://www.conacyt.gob.mx/Centros/Anuarios\\_Indicadores/Indicadores%20Anuario%202009.pdf](http://www.conacyt.gob.mx/Centros/Anuarios_Indicadores/Indicadores%20Anuario%202009.pdf)

(20) Ingeniería concurrente y tecnologías de la información, Rodolfo García Flores, Profesor del Doctorado en Ingeniería de Sistemas de la FIME-UANL, Ingenierías Enero-Marzo, 2004 +  
[www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r14055.DOC](http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r14055.DOC)

(21) Introduction to Robust Design – Robustness Strategy, Madhav S. Phadke, Six Sigma

(22) National Program for Development Evaluation Training (IPDET) <http://www.ipdet.org/page.aspx?pageId=programInfo>