



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CENTRO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS, ADMINISTRATIVAS Y SOCIALES



**TRAYECTORIA TECNOECONÓMICA Y POLÍTICAS DEL DESARROLLO DE LA
MEDICINA GENÓMICA. OPORTUNIDADES PARA MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN POLÍTICA Y GESTIÓN DEL CAMBIO TECNOLÓGICO

P R E S E N T A:

TERESITA BELEM VALDÉS DE LA TORRE

MÉXICO, D. F. Enero, 2007.

Director: M. en C. Bethuel Cruz A.



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 9:00 horas del día 21 del mes de Noviembre de 2006 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del CIECAS para examinar la tesis de grado titulada:

**“TRAYECTORIA TECNOECONÓMICA Y POLÍTICAS DEL DESARROLLO
DE LA MEDICINA GENÓMICA. OPORTUNIDADES PARA MÉXICO”**

Presentada por el alumno:

VALDÉS

DE LA TORRE

TERESITA BELEM

Apellido paterno

materno

nombre(s)

Con registro:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| B | 0 | 3 | 1 | 1 | 3 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|

aspirante al grado de:

MAESTRO EN POLÍTICA Y GESTIÓN DEL CAMBIO TECNOLÓGICO

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

DIRECTOR DE TESIS

M. EN C. BETUEL CRUZ AGUILAR

DR. MARIO SANCHEZ SILVA

DR. HUMBERTO MONTEÓN GONZALEZ

DRA. MARÍA DEL PILAR LONGAR BLANCO

M. EN C. GABRIELA MARÍA LUISA RIQUELME
ALCANTAR

DR. ROLANDO VLADEMI JIMENEZ
DOMÍNGUEZ

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. MARIO SANCHEZ SILVA
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIONES
ECONÓMICAS ADMINISTRATIVAS
Y SOCIALES



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México D. F. el día 25 del mes de enero del año 2007, la que suscribe Teresita Belem Valdés de la Torre alumna del Programa de Maestría en Política y Gestión del Cambio Tecnológico con número de registro B031138, adscrito a CIECAS-IPN, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del M. en C. Betuel Cruz Aguilar y cede los derechos del trabajo intitulado **Trayectoria tecnoeconómica y políticas del desarrollo de la Medicina Genómica. Oportunidades para México**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección bvaldes@fumec.org. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo

Q.F.B. TERESITA BELEM VALDÉS DE LA TORRE

Nombre y firma

Contenido

| | Pág. |
|--|-------------|
| Índice de cuadros, figuras y gráficas..... | vi |
| Siglas..... | ix |
| Glosario..... | xii |
| Resumen..... | xxiii |
| <i>Abstract</i> | xxiv |
| Introducción..... | 1 |
| Capítulo 1. Marco teórico..... | 21 |
| 1.1. El enfoque económico de la tecnología..... | 22 |
| 1.2. Innovación y aprendizaje..... | 23 |
| 1.3. Paradigmas y trayectorias tecnológicas..... | 25 |
| 1.4. Factores que fomentan o inhiben el patrón de trayectorias tecnológicas..... | 28 |
| 1.5. Sistemas socioeconómicos e innovación..... | 32 |
| 1.6. De la Teoría Evolucionista al Sistema de Innovación..... | 35 |
| 1.7. Conocimiento tecnológico..... | 39 |
| 1.8. Concepto de “Sistema de Innovación”..... | 42 |
| 1.9. Eficiencia institucional en la actividad innovativa..... | 47 |
| 1.10. Sistema Regional de Innovación..... | 55 |
| 1.11. Indicadores de desempeño de los sistemas de innovación..... | 58 |
| 1.12. Política industrial y sistemas de innovación..... | 61 |
| Capítulo 2. Contexto situacional de la Medicina Genómica en México..... | 66 |
| 2.1. Problemática relevante..... | 66 |
| 2.2. Infraestructura física y humana en el ámbito de nacional de la Genómica..... | 71 |
| 2.3. Evolución y oportunidad tecnocientífica..... | 78 |
| 2.4. Brechas jurídicas, legales y, sociales de México en el contexto mundial | 82 |

| | Pág. |
|---|-------------|
| 2.5. Catalizar fase embrionaria a rápido desarrollo de la Medicina Genómica..... | 94 |
| Capítulo 3. Trayectorias del cambio tecnoeconómico de la Medicina Genómica..... | 98 |
| 3.1. Del Proyecto del Genoma Humano (PGH) al ambiente innovador de la Medicina Genómica..... | 100 |
| 3.2. Trayectorias tecnológicas de la Medicina Genómica..... | 104 |
| 3.2.1. Trayectoria de la Genómica Estructural..... | 106 |
| 3.2.2. Trayectoria de la Genómica Funcional..... | 120 |
| 3.2.3. Trayectoria de la Bioinformática..... | 129 |
| 3.3. Desarrollo de senderos técnicos..... | 143 |
| 3.4. Implicaciones futuras de la Medicina Genómica..... | 150 |
| Capítulo 4. Estrategias de política científica y tecnológica para el desarrollo de la Medicina Genómica..... | 158 |
| 4.1. Marco institucional de la política de ciencia y tecnología en México.... | 159 |
| 4.2. Recursos públicos destinados a las actividades de ciencia y tecnología..... | 170 |
| 4.3. Producción científica y tecnológica..... | 181 |
| 4.4. Área estratégica del conocimiento: Biotecnología y Genómica..... | 186 |
| 4.5. Recomendaciones de política para el desarrollo científico y tecnológico en Medicina Genómica..... | 191 |
| 4.5.1. Estrategia de política en Medicina Genómica..... | 192 |
| 4.5.2. Estrategia de política en Genómica y Biotecnología..... | 198 |
| Conclusiones..... | 218 |
| Bibliografía | 225 |

Índice de cuadros, figuras y gráficas

| | Pág. |
|----------------|--|
| Cuadros | |
| Cuadro 1 | Ejemplos de desempeño de indicadores de los sistemas nacionales de innovación..... 60 |
| Cuadro 2 | Núcleo tecnológico estratégico de la Medicina Genómica..... 79 |
| Cuadro 3 | Inversión nacional en ciencia y tecnología, 2004/p..... 171 |
| Cuadro 4 | Ramo 38 CONACYT: Destino de los recursos fiscales..... 172 |
| Cuadro 5 | Gasto federal ejercido en ciencia y tecnología, 1990-2003..... 174 |
| Cuadro 6 | Clasificación del gasto federal en ciencia y tecnología..... 175 |
| Cuadro 7 | Composición del gasto federal en ciencia y tecnología, 1993-1999..... 175 |
| Cuadro 8 | Estructura del presupuesto de CONACYT, 2003..... 176 |
| Cuadro 9 | Propuestas recibidas y recursos solicitados a Fondos Mixtos y Sectoriales..... 177 |
| Cuadro 10 | Participación del gasto en investigación y desarrollo experimental en el producto interno bruto por país, 2002..... 179 |
| Cuadro 11 | Fuentes de financiamiento del gasto en investigación y desarrollo experimental por país, 2003 (%)...... 180 |
| Cuadro 12 | Gasto interno en la investigación y desarrollo y asignación presupuestaria pública para investigación y desarrollo (% del producto interno bruto)..... 180 |
| Cuadro 13 | Participación en la producción total mundial de artículos de los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico..... 182 |
| Cuadro 14 | Proyectos de investigación y desarrollo en Medicina Genómica financiados por CONACYT..... 189 |

| | Pág. |
|-----------------|-------------|
| Figuras | |
| Figura 1 | 27 |
| Gráficas | |
| Gráfica 1 | 6 |
| Gráfica 2 | 106 |
| Gráfica 3 | 107 |
| Gráfica 4 | 108 |
| Gráfica 5 | 110 |
| Gráfica 6 | 112 |
| Gráfica 7 | 114 |
| Gráfica 8 | 121 |
| Gráfica 9 | 122 |
| Gráfica 10 | 123 |
| Gráfica 11 | 124 |
| Gráfica 12 | 125 |
| Gráfica 13 | 127 |
| Gráfica 14 | 130 |
| Gráfica 15 | 131 |
| Gráfica 16 | 131 |
| Gráfica 17 | 133 |
| Gráfica 18a | 135 |
| Gráfica 18a | 136 |
| Gráfica 19 | 174 |
| Gráfica 20 | 178 |

| | Pág. |
|------------|---|
| Gráfica 21 | Publicaciones de mexicanos incluidas en el Institute for Scientific Information, 1992-2003..... |
| Gráfica 22 | Número de patentes solicitadas y concedidas en México, 1990-2003..... |
| Gráfica 23 | Distribución porcentual por tipo de inventor nacional en México, 2002..... |

Siglas

| | |
|-----------|---|
| ADIAT | Asociación Mexicana de Directivos de la Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico |
| ADN | Ácido Desoxirribonucleico |
| AI | Academia de Ingeniería de México |
| AMC | Academia Mexicana de Ciencias |
| ANMM | Academia Nacional de Medicina de México |
| ANUIES | Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior |
| ARN | Ácido Ribonucleico |
| CBG | Centro de Biotecnología Genómica |
| CEPAL | Comisión Económica para América Latina |
| CEPROBI | Centro de Desarrollo de Productos Bióticos |
| CICH | Centro de Información Científica y Humanística (UNAM) |
| CIEBT | Centro de Incubación de Empresas de Base Tecnológica |
| CINVESTAV | Centro de Investigación y Estudios Avanzados |
| DOF | Diario Oficial de la Federación |
| COLMEX | El Colegio de México |
| CONACYT | Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología |
| CyT | Ciencia y Tecnología |
| DGSCA | Dirección General de Servicios de Cómputo Académico |
| FEM | Foro Económico Mundial |
| FODA | fortalezas, oportunidades debilidades y amenazas |
| FUNSAIUD | Fundación Nacional para la Salud |
| GFCyT | Gasto Federal en Ciencia y Tecnología |
| GIDE | Gasto en Investigación y Desarrollo Experimental |
| IBT | Instituto de Biotecnología |
| IES | Instituciones de Educación Superior |
| I+D | Investigación y Desarrollo |
| IDE | Investigación y Desarrollo Experimental |

| | |
|----------|---|
| I+D+I | Investigación, Desarrollo e Innovación |
| I+DT | Investigación y Desarrollo Tecnológico |
| IMP | Instituto Mexicano del Petróleo |
| IMPI | Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial |
| IMSS | Instituto Mexicano del Seguro Social |
| INEGI | Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática |
| INMEGEN | Instituto Nacional de Medicina Genómica |
| INSalud | Institutos Nacionales de Salud |
| IPN | Instituto Politécnico Nacional |
| ISI | Institute for Scientific Information |
| LFICyT | Ley para el Fomento de la Investigación Científica y Tecnológica |
| LOCGEUM | Ley Orgánica del Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos |
| mdd | millones de dólares (americanos) |
| OCDE | Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| PECyT | Programa Especial de Ciencia y Tecnología |
| PGR | Procuraduría General de la República |
| PIB | Producto Interno Bruto |
| PUGH | Proyecto Universitario del Genoma Humano |
| PUIS | Programa Universitario de Investigación en Salud |
| PYME | Pequeña y Mediana Empresa |
| RENIECYT | Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas |
| RSa | Red Solidaria |
| SAGARPA | Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación |
| SAPHOO | Scientific Activity Predictor from Patterns with Heuristic Origins |
| SCT | Secretaría de Comunicaciones y Transportes |
| SE | Secretaría de Economía |
| SEMARNAT | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales |
| SENER | Secretaría de Energía |

| | |
|---------|---|
| SEP | Secretaría de Educación Pública |
| SHCP | Secretaría de Hacienda y Crédito Público |
| SNI | Sistema Nacional de Innovación |
| SOMEGEN | Sociedad Mexicana de Medicina Genómica |
| SPRU | Science and Technology Policy Research (University of Sussex, Reino Unido). SPRU es uno de los líderes en investigación de gestión y política en ciencia, tecnología e innovación y sus implicaciones ambientales, sociales y económicas. |
| SRE | Secretaría de Relaciones Exteriores |
| SRI | Sistema Regional de Innovación |
| TICs | Tecnologías de Información y Comunicación |
| TLCAN | Tratado de Libre Comercio con América del Norte |
| UAM | Universidad Autónoma Metropolitana |
| UNAM | Universidad Nacional Autónoma de México |
| UNESCO | Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura |
| UPIBI | Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología |
| USPTO | United States Patent and Trademark Office |
| WEF | World Economic Forum (ver FEM) |

Glosario

| | |
|--------------------------------|--|
| ADN | <p>Abreviatura de ácido desoxirribonucleico. Molécula constituida por dos cadenas complementarias de nucleótidos que forman una doble hélice. El ADN contiene y transmite la información genética de la mayor parte de los organismos excepto algunos tipos de virus.</p> <p>El ADN constituye el material genético de los organismos y es el componente químico primario de los cromosomas y el material del que los genes están formados. En las bacterias el ADN se encuentra en el citoplasma mientras que en organismos más complejos y evolucionados, tales como plantas, animales y otros organismos multicelulares, la mayoría del ADN reside en el núcleo celular. Se conoce desde hace más de cien años. El ADN fue identificado inicialmente en 1868 por Friedrich Miescher, biólogo suizo, en los núcleos de las células del pus obtenidas de los vendajes quirúrgicos desechados y en el esperma del salmón. Él llamó a la sustancia nucleína, aunque no fue reconocida hasta 1943 gracias al experimento realizado por Oswald Avery. Su función es dictar las instrucciones para fabricar un ser vivo idéntico a aquel del que proviene (o casi similar, en el caso de mezclarse con otra cadena como es el caso de la reproducción sexual).</p> |
| Alelo | Una de las variantes en las que puede presentarse un gen o polimorfismo en una posición específica en un cromosoma. |
| Aminoácidos | Grupo de 20 diferentes moléculas pequeñas que se unen formando cadenas largas para dar lugar a las proteínas. |
| Análisis multivariado de datos | Las técnicas de análisis multivariado constituyen la |

herramienta de análisis estadístico útil para interpretar con una visión de conjunto información extraída de grandes volúmenes de datos sobre un tema de interés. Uno de sus recursos es la construcción de sencillas representaciones gráficas, las cuales ayudan a captar las características más sobresalientes con una simple inspección visual. La clave para la obtención de estas gráficas es la definición de un criterio de optimalidad que deben satisfacer cada uno de los ejes cartesianos. Aunque no en todas, en una amplia variedad de los análisis multivariados, cada eje no es más que un eje de proyección que cumple con ciertas condiciones impuestas para simplificar la realidad en función de un objetivo específico.

Aprendizaje tecnológico

Habilidad para hacer uso efectivo y eficiente del conocimiento tecnológico para la producción e invención de productos, procesos, equipo y servicios.

ARN

Abreviatura de ácido ribonucleico. Molécula constituida por una cadena sencilla de nucleótidos que contienen un azúcar ribosa en lugar del azúcar deoxiribosa presente en el ADN. Existen tres variedades de ARN, las cuales participan en convertir la información contenida en el ADN en proteínas, estos son ARN ribosomal, de transferencia y mensajero.

ARN mensajero

Molécula de RNA basada en la secuencia de ADN producto de la transcripción, que se utiliza como molde para la síntesis de proteínas.

Artículos indizados

Término utilizado para señalar que se refiere a la publicación de un artículo en una revista de reconocimiento y registro internacional.

Benchmarking

Estudio diagnóstico por comparación.

| | |
|-------------------------------------|--|
| Bibliometría | Aplicación de los métodos estadísticos y matemáticos dispuestos para definir los procesos de la comunicación escrita y la naturaleza y el desarrollo de las disciplinas científicas mediante técnicas de recuento y análisis de dicha comunicación. El tratamiento y manejo de la literatura científica por medios cuantitativos de recuento y análisis sirve no solo para analizar el volumen de publicaciones, la productividad de autores, revistas ó materias, sino también en un sentido más amplio, para el conocimiento de los procesos y la naturaleza de las Ciencias, para el que, a partir de 1960, comienza a acuñarse el término Cienciometría ó Ciencia de la Ciencia. |
| Borrador de la secuencia del genoma | Producido al combinar la información de clones secuenciados individualmente y posicionando la secuencia a lo largo de un mapa de cromosomas físico. |
| Características del mapa STS. | Localización etiquetada de la secuencia, que corresponde a un breve (normalmente menos de 500 bp) locus genómico único para el que se ha desarrollado un análisis de reacción en cadena de la polimerasa (PCR). |
| Clon | Pequeña copia de un trozo concreto de ADN necesaria para poder estudiar una secuencia de ADN. El método de secuenciación utilizado por Celera consiste en desintegrar el genoma en un conjunto aleatorio de piezas con una longitud de 2.000, 10.000 y 50.000 pares de bases de largo. |
| Clon BAC | Vector cromosómico artificial bacteriano que porta un inserto de ADN genómico, normalmente de entre 100 y 200 kb. La mayoría de los clones insertados grandes secuenciados para el proyecto fueron clones BAC. |
| Clon terminado | Clon grande insertado que está representado completamente |

| | |
|-----------------------------|--|
| | en la secuencia final. |
| <i>Cluster</i> | Estrategia económica que agrupa empresas de la misma industria para cooperar en ciertas áreas. Término con un significado similar son las redes industriales, sistemas industriales, sistemas tecnológicos o áreas de recursos. |
| Cobertura | El promedio de veces en las que un nucleótido es representado por una base de alta calidad en varias secuencias en bruto obtenidas de manera aleatoria. |
| Cobertura total del genoma | La cobertura en una secuencia en bruto aleatoria necesitada por un clon insertado grande para asegurarse de que está listo para marcar el fin de la información que aporte. Puede haber variación entre centros pero se sitúa normalmente entre los 8 y los 10 pliegues. Los clones con cobertura total del genoma pueden ser ensamblados normalmente con muy pocos huecos por 100 kilobytes (kb). |
| Cobertura completa del clon | Clon insertado grande para el que se ha producido una secuencia total del genoma. |
| Código genético | Las instrucciones contenidas en la secuencia de nucleótidos del ARN mensajero en un código de tres letras (codón), en el que cada codón determina el aminoácido que se adiciona a la cadena que se construye durante la síntesis de proteínas. |
| Codones, exones, intrones | Cuando se obtiene la secuencia en bruto de un genoma, el siguiente paso consiste en ordenar todas las letras que la componen. Los conjuntos de tres pares de bases se llaman codones, que a su vez forman exones. Los intrones son los espacios que se forman entre los exones. |
| Coefficiente de inventiva | Medida que calcula las solicitudes de patentes nacionales por cada 10,000 habitantes. |
| Competencias | La habilidad de las empresas para resolver problemas de carácter técnico y organizacional. |

| | |
|--------------------------|---|
| Competitividad | Resultado final de hacer mejor las cosas que los demás y de una forma permanente, y se explica a través de una compleja interrelación de factores y agentes, que integran el cambio, el conocimiento y el crecimiento económico. |
| Conocimiento explícito | Representa el conocimiento de dicha organización que se encuentra codificado y, por lo mismo, es fácilmente socializable. |
| Conocimiento tácito | Forma parte de las experiencias y aprendizajes de las personas integrantes de una organización. |
| Continuo ('contig') | Mapa cromosómico que muestra la localización de las regiones de un cromosoma donde los segmentos de ADN contínuo se superponen. |
| Cromosomas | Estructuras que resultan del empaquetamiento del ADN y proteínas que representan el total del material genético contenido dentro del núcleo de la célula. Los humanos tenemos 23 pares de cromosomas, una mitad de origen materno y la otra de origen paterno. |
| Diploide | Término que describe el número completo de copias del genoma en una célula determinada. |
| Empresas <i>spin-off</i> | Constituye una política que intenta mejorar el dinamismo y flexibilidad de una organización externalizando algunos recursos o proyectos que permitan incrementar la eficiencia de los recursos. |
| Enfermedades raras | Las enfermedades raras se presentan con una incidencia muy baja en los grupos de población. Muy a menudo, por razones económicas, no existe, o casi, tratamiento para ellas. La mayor parte de las denominadas enfermedades raras tienen origen genético, y muchas pueden ser producidas por una mutación en un único gen que, en este momento, puede ser conocido o no. En cuanto al resto, cada vez se hace más |

patente que muchas de las personas que terminan enfermando lo hacen como resultado de una predisposición genética. Se han identificado alrededor de 5.000 enfermedades raras diferentes en todo el mundo; en Europa, con su gran variedad de grupos de población, se padece un elevado número de ellas.

Esqueleto (*scaffold*)

Resultado de la conexión de varios continuos gracias a la recapitulación de información procedente de las lecturas finales pareadas de plásmidos, lecturas finales pareadas de varios BAC, ARNm conocidos y otras fuentes. El orden y orientación de los continuos que componen un esqueleto están determinados por ellos mismos.

Expresión genética

Proceso por el cual la información codificada en los genes es convertida en estructuras funcionales en la célula, en su mayoría proteínas, aunque también se deben considerar que existen genes que dan lugar a los ARN ribosomal y de transferencia, que tienen una función celular definida.

Farmacogenómica

El estudio de la relación entre el fondo genético (genotipo) de un individuo y su respuesta al tratamiento farmacológico.

Fenotipo

Un fenotipo se define como las características externas que resultan de las interacciones entre los genes y el medio ambiente. El genotipo se define como las características reales del ADN responsables de cada atributo. (genotipo + ambiente = fenotipo).

Gen

Unidad física y funcional de la herencia que ocupa una posición específica en el genoma y está constituido por una secuencia de ADN que contiene la información para elaborar al menos una proteína específica.

En el ser humano, los genes están contenidos en veintitrés pares de cromosomas, mejor dicho en veinticuatro, pues el último tiene dos variedades: XX para las mujeres y XY para

los varones. Por tanto, cada individuo tiene veintitrés, pero la especie humana, considerando diferente el XX que el XY, tiene veinticuatro. El 2% de todo el material genético de los cromosomas son genes, el resto no se sabe muy bien lo que es, aunque se sabe que sirve para la integridad de la estructura, para regular el que un gen se transforme en proteína o no (se exprese) y la cantidad de proteínas que se hace con él. En el genoma humano hay entre 30 000 y 40 000 genes. Todavía no se sabe con exactitud.

| | |
|--|--|
| Genética | La genética estudia los patrones de la herencia asociados a las especies animales y vegetales; particularmente, estudia la herencia de rasgos específicos. |
| Genoma | El genoma es todo el material genético contenido en los cromosomas de un organismo en particular, es decir, comprende la totalidad del ADN contenido en una célula, que incluye tanto los cromosomas dentro del núcleo, como el ADN de las mitocondrias. En el caso del humano, su genoma tiene 3.000 millones de nucleótidos. Aplicado al humano, el genoma se refiere sólo al ADN cromosómico. Aunque la mitocondria contiene genes, estos genes no son considerados "genoma". |
| Genoma humano o código genético humano | Material genético que identifica la naturaleza del ser humano. |
| Genómica o Biotecnología humana | El estudio de la estructura, función e interacción de los genes, en el contexto de un genoma, incluyendo sus interacciones con factores ambientales. |
| Genómica comparativa | El estudio de los genomas mediante la comparación de las secuencias genéticas de diferentes organismos. |
| Genómica estructural | El estudio de la estructura tridimensional de un gran número de proteínas utilizando técnicas experimentales, marcos teóricos y herramientas computacionales. |

| | |
|--------------------------|--|
| Genómica poblacional | El estudio de la variación genética dentro de un grupo de individuos sometidos a la influencia de las cuatro fuerzas evolutivas: selección natural, deriva génica, mutación y migración. |
| Gestión de la innovación | Es el proceso orientado a organizar y dirigir los recursos disponibles, tanto humanos como técnicos y económicos, con el fin de aumentar la creación de nuevos conocimientos, generar ideas que permitan obtener nuevos productos, procesos y servicios o mejorar los existentes y transferir esas mismas ideas a las fases de fabricación y comercialización. |
| Haplotipo | Un conjunto de alelos de genes o polimorfismos que en general se heredan como un bloque. |
| Herencia monogénica | La herencia de características controladas por los diferentes alelos de un gen en particular. |
| Innovación | Es la transformación de una idea en un producto vendible nuevo o mejorado, o en un proceso operativo en la industria y el comercio o en un nuevo método de servicio social. |
| Invencción | La producción de un conocimiento que puede o no derivarse de distintas ciencias. Incluye actividades relacionadas con la generación de ideas innovadoras, investigación básica, y realización de prototipos. |
| Mapeo genético | El proceso de elaborar representaciones esquemáticas del ADN mostrando las posiciones relativas de genes y/o marcadores en los cromosomas. Mapa en el que los loci polimórficos están posicionados de manera relativa los unos con los otros teniendo en cuenta la frecuencia con la cual se recombinan durante la meiosis. La unidad de distancia que se utiliza es el centimorgan (cM). |
| Mutación | Cambio estable en la secuencia del ADN, es decir que se hereda a la siguiente generación. |
| Nucleótido | Compuesto formado por una base nitrogenada, un azúcar de |

cinco átomos de carbono (el azúcar de cinco átomos de carbono puede ser ribosa (ARN) o desoxirribosa) y ácido fosfórico. Los nucleótidos son las moléculas que forman los ácidos nucleicos (ADN y el ARN). Cada uno corresponde a una de cuatro bases nitrogenadas, adenina (A), timina (T), guanina (G), citosina (C) o uracilo (U); más una molécula de azúcar unidos a una de ácido fosfórico. El uracilo solo se encuentra en la cadena de ARN, en que sustituye a la timina.

Paradigma tecnoeconómico Consiste en un conjunto de innovaciones tecnológicas y de ramas productivas de rápido crecimiento. El paradigma tecnoeconómico está vinculado a un factor clave que organiza y que estructura el proceso de selección económica entre la gama de posibilidades tecnológicas, y afecta las condiciones de producción y distribución de todas las ramas de la economía.

Par de bases En genética un par de bases consiste en dos nucleótidos opuestos y complementarios en las cadenas de ADN y ARN que están conectadas por puentes de hidrógeno. En el ADN adenina y timina así como guanina y citosina, pueden formar un par de bases. En ARN, la timina es reemplazada por el uracilo, conectándose este con la adenosina.

Patente Título que otorga el Estado para explotar de manera exclusiva una invención en un área geográfica determinada.

Polimorfismos Variaciones en una posición o región específica en la secuencia de ADN que se presentan en al menos un 1% de la población.

Polimorfismos de nucleótidos únicos (SNP) Los polimorfismos de nucleótidos únicos (SNP) son mutaciones en un único par de bases que se producen con una frecuencia mayor del 1% en la población humana. En el genoma humano se estima que se pueden producir entre 6 y 30 millones de SNP en cada variación.

Proteínas Moléculas constituidas por una o más cadenas de

| | | |
|--------------------------------|----|--|
| | | aminoácidos que realizan la mayor parte de las funciones celulares. |
| Proyecto del genoma humano | | Proyecto internacional de investigación para realizar la secuenciación completa del ADN humano y el mapeo de cada uno de los genes que ahí de albergan. |
| <i>Ratio o ratio technica</i> | | Término que significa un cambio radical y se traduce gradualmente en la aparición de nuevas formas y módulos sociales, en nuevas características económicas, así como en nuevas estructuras políticas y estimativas axiológicas |
| Secuencia en bruto | | Fragmento sin ensamblar, producto de la secuenciación de clones que contienen inserciones de ADN. Final de secuencia pareada. Secuencia en bruto obtenida de los dos extremos de una inserción de clon en cualquier vector, como un plásmido o un cromosoma bacteriano artificial. |
| Secuencia terminada | | Fragmento completo de un clon o genoma, con una precisión de al menos un 99,9 por ciento y sin huecos. |
| Síntesis acumulativa | | Teoría que explica el surgimiento de los inventos de manera secuencial mediante los siguientes cuatro pasos: la percepción del problema, el arreglo del escenario, el acto de intuición y la revisión crítica. |
| Sistema Nacional de Innovación | de | El conjunto de instituciones que contribuyen de manera individual y cooperativa al desarrollo y difusión de nuevas tecnologías y que definen el marco de acción mediante el cual los gobiernos diseñan e instrumentan políticas para influir al proceso de innovación. |
| Tecnología | | Aquel conjunto de actividades o sistemas de acciones socialmente estructuradas, integradas en los procesos productivos industriales y estrechamente vinculadas al conocimiento científico. |
| Traducción | | Proceso de síntesis de proteínas tomando una molécula de ARN mensajero como molde. |

| | |
|-------------------------|---|
| Transcripción | Proceso de síntesis de moléculas de ARN mensajero tomando como molde la cadena ADN. |
| Transiliencia | Es la capacidad de una innovación para alterar, desde mejorar hasta destruir, los sistemas existentes de producción y mercadotecnia. |
| Trayectoria tecnológica | Representa la evolución de la tecnología. |
| SNP | Abreviatura de polimorfismo de un solo nucleótido. Variaciones comunes en la secuencia de ADN que ocurren por el cambio de un solo nucleótido (A, T, G y C), con una frecuencia aproximada de 1 por cada 600 a 800 bases. |

Resumen

El propósito de esta tesis es identificar y establecer la dinámica tecnocientífica de las trayectorias de la Bioinformática y Genómica Estructural y Funcional, las cuales integran y definen el paradigma tecnoeconómico de la Medicina Genómica. A partir del análisis bibliométrico de las disciplinas antes mencionadas, se demuestra que, la dinámica del cambio tecnológico de la Medicina Genómica se manifiesta a través de grupos de constelaciones de conocimientos tecnocientíficos que conforman irrupciones sucesivas y distintas, las cuales prometen alterar el ámbito de la medicina tradicional ya que se prevén valiosos e insólitos tratamientos terapéuticos, por ejemplo, el desarrollo de tratamientos para la cura contra enfermedades como el cáncer, diabetes, Alzheimer, entre otras. Como sucede en toda revolución tecnológica, se advierte e infiere que, el esfuerzo por identificar oportunamente la gestación de cambios en el paradigma de la Genómica revierte especial importancia en torno a: i) un proporción elevada del cambio científico y tecnológico en el mercado de la salud, ii) un alto impacto en el bienestar de la población, si el Estado invierte a tiempo, y iii) una adecuada política científica y tecnológica que evitaría la dependencia tecnológica del exterior y que además consolidaría oportunidades para la creación de nuevas empresas nacionales de base tecnológica.

Abstract

The objective of this thesis is to identify and establish the technological and scientific dynamic related to the Bioinformatics and Structural and Functional Genomics paths. Based on the Bibliometrics analysis of the aforementioned disciplines, it is proved that the technological change dynamic of the Genomic Medicine is manifested through groups of technological and scientific knowledge constellations which integrate successive and different irruptions that promise changing the scope of the traditional medicine since there are foreseen valuable and unusual therapeutic treatments against illnesses such as cancer, diabetes, Alzheimer, among others. As it happens in every technological revolution, it is noticed and inferred that, the efforts made in order to identify timing fashion the gestation of changes into the Genomics paradigm is to the advantage of: i) A higher ratio of the technological and scientific change in the health market, ii) A higher impact on the people welfare, in the event that the State invests timely, and ii) An appropriate scientific and technological policy which would avoid the technological dependency from the foreign countries as well as it would consolidate opportunities for creating new Mexican companies based on technology.

Introducción

El avance en materia de conocimiento científico está generando mayor desequilibrio y desigualdad económica y social entre los países.¹ El conocimiento y las habilidades han quedado ahora como la única fuente de ventaja absoluta.

En México las inversiones para desarrollar conocimiento científico y tecnológico de vanguardia resultan endebles y las que se realizan no se gestionan adecuadamente. En gran medida esto es el resultado de que el conocimiento y la información no son garantes por si solas del éxito, eficiencia, eficacia o supervivencia de la organización pública, privada, o no lucrativa. En estricto sentido, el saber sólo es productivo si se aplica, y es imprescindible el apalancamiento de la sabiduría colectiva a través de la red solidaria para aumentar la capacidad de respuesta nacional y la innovación organizacional.

La producción, difusión, protección y aplicación de nuevo conocimiento materializado en nuevos productos, procesos novedosos, desarrollo de equipos y/o servicios de vanguardia no sólo son trascendentes para la existencia de las firmas, sino también para la sustentabilidad económica, social y científica de los países, quienes deben invertir en investigación y desarrollo (I+D), a fin de poder diagnosticar adecuadamente los problemas sociales, prevenir soluciones, aplicarlas y evaluar los resultados. Tal es el caso del conocimiento científico y tecnológico en etapa temprana del paradigma de la biotecnología humana denominada “Genómica”, y su aplicabilidad a la Medicina Genómica, cuya evolución si bien está determinada por la herencia genética propia de una raza (grupos étnicos) en el contexto de nación, serán determinantes las estrategias organizacionales y de políticas de ciencia, tecnología y desarrollo industrial.

Por tanto, el objeto de ésta investigación consiste en describir y analizar la dinámica de la actividad innovadora de la Genómica a nivel mundial tomando como base la teoría evolucionista², a fin de

¹ Nosnik, A. (2002) menciona “nos estamos destruyendo con conocimiento”.

identificar oportunidades de desarrollo de la Medicina Genómica en México que surgen en la etapa embrionaria y que se manifiestan en las etapas de crecimiento y madurez a medida que se despliegan cambios tecnoeconómicos caracterizados por sus trayectorias tecnológicas a nivel mundial.

Sobre la base de esta interpretación se pretende identificar estrategias de desarrollo, especialmente útiles para enfrentar los desafíos de un mercado, que sí bien es incipiente para el caso de México, es altamente dinámico a nivel mundial. Por lo tanto, se identificaron las características de política científica y tecnológica y los mecanismos para establecer redes de innovación para el desarrollo y fortalecimiento del núcleo innovador nacional en este campo emergente de conocimiento.

Particularmente, México se encuentra en una situación paradójica ante la posibilidad de ampliar la brecha entre ricos y pobres³. Sus capacidades comparativas, directamente relacionadas a la explotación extensiva de sus recursos naturales en el largo plazo, han generado poco valor debido al escaso acompañamiento de progreso técnico durante la explotación del recurso natural y a su depreciación que, en mayor o menor grado, es originada en forma natural por el proceso evolutivo de sustitución el cual se origina con la aparición de nuevos productos y procesos intensivos en conocimiento.

Paralelamente, la clave para el desarrollo socioeconómico sustentable se ubica, de manera concurrente, en la incorporación de conocimiento científico innovador en actividades económicamente productivas, y en la medida en que México no produce este tipo de conocimiento no es sorprendente que sea cada vez más pobre. La inversión en materia de ciencia es reflejo de ello, México destina desde hace más de 20 años el 0.4 % de su Producto Interno Bruto (PIB) a la ciencia y no alcanza el 1 % del PIB como lo recomiendan la Organización de las

² El enfoque de la teoría evolucionista, que inicia su desarrollo durante los años setenta y ochentas hasta la actualidad, analiza tanto la dinámica de la propia innovación como las características del entorno socioeconómico desde un punto de vista dinámico. Las principales aportaciones se desarrollan a partir del análisis de largo plazo (Rosenberg, N. 1982) o de las ondas largas de la acumulación y los sistemas tecnológicos (Mensch, Freeman, C. y Pérez, C.) y a partir del análisis de los paradigmas y su evolución a través de trayectorias tecnológicas (Nelson, R. y Winter, S. 1982).

³ A pesar del gran avance que han significado las exportaciones manufactureras y el aumento de la eficiencia general de la producción, alrededor del 40 % de la población sigue viviendo en condiciones de pobreza.

Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)⁴ y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2004)

En 2005 el proyecto de presupuesto federal de ciencia y tecnología presentó una disminución real de 1.09 % con relación al año 2004. De continuar con la actual tendencia, se vuelve imposible alcanzar la aspiración del 1% del PIB para los siguientes años, continuará la tendencia decreciente y lo más importante es que se incrementará el rezago económico. Estudios macroeconómicos de la OCDE demuestran que la inversión en ciencia y tecnología (CyT) es la causa del 25% del crecimiento económico en países en vías de desarrollo y de cuando menos el 50% en los países desarrollados.

En el ámbito de la industria nacional mexicana no existe un modelo de desarrollo exitoso. Una de las razones es que, históricamente muchas empresas del país estuvieron vinculadas al sistema político mexicano donde se forjaron a partir de la privatización de las empresas paraestatales. De esta manera, México no tiene un modelo consolidado que incorpore el conocimiento mediante desarrollo tecnológico endógeno. No obstante que la inversión privada en I+D mediante programas de estímulos fiscales se ha incrementado paulatinamente⁵, entre los países integrantes de la OCDE, la iniciativa privada mexicana se encuentra en el penúltimo lugar con respecto a la inversión en CyT.

En materia de competitividad en México, hay menos empresas exitosas porque tienen menos actividad científica y menos generación de conocimiento. Predominan las empresas maquiladoras intensivas en mano de obra y en consecuencia cada día el país es más pobre, aunque éste no es un problema exclusivo de México sino de toda América Latina. Según el Foro Económico Mundial (*WEF* por sus siglas en inglés: *World Economic Forum*), en los últimos cuatro años México tuvo una drástica caída en competitividad al pasar del lugar 48 en el año 2003, al lugar 57 en el año 2006.

Vivimos en la época de la Sociedad del Conocimiento, en un mundo donde ya no sólo es suficiente tener recursos naturales para generar riqueza sino que la riqueza intelectual, cada vez en mayor magnitud, será la impulsora del desarrollo económico y de la competitividad.

⁴ Según las recomendaciones de la UNESCO para América Latina.

⁵ En 2005 se debe incrementar a \$2,000 millones los incentivos fiscales, lo que supone el Foro Consultivo Científico y Tecnológico detonará una inversión del sector privado de aproximadamente \$11,000 millones.

Ante este escenario, es preciso justificar ¿por qué, cómo y qué hacer para romper la brecha tecnológica en México con recursos limitados? ¿Qué hacer con tan pocos recursos cuando somos muchos? ¿es un problema de racionalidad o de enfoque estratégico? y si es de enfoque estratégico entonces ¿cómo y cuál es la mejor combinación entre fines ambiciosos y recursos financieros e infraestructura física y humana escasos susceptibles de impulsar y consolidar gradualmente el desarrollo innovador?

Una posible vertiente con potencial por explorar se relaciona con la necesidad de invertir considerablemente en investigación científica para el futuro y reconectar el esfuerzo de desarrollo tecnológico con el mejoramiento directo e inmediato de la calidad de vida, en donde el Estado debe ser capaz de promover el consenso y coordinar la participación de empresas, el sistema científico nacional, sistema educativo, bancos, agentes locales y externos para consolidar proyectos de desarrollo. Por ello, la tecnología debe ocupar un lugar central, y no periférico, en las políticas de desarrollo.

Las oportunidades estratégicas que México requiere se ubican en la dinámica emergente de la evolución de conocimiento novedoso susceptible de aplicarse al mercado mediante nuevos desarrollos e innovación.

Oportunidad mediante evolución tecnocientífica

Los avances de las ciencias, la técnica y la tecnología siguen una evolución ascendente mediante el incremento de sus interrelaciones que redundan en innovaciones tecnológicas. Es decir, la producción de bienes y servicios son la materialización del conocimiento aplicado productivamente y resultado de la interacción recíproca de la tecnología, que se desarrolla a partir de los avances científicos; pero también el avance científico depende de los desarrollos tecnológicos. A su vez las nuevas tecnologías irrumpen las técnicas, que por obsolescencia o redundancia son sustituidas por nuevas técnicas o tecnologías.

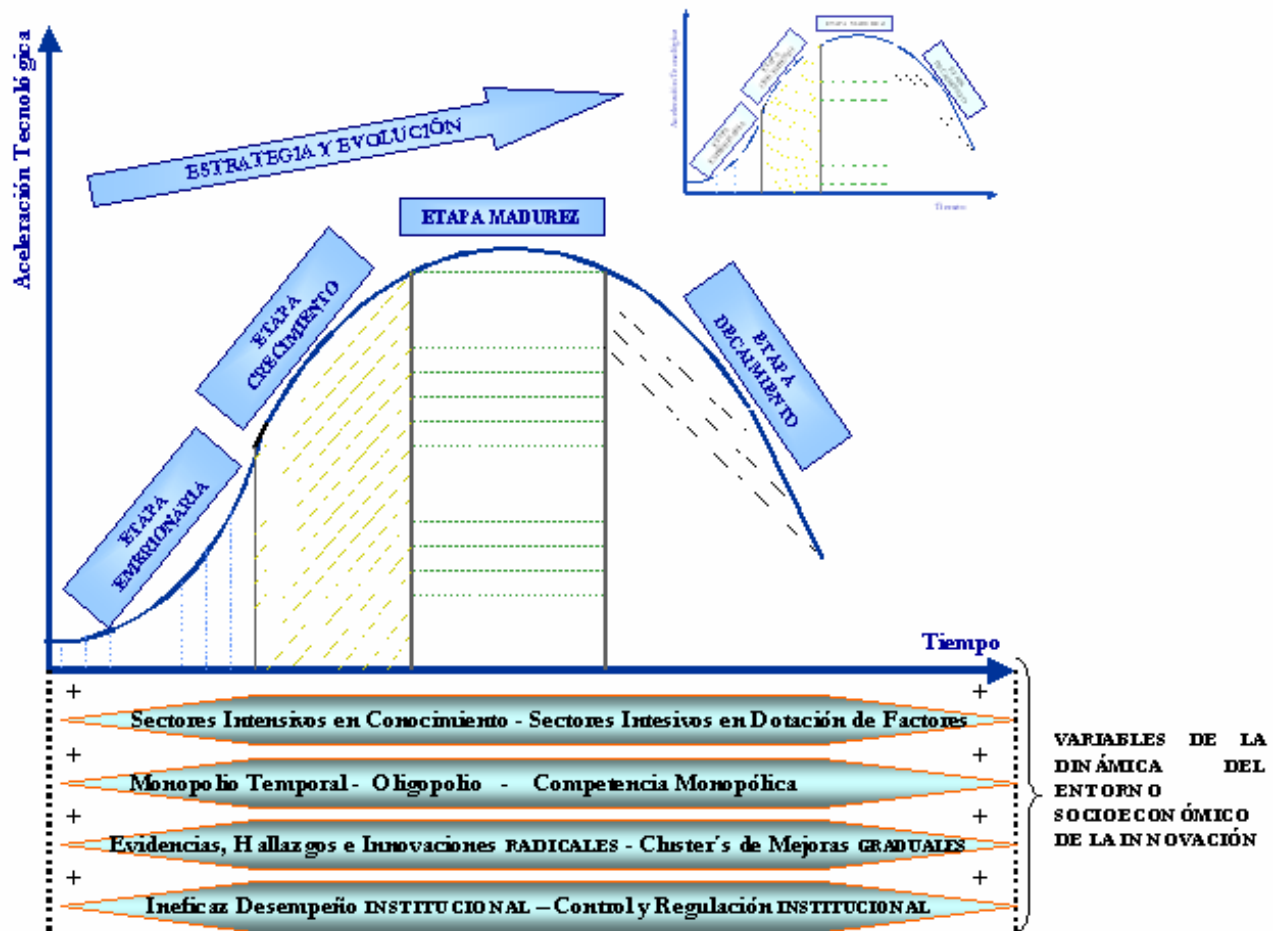
La evolución tecnológica sigue un patrón de trayectorias ascendentes que describen los avances y reflejan las variaciones experimentadas por el volumen de conocimientos tecnológicos disponibles en un periodo de tiempo denominado “Paradigma Tecnoeconómico”, aduce Dosi (1982). El

paradigma tecnoeconómico está conformado de discontinuidades que generan oportunidades específicas y que constituyen una de las principales fuentes de crecimiento económico.

Pérez, C. (2001) destaca que las discontinuidades se convierten en ventanas de oportunidad a través de las cuales los recién llegados pueden saltar hacia adelante. Estas oportunidades se dan en forma de revoluciones tecnológicas e implican fuertes cambios de dirección en el avance tecnológico.

La acumulación de nueva riqueza a causa de la transiliencia entre discontinuidades es el resultado de la interacción de fuerzas entre la evolución natural y la evolución de criterios valorativos del mercado, así como de las condiciones de la estructura industrial para adaptar o destruir creativamente con novedosas formas de generar nuevos negocios a partir de la riqueza intelectual. La gráfica 1 pretende sintetizar una posible explicación de la dinámica de evolución del paradigma tecnoeconómico a nivel estructura industrial e institucional. Según Abernathy, W. y Clark, K. (1985), Pérez, C. (2002), y Freeman, C. y Louca, F. (2001) a partir de la evolución en las innovaciones en productos y en procesos pueden definirse cuatro etapas distintas en el desarrollo de cualquier industria.

Gráfica 1. Dinámica de evolución de paradigmas tecnoeconómicos.



Fuente: Elaboración propia.

La etapa embrionaria resulta ser el punto de ingreso más prometedor debido a que las posibles ganancias son grandes, se presentan amplias posibilidades de crecimiento del mercado y la productividad y, los costos de inversión son relativamente bajos. Incluso, la inversión en actividades de I+D con frecuencia suelen ser menor que la que realiza el innovador original.

El éxito de evolución de un paradigma tecnológico depende de ciertos factores complementarios tales como las ventajas dinámicas y externalidades de diversos tipos, especialmente las infraestructuras física, social y tecnológica, o la existencia de clientes locales competentes y exigentes. Estos elementos pueden haberse creado antes con tecnologías maduras o adquirirse

mediante intensos procesos de aprendizaje e invirtiendo en el mejoramiento del medio social y económico.

Parecería entonces que se podría diseñar una estrategia para acumular capacidad tecnológica y social utilizando tecnologías maduras para después aprovechar esa base a fin de acceder a tecnologías nuevas y dinámicas. Sin embargo, esa posibilidad depende en alto grado de las oportunidades específicas creadas por las sucesivas revoluciones tecnológicas.

Comprender puntualmente la evolución de las tecnologías en los países avanzados puede ser ventajoso para los países en desarrollo que deseen diseñar estrategias viables. Resulta evidente que la identificación y evaluación de trayectorias de nuevas tecnologías en etapa temprana son estratégicas para reducir y acortar la brecha tecnológica entre economías avanzadas *versus* economías en vías de desarrollo, tal es el caso de México.

Y si bien la dinámica de evolución tecnológica depende en gran medida de la oportuna identificación de la demanda del mercado con respecto a la convergencia entre técnicas novedosas *versus* las actuales, su despliegue está determinado por la oportuna generación de externalidades positivas logradas mediante adaptación y compatibilidad inter e intra industrias. La evolución tecnológica puede ser explicada en cuatro etapas (ver gráfica 1) no lineales, aunque tal vez concurrentes:

- I. Etapa embrionaria. En esta etapa los cambios en los productos se suceden muy rápidamente como consecuencia de las condiciones inciertas del mercado y de los avances tecnológicos. Por ello, los procesos productivos deben ser capaces de adaptarse a esos niveles de incertidumbre. En esta etapa, el producto está al comienzo de su ciclo de vida, está sin definir el diseño dominante, los competidores ofrecen una gran variedad de diseños del mismo producto, y el volumen de producción es bajo. Casi siempre el producto se elabora con equipos o maquinaria que tienen un propósito general, a través de operaciones manuales y no estandarizadas que pueden modificarse conforme cambia el diseño del mismo. El proceso de producción se caracteriza por la inestabilidad y la falta de coordinación entre diferentes operaciones. Las decisiones de tipo operativo suelen orientarse hacia el objetivo de lograr flexibilidad. En definitiva, el sistema de producción

es flexible y puede responder rápidamente al entorno, pero es ineficiente. Constantemente se introducen innovaciones en los productos que persiguen aumentar sus prestaciones y anticiparse a las necesidades de los clientes. Las innovaciones en producto están motivadas por nuevas necesidades y oportunidades de mercado.

II. Etapa de crecimiento. En esta etapa considerada de “transición” los cambios de productos siguen siendo rápidos (aunque es menos que al comienzo), existe un diseño dominante en la industria y en los procesos se observan transformaciones para automatizar, elegir materiales y reducir de forma significativa los costos. El resultado es una mejor integración del flujo de productos, tareas más especializadas, un mayor nivel de automatización y una mejor planificación y control de la producción. Los sistemas de producción, diseñados para ser cada vez más eficientes, se vuelven mecánicos y rígidos. Las tareas se hacen más especializadas y están sujetas a controles operativos más formales. La mejor forma de describir esta etapa es “a mayor estandarización de productos y procesos, mayor automatización”. Los sistemas de producción buscan la eficiencia mediante la estandarización y la mayor rigidez. Las tareas son más especializadas y los controles formales aumentan. Surgen grandes innovaciones en la fase de proceso las cuales están motivadas por oportunidades tecnológicas.

III. Etapa de madurez. A medida que las industrias evolucionan hacia la madurez la competencia basada en precios se vuelve más intensa. Cuando las tecnologías maduran hay fuerzas que las expulsan más y más hacia la periferia, donde presumiblemente hay fuerzas complementarias que las atraen para poner en marcha procesos de desarrollo. En parte, lo anterior se debe a que se están utilizando procesos altamente estandarizados y por lo tanto mecanizados y automatizados.

Las tecnologías maduras llegan a un punto en que tiene un potencial mínimo para producir beneficios, enfrentan mercados estancados y casi no les queda campo para mejorar la productividad. Así pues, la fase de madurez como punto de partida es costosa y no es muy rentable ni muy prometedora. Con todo se trata probablemente del mejor punto de partida para crear una plataforma básica de industrialización, generar capacidad de aprendizaje y establecer la infraestructura básica y otros factores extremos requeridos para respaldar un esfuerzo de desarrollo.

La reducción de incertidumbre en las necesidades del mercado con una mayor difusión del uso del producto permite una aplicación cada vez mayor de tecnología avanzada como fuente de otras innovaciones. A medida que se introducen mejoras obvias, se hace cada vez difícil superar el rendimiento anterior, los usuarios desarrollan lealtades y preferencias y se demanda una mayor estandarización en las actividades de mercadotecnia, distribución, mantenimiento y publicidad.

- IV. Etapa de declive. En esta fase ya no se producen cambios importantes, ni en productos ni en procesos, y se busca una mayor eficiencia a través del aumento de la estandarización. A medida que el producto alcanza su madurez la competencia se vuelve aún más intensa, es entonces cuando se requiere mayor estandarización y cuando se debe hacer mayor hincapié en la reducción de costos, manteniendo al mismo tiempo una confiabilidad aceptable y estándares de calidad adecuados. En este momento, el proceso se vuelve altamente integrado y automatizado. Es probable que un cambio en cualquiera de sus partes produzca un impacto sobre todo el proceso, puesto que producto y proceso se han vuelto interdependientes y es difícil separarlos. Resultan excesivamente costosos y difíciles de llevar a cabo nuevos cambios en el producto. Las innovaciones en producto y en proceso son incrementales y están fuertemente coordinadas por su objetivo de la reducción de costo. Habitualmente, las innovaciones son desarrolladas por los proveedores de equipo para quienes los incentivos son relativamente mayores.

Esto significa que en la etapa de auge y crecimiento las firmas explotan la actividad productiva y disfrutan de un gran excedente de ganancia, además de que su impacto sobre la economía promueve la generación de empleos, se incorporan más empresas e inicialmente el acceso de otras firmas es relativamente fácil, lo cual permite la presencia de diferentes tamaños de empresas en el mercado. El proceso cambia cuando la tecnología ha madurado y son varias las empresas que compiten en un esquema de estructura de mercado denominado competencia monopolística.

Las últimas etapas se asocian a innovaciones que en un principio son resultado del desarrollo del producto y, posteriormente, se deben al proceso y responden a reducciones de costos y especialmente de mano de obra. Es entonces cuando la competencia es mayor, se reduce la

ganancia debido a la competencia. El proceso de concentración y estructura de mercado se agudiza y las condiciones se tornan severas.

Ante esta situación se sostiene que la gestión estratégica puede significar un componente efectivo para las instituciones y las firmas que se verían favorecidas mediante la consolidación de competencia bajo el esquema de redes institucionales para la innovación y mediante la conformación de *clusters* tecnológicos especializados e intensivos en conocimiento. Además de aprovechar las prácticas relacionadas con la gestión de conocimiento, la vigilancia económica y la identificación permanente de señales tempranas de nuevos conocimientos que puedan significar oportunidades o amenazas.

Paradigma tecnoeconómico de la Genómica

Un nuevo paradigma tecnoeconómico⁶ ha emprendido un proceso de destrucción creador⁷, impulso vital para el crecimiento y para la consolidación económica y hegemónica futura sólo de algunas naciones. La competencia en la actualidad es por el futuro; los países que dominarán los nuevos negocios serán los que entiendan la Nanotecnología, la biotecnología y el código de la vida o ADN mediante la Genómica.

La información genética mundial es explotada principalmente por los Estados Unidos, en un 50 %, Japón con el 17 % y el Reino Unido en un 10 %, mientras que en Asia, África o América Latina ningún país aprovecha más del 1 % de la información de las bases de datos más grandes del mundo, que además son gratuitas. Este enorme flujo de información está abriendo un nuevo esquema internacional que dividirá aún más a las naciones entre aquellas que aprovechan este nuevo conocimiento y las que no lo hacen.

⁶ Por ejemplo entre 1780 y 1840 el paradigma tecnoeconómico se fundamentó en el algodón y el hierro; entre 1840 y 1880 fue el carbón; de 1880 a 1940 privó el acero y la generación de electricidad; entre 1940 y 1985 fue el petróleo el que revolucionó el modelo tecnoeconómico; de 1985 a la fecha son las tecnologías de información y comunicación (TICs) el actual paradigma, y cuyos componentes claves son el micro chip electrónico y programas de software para procesar información, creando verdaderas revoluciones en los negocios y en ámbito de las instituciones y las políticas económicas de cualesquier Estado-Nación.

⁷ La aparición de una cosa totalmente nueva, de algo que hasta un momento determinado no había existido, es una condición sine qua non que determina el ritmo de la evolución.

Según Bolívar, F. (2002), más de \$80,000 millones de dólares americanos (mdd) anuales en todo el mundo corresponden a empresas biotecnológicas que utilizan la información del ADN y sus genes, ya sea del genoma humano o del de otros organismos.

Sólo los grandes laboratorios y algunas empresas de los Estados Unidos, Japón, y algunos países europeos utilizan la nueva información para producir riqueza (e.g. nuevos medicamentos, vacunas, alimentos, textiles y muchos productos más serán generados por la genética). Los países que no aprendan esta disciplina de conocimiento serán analfabetos funcionales que no podrán entender y menos competir en una economía que cambia rápidamente.

Según un estudio de la revista *Bioentrepreneur* del grupo británico *Nature*, tan sólo en los países de la zona Asia-Pacífico se han creado más de mil empresas biotecnológicas de capital de riesgo en los últimos 15 años, 300 de ellas en Corea y 150 en China. Con esta industria, China obtiene ingresos por más de \$4,800 mdd al año.

México se encuentra al margen de aprovechamiento de este conocimiento con tan solo 300 investigadores, mientras que en cada país desarrollado lo hacen entre 6 y 10 mil científicos, lo cual incrementa el enorme reto ante los nuevos escenarios.

Medicina Genómica en México

Investigadores mexicanos consideran que la Medicina Genómica⁸ puede ser el motor de cambio del mercado imperfecto de la salud, mediante prácticas médicas individualizadas, preventivas y predictivas, basadas en el conocimiento de la información hereditaria de las características específicas del genoma de las poblaciones mexicanas.⁹ Con ello, el diagnóstico y tratamiento de enfermedades sería cada vez más específico y efectivo, por lo que la Medicina Genómica

⁸ Con base en las características y predisposiciones individuales inscritas en el genoma, la Medicina Genómica comprende la atención global de la salud a través de la adecuación del entorno y la prevención y manejo de la mayoría de las enfermedades comunes. Las variaciones en el genoma humano y su interacción con el ambiente dan lugar a la individualidad de cada persona, la cual le otorga rasgos físicos propios, así como la susceptibilidad y resistencia a padecer distintas enfermedades, y la forma en que responde a medicamentos de uso común.

⁹ Todos los seres humanos, sin excepción, somos iguales en 99.9% de la secuencia del genoma humano. Esto significa que únicamente 0.1% nos confiere características distintivas y a cada uno nos hace miembros individuales de la especie humana. Es por eso que unos son más propensos a sufrir cáncer o diabetes, y otros son alérgicos a determinadas sustancias. (Jiménez, G. 2004:104)

representa el nuevo paradigma del cuidado de la salud pública, con aplicación importante en la prevención de enfermedades y en el desarrollo de nuevas oportunidades de tratamiento como son la Farmacogenómica¹⁰ y la Terapia Génica¹¹.

Sin embargo, y a pesar de que México cuenta con algunas instituciones capaces de sumarse al avance mundial en el desarrollo científico y tecnológico del genoma humano, las instituciones nacionales de I+D que poseen una cultura innovadora son contadas y la actividad innovadora es indebidamente reconocida y poco estimulada.

Al igual que otros campos tecnológicos, la carencia de un núcleo endógeno de desarrollo tecnológico de la Medicina Genómica se debe en parte a la falta de un marco articulado en materia de política en ciencia y tecnología en el que los sectores público, social e industrial trabajen conjuntamente en la definición de estrategias y acciones nacionales para aprovechar los beneficios potenciales inherentes a este conocimiento.

Por otro lado, existe desconfianza en los empresarios mexicanos respecto al conocimiento materializado en innovaciones tecnológicas que realiza el sector académico debido a (1) la escasa difusión de invenciones para ser comercializadas, y (2) la endeble articulación del vínculo academia-industria que garantice la identificación y satisfacción de necesidades y oportunidades de nuevos productos en segmentos de alto valor de mercado y económicamente rentables.

Justificación

Con base en las características y predisposiciones individuales inscritas en el genoma, la Medicina Genómica comprende la atención global de la salud a través de la adecuación del entorno y la prevención y manejo de la mayoría de las enfermedades comunes. Las variaciones en el genoma humano y su interacción con el ambiente dan lugar a la individualidad de cada persona, la cual le

¹⁰ La Farmacogenómica es la disciplina que estudia la respuesta conjunta de múltiples genes a un fármaco. El aprovechamiento de la información genómica resultará en el diseño de nuevos medicamentos, más efectivos y menos tóxicos, con base en la estructura genómica de cada población, es decir, en la individualidad biológica (Jiménez, G., Valdés, J. C. y Soberón, G. 2002b).

¹¹ La terapia génica comprende el tratamiento de enfermedades mediante la introducción de genes al organismo.

otorga rasgos físicos propios, así como la susceptibilidad y resistencia a padecer distintas enfermedades y la forma en que responde a medicamentos de uso común.

Las implicaciones sociales y económicas del desarrollo de la Genómica en México van más allá de la salud, ya que además de impulsar el desarrollo científico y tecnológico del país y vincular los sectores público, privado y social, tendrá un impacto financiero muy importante al reducir los costos de atención a las enfermedades más frecuentes de la población¹².

Cabe señalar que el desarrollo de la Medicina Genómica nacional se ocuparía de problemas distintos a los que presentan los países industrializados, por ello los productos y servicios que se generen en esos países no podrán importarse al nuestro, y en consecuencia, México tendrá la posibilidad de cerrar la brecha entre ricos y pobres debido al desarrollo de tecnología apropiada a las necesidades de la población mexicana.

Asimismo, la Genómica generará nuevos productos y servicios que darán lugar a formas novedosas de comercio e incluso de organizaciones sociales, y abrirá oportunidades para el desarrollo de la industria farmacéutica nacional y transnacional con oportunidades de mercado hacia América Latina, por lo que la implementación oportuna de una plataforma nacional en medicina Genómica puede convertirse en un instrumento estratégico para el desarrollo y crecimiento económico, y el bienestar social del país.

La Medicina Genómica representa grandes ventajas para México ya que su incursión en este campo de conocimiento permitirá:

- Estimular el desarrollo de infraestructura de punta que permita al país incorporarse al nuevo orden mundial en el campo de la salud.
- Revolucionar la práctica de la medicina al ofrecer nuevas formas de diagnóstico y tratamiento de las enfermedades humanas.
- Identificar a los miembros de la población cuya secuencia de ADN los convierte en un grupo de alto riesgo para presentar enfermedades comunes como la hipertensión arterial,

¹² Diversos estudios económicos señalan que las aplicaciones de la Medicina Genómica permitirán una reducción del 36% en los costos de la atención por diabetes, un ahorro importante para México, en donde existen cerca de 10 millones de diabéticos. (Frenk, J. 2004:4)

la *diabetes mellitus* tipo II, el asma, el infarto agudo al miocardio, y algunas enfermedades infecciosas, entre muchas otras, que están adquiriendo gran importancia en nuestro país debido a la transmisión epidemiológica.

Las teorías económicas se centran en el conocimiento aplicado productivamente, es decir, en las técnicas y tecnologías. Específicamente, la principal aportación de la teoría evolucionista consiste en la inclusión de la evolución institucional vinculada al cambio tecnológico y a la innovación.

Por lo anterior, la descripción y análisis de la actividad innovadora de la Genómica a nivel mundial y la caracterización de su trayectoria tecnológica, tomando como base la teoría evolucionista, puede permitir diseñar estrategias y políticas públicas en ciencia y tecnología para el desarrollo y fortalecimiento del núcleo endógeno innovador nacional en este campo emergente de conocimiento.

Preguntas de investigación

1. ¿Cuál es el conjunto de estrategias que permitirán orientar con mayor eficacia la toma de decisiones en la creación de políticas públicas y de inversión empresarial nacional en actividades innovadoras de la Medicina Genómica en México consideradas de alto riesgo?
2. ¿Por qué la innovación como proceso de "destrucción creadora" de un sistema productivo, debe permear no sólo al ámbito económico sino también al de políticas públicas y los modelos de gestión de las instituciones nacionales tanto públicas como privadas y no gubernamentales o filantrópicas?
3. ¿Cuáles son los principios de gestión estratégica y políticas de desarrollo que corresponden a los procesos de transformación y transición a las nuevas prácticas de generación y aprovechamiento de conocimiento dentro de la actividad productiva nacional?
4. ¿En qué consiste el componente de gestión estratégica que permita orientar con mayor eficacia la toma de decisiones en la creación de políticas públicas y de inversión empresarial nacional de la actividad innovadora de la Genómica en México?

Hipótesis

Las trayectorias del cambio tecnoeconómico de la Medicina Genómica mundial inducen la dinámica del proceso evolutivo de la Medicina Genómica en México, por lo que alcanzar el desarrollo en la fase embrionaria supone un proceso alimentado por innovaciones locales y mercados crecientes, por lo que habrá que ingresar tan temprano como sea posible a este tipo de actividad científico productiva. De lo contrario México desaprovechará poder incrementar su capacidad científica y productiva en éste sector que es potencialmente prolífico, con las respectivas consecuencias negativas a su propio desarrollo nacional, en caso de no ser aprovechado oportunamente.

Objetivo de la Investigación

Proponer estrategias y políticas de ciencia y tecnología para impulsar la evolución de trayectorias tecnológicas de la Medicina Genómica en México, con base en ámbitos internacionales de ciencia y tecnología, encaminadas al fomento y ejecución de actividades innovadoras en instituciones nacionales dedicadas a este campo de conocimiento.

Metodología

La ciencia puede ser entendida como una gran institución social, o conjunto de instituciones, productora de una enorme cantidad de información inserta en una sociedad que a su vez produce centenares de miles de productos informativos de cualquier género cada día en todo el mundo. Es de entender que la ciencia no es un fenómeno de hombres aislados sino de grandes grupos de investigadores en acción. Entraña especial relevancia conocer la productividad tecnocientífica para conocer su naturaleza, su dinámica, sus contenidos y avances; e implica fundamentalmente conocer sus fuentes, la literatura científica, lugar en donde se objetiva la ciencia. De ahí la importancia de la bibliometría, que incorpora la introducción de métodos científicos cuantitativos útiles en la presente investigación para medir la producción y e identificar la presencia del inicio de nuevos frentes de investigación e interacción social, económica y política. Así también se empleará

para el análisis de vastos volúmenes de información, procedimientos de la vigilancia científica y tecnológica y de algunas de sus técnicas¹³ para el análisis multivariado de datos.

Los métodos bibliométricos son útiles para el desarrollo de la propia ciencia, de la documentación y para los sistemas de evaluación de las políticas científicas. Son también útiles para los propios científicos, debido a que permite conocer el estado del arte y el peso de las diferentes líneas de investigación, así como las orientaciones metodológicas, la intrincada trama de grupos de colaboración e investigación, la excelencia de determinadas teorías, las proyecciones sobre nuevos paradigmas científicos.

Resumiendo, el presente trabajo de investigación estudia aspectos que permitan caracterizar el conocimiento de la actividad científica de la Medicina Genómica, utilizando para ello un conjunto de variables representativas de los recursos y resultados del avance científico documentado. La metodología empleada adopta un enfoque de análisis bibliométrico sobre la producción científica en torno a la Medicina Genómica.

En la búsqueda por conocer y comprobar nuestra hipótesis de investigación se ha determinado un conjunto de actividades que conforman la presente estrategia metodológica de investigación que, acorde al planteamiento del problema, consiste de cuatro fases interactivas y dinámicas entre sí, y son las siguientes:

- i. Primera Etapa: Búsqueda y Selección de Información. Inicia con la adecuada identificación de necesidades en cuanto a información y/o conocimiento y continúa con la recopilación y clasificación mediante su documentación. Entiéndase por documentación al conjunto de actividades previas relacionadas a la presentación, organización y comunicación del conocimiento, con el fin de ofrecer la máxima sensibilidad y utilidad información técnica que contiene.

La documentación se relaciona con dos componentes básicos: documentos e información. Los documentos son el medio físico en los cuales se han registrado datos para lectura humana o uso de computadoras y sistemas electrónicos. Mientras que la información es el

¹³ i.e. técnicas de clasificación jerárquica ascendentes; análisis de componentes principales y reducidos, etc.

significado que se le asigna a cierta representación simbólica expresada en forma de signos convencionales o de símbolos, los cuales se caracterizan por señales o impresiones de tipo gráfico en forma de números, letras, palabras, etc. La información se relaciona con datos y con hechos. Los datos se consideran como la representación simbólica que sirve de base para procesar y transmitir atributos de una entidad, con el fin de proveer de información al observador o usuario de datos.

Los hechos, evidencias y hallazgos de que nuevas percepciones se descubren e intuyen generan unidades de conocimiento al representar exactamente lo que la mente capta con su razonamiento y que expresa mediante una proposición o corolario de la que nuestro conocimiento posee. Al conjunto de actividades relacionadas y necesarias para la presentación, organización y comunicación de la información la denominaremos documentación.

La documentación se relaciona con dos entidades: documentos e información. Los documentos son el medio físico en los cuales se han registrado los datos para la percepción humana y para su análisis sistémico mediante la minería de datos. Para propósitos metodológicos de la investigación, el dato son conjuntos de símbolos que representa el nivel de descripción de un atributo y; el símbolo es la forma de representar un concepto por alguna semejanza o correspondencia que el entendimiento percibe entre este concepto y su representación simbólica. Un símbolo puede ser un signo o una señal. Un signo indica claramente un atributo. En nuestro caso tecnocientífico utilizaremos el signo en su concepción más amplia como es la de representar en forma escrita el nivel de descripción de un atributo.

Por su parte una “señal” representa un conjunto de datos del mismo atributo en función de otro atributo y, que generalmente es el tiempo. Las señales tempranas (o *early warnings*) matizan perfectamente el inicio del ciclo de la información altamente imbricado a paradigmas tecnoeconómicos.

En relación al método empleado en la selección de documentación, éste consiste en la adquisición de datos e información contenida en resúmenes, patentes, artículos, memorias,

etcétera. Cuyos contenidos se localizan de fuentes secundarias y primarias de información técnica. Subsecuentemente se procede a la normalización por campos contenidos en la documentación seleccionada y recuperada, para proceder al ordenamiento.

- ii. Segunda Etapa: Análisis Multivariado de Datos. Comprende el conjunto de actividades relacionadas con la identificación de las entidades y sus atributos (o campo de información), con el fin de que se pueda entender las relaciones existentes entre ellas mediante la correspondencia matricial. De hecho el análisis se relaciona con la medición de los atributos de cada entidad y, cuando se miden los atributos de una entidad se pueden observar sus propiedades en un determinado tiempo y en un determinado espacio dimensional y correlacional. Los atributos del presente estudio han directamente correlacionados con la variable tecnología. Así por ejemplo cuando un atributo como el grado de novedad lo medimos contra el tiempo tenemos el ratio (ver glosario) tecnológico o tasa de aceleración del cambio tecnológico o bien, señales temprana de nuevo conocimiento en el campo tecnológico de estudio.

Para hacer posible la medición de atributos de campos tecnoeconómicos de la Medicina Genómica en particular se planificó la organización de datos suscitando patrones y matrices. El proceso multivariado consiste en los ciclos siguientes:

- Definición de los campos tecnocientíficos de la Biotecnología Humana
 - Definición de determinantes, grupos de influencia y condicionantes estratégicos a evaluar.
 - Identificación de la dinámica innovadora.
 - Impacto de variables de la dinámica tecnoeconómica.
 - Relación y desempeño de entre condicionantes estratégicos.
- iii. Tercera Etapa Síntesis. Comprende el conjunto de actividades relacionadas con la interpretación de las relaciones existentes entre entidades y el ambiente caracterizados por atributos de cada entidad. La síntesis se relacionó con el significado y la importancia de cada correspondencia y atributo y, al estudio de las diferencias existentes entre la teoría de paradigmas tecnoeconómicos y el resultado de indicadores.

Los objetivos principales de la síntesis comprenden:

- Identificar todos los atributos que son significativos en la producción tecnocientífica de la Medicina Genómica
- Identificar las relaciones que existen entre los atributos
- Identificar estado de arte y señales tempranas¹⁴.
- Identificar ciclo de vida de la tecnología.

Así también las relaciones entre entidades y atributos fueron vastas para demostrar en forma evidente la evolución de nuevos campos incipientes y emergentes que influyen a la Medicina Genómica.

A efecto de interpretar las medidas realizadas se procedió a la síntesis semántica mediante minería de datos, comúnmente empleados en prácticas de inteligencia¹⁵ o *vigilancia científica y tecnológica*.

En el Análisis se estudia el contenido semántico de un texto, por ejemplo el contraste entre los trabajos de científicos de la Biotecnología Humana.

- iv. Cuarta Etapa: Diseño de Estrategias de Desarrollo Tecnológico. Ésta última etapa nos permitió identificar sucesos respecto a los atributos que reconforma la trayectoria tecnoeconómica de la Genómica.

Incorpora el conjunto de actividades relacionadas con el pensamiento estratégico innovador mediante la eficiente utilización del conocimiento y de los recursos, y supeditados a un conjunto de restricciones.

¹⁴ Una señal temprana tiene que ver con la oportuna identificación de atributos relacionada a un nuevo desarrollo, un nuevo competidor, innovación, nuevas modalidades respecto a regulación, etc., y que significar bien amenazas u oportunidades dependiendo de las capacidades para su aprovechar estratégico.

¹⁵ Uno de los conceptos fundamentales para el conocimiento es la relación o asociación. La palabra inteligencia proviene del latín "*intelligentia*" que quiere decir: unir, unir de nuevo, es decir relacionar. En esta dirección pensar es recordar, y cada pensamiento que surge en la mente estimula la memoria y se relaciona de inmediato con otros. Pensar es relacionar una idea que se tiene con otra idea que ya se tenía; todo pensamiento es un recuerdo y todo recuerdo es una relación

El impacto y la evolución de patrones que se manifiestan a través de indicadores evidencian la producción y generación de nuevas técnicas, así como novedosas combinaciones de nuevo conocimiento o bien, desarrollos originales y procedimientos análogos que marcan la prognosis de pensamiento estratégico sobre cambio tecnológico de la Medicina Genómica.

Concurrentemente el enfoque *descriptivo* será fundamental en la presente propuesta, dado que busca describir las características intrínsecas de la actividad innovadora, mas que científica y tecnológica de empresas claves apostadas de origen, en países considerados pioneros y líderes en Genómica y biotecnología. Así mismo contempla los conceptos y variables de una gestión estratégica eficaz en la generación, diseño e implementación de políticas públicas en materia de CyT del país.

Capítulo 1

Marco teórico

El propósito de este capítulo es analizar los paradigmas y trayectorias tecnológicas y su relación con factores económicos e institucionales incorporando el enfoque de sistemas y de redes de innovación.

En el ámbito de la creatividad humana organizacional, la estrecha relación entre lo técnico y lo económico forman parte de un sistema que comprende patrones de necesidades, principios científicos, experiencias y conocimientos que permiten el desarrollo económico de sectores industriales. La teoría de la evolución de las especies, adaptada al ámbito de la innovación y el desarrollo tecnológico, determina que tales patrones de cambio tecnoeconómico sugieren la existencia de paradigmas y trayectorias tecnológicas en diversos sectores de la actividad económica y social, directamente asociados a capacidades tecnológicas y a actividades selectivas y acumulativas de desarrollos innovativos de las organizaciones. Desde esta perspectiva, las capacidades tecnológicas de una organización son consideradas como las habilidades y el conocimiento necesarios para desarrollar, producir y vender productos.

El enfoque evolucionista aborda el desarrollo tecnológico no como un fenómeno discreto y sujeto exclusivamente a las determinaciones del mercado, sino como un proceso de acumulación de conocimiento, que depende de la novedad de las tecnologías que están en uso. Para Nelson, R y S. Winter (1982) y Dosi, G. y Soete, L. (1988), el paradigma tecnológico define contextualmente los principios científicos y materiales que han de utilizarse, las nuevas necesidades y los nuevos problemas por resolver. Es decir, define las nuevas oportunidades tecnológicas y constituye un patrón para la solución de problemas técnico económico.

1.1. El Enfoque económico de la tecnología

La teoría económica convencional define a la tecnología como el conjunto determinado de posibles combinaciones de factores productivos, refiriéndose a trabajo y capital. Y considera que el progreso técnico es generalmente definido en términos de posibilidades de movimientos de curvas de producción, denominadas “isocuantas” (línea que reúne en sí todos los métodos técnicamente eficientes para producir un determinado nivel de producto). En este esquema teórico neoclásico el componente *cambio tecnológico* es un fenómeno externo y discontinuo, no tiene precio y es fácil de adquirir.

J. Schumpeter (1978) fue uno de los primeros teóricos en criticar la visión anterior. Para dicho autor la tecnología involucra cinco elementos: a) nuevos procesos, b) nuevos productos, c) estructuras organizacionales de mercado, d) nuevos mercados y e) nuevas materias primas. Desde este punto de vista, la competencia observada entre los capitalistas genera un estado continuo de cambio y de innovaciones. La mejora y la innovación son actividades continuas y no un acontecimiento único y estático.

Examinando el concepto de tecnología es mucho más complejo. La tecnología incorpora al avance científico-técnico conjuntos de partes de conocimientos directamente prácticos (relacionados a problemas concretos) y teóricos (aplicables y/o aplicados), *know-how* (saber cómo) métodos, procedimientos, experimentos de éxito y fracaso, y por supuesto instrumentos físicos y equipos. Además la tecnología comprende una parte intangible que involucra pericia, acumulación de experiencias de intentos pasados y viejas soluciones tecnológicas, junto con el conocimiento y los logros del estado del arte; ésta no es en absoluto un bien libre de uso, sino que presenta un componente de aprendizaje e investigación especialmente significativo. (Dosi, G. 1982 y Cimoli, M. et al. 1992)

Los elementos antes referenciados nos inducen a interpretar que la tecnología abarca procesos de aprendizaje, mediante la incorporación progresiva de conocimientos y habilidades organizacionales procedentes de diversas fuentes que se distinguen por su carácter acumulativo, personalizado e interactivo y que incorpora continuamente nuevos hallazgos, nuevas interpretaciones y conocimiento novedoso.

De aquí que resulte fundamental la diferencia entre conocimiento científico y tecnológico. Es decir, la ciencia es un conjunto articulado de conocimientos con capacidad explicativa y fundamentos teóricos. Por su parte la tecnología es un conjunto de conocimientos operativos derivados en algunos casos de la ciencia, o bien de la experimentación sistemática y rutinizada a nivel organizacional y que surge de la experiencia práctica que identificamos como “conocimiento empírico”. Una segunda diferencia es que el conocimiento tecnológico está ligado a su aplicabilidad práctica en la ejecución de actividades productivas; la ciencia por el contrario, es información pura, que en sí misma no posee ninguna aplicación práctica, y tiene por objeto la búsqueda permanente por establecer principios de validez universal. Un tercer elemento diferenciador, y el más trascendente para fines de esta investigación, se refiere al propósito esencial del desarrollo del conocimiento tecnológico que según Nosnik (2002) es la red solidaria (RSa). La RSa es embebida en la simbiosis de la heterogeneidad de la producción de bienes y servicios que generan rentas mediante la creación de valor para la empresa, pero también genera el beneficio para la sociedad en general. No obstante un hecho estilizado instituye que las actividades de investigación que se realicen sin objetivos económicos perfectamente definidos no constituirán conocimiento tecnológico.

Es considerado que una cantidad significativa tanto en innovación y mejora en investigación y desarrollo tecnológico (I+DT) suceden a través del aprendizaje.

1.2. Innovación y aprendizaje

Para algunos, la principal diferencia en las explicaciones sobre las causas que promueven la materialización del conocimiento tecnológico, es decir innovación, tienen que ver con un objetivo clave a alcanzar que es la racionalidad de los recursos. Para otros autores la innovación es explicada mediante un proceso de prueba y error, en donde se le da importancia crucial a la acumulación de conocimiento. No obstante una condición necesaria es la consistencia de relación entre las ciencias exactas (ingenierías) y las ciencias sociales (gestión estratégica), y a nivel interno entre la ciencia y la tecnología.

B. Johnson (1992) menciona que cuando la economía es comprendida más como causada por procesos de comunicación y acumulación que como un sistema en equilibrio, en términos neoclásicos, el aprendizaje puede ser conceptualizado como un recurso de la innovación; en general como una componente de la tecnología. Desde este punto de vista, la investigación y el aprendizaje son dos actividades estrechamente interrelacionadas, en las cuales, los hábitos de búsqueda, las rutinas y los hábitos del pensamiento son importantes elementos en las actividades de producción que pueden ser conciente y sistemáticamente monitoreadas y controladas, generando un incremento en el procesos de innovación.

Como tal, la componente de aprendizaje se caracteriza por la variación que este proceso puede generar en tres ámbitos: (Nelson, R y Winter, S. 1982 y Dosi, G. y Cimoli, M. 1992)

- a) La oportunidad económica, se refiere a las motivaciones que la innovación puede ofrecer mediante cada uno de los paradigmas tecnológicos, y a la mayor o menor facilidad con que pueden alcanzarse nuevos avances tecnológicos
- b) La apropiabilidad resultado de la difusión, se relaciona con la capacidad de los agentes innovadores para interiorizar algunos de los beneficios económicos derivados del progreso técnico y
- c) La acumulabilidad como proceso histórico, enfatiza la sumatoria de los avances tecnológicos y determina la capacidad de la empresa; al quedar fuertemente condicionada por la naturaleza acumulativa del progreso técnico.

En donde el aprendizaje pertenece al dominio de la creatividad humana¹⁶, según lo expresa Nosnik (2002) “la creatividad humana está enfocada a la función biológica básica: sobrevivir”.

El conocimiento generado se acumula por distintas vías: las reglas, las tradiciones, las costumbres, las normas y los hábitos; estos elementos, en su conjunto, ayudan a transferir el conocimiento de una generación a otra. Algunos de estos conocimientos conducentes se probarán en el nuevo desarrollo y acumulación de conocimientos, mientras otras partes podrán retardar este proceso preservando hábitos improductivos del pensamiento.

¹⁶ El desarrollo socio-biológico implica que el manejo de herramientas, y con esto el surgimiento de la creatividad, está relacionado con la innovación tecnológica.

No obstante y si bien la tecnología involucra aprendizaje, no todo proceso de aprendizaje genera mejoras tecnológicas, pues el conocimiento y habilidades adquiridos y acumulados durante la experiencia pueden no estar encaminados a la realización de estas mejoras o en su defecto este proceso puede verse obstaculizado en su aplicación.

El aprendizaje es un proceso interactivo considerando su contenido, de recuperación de inversión, y dirección; éste es promovido por el conjunto de instituciones establecidas en una economía.

1.3. Paradigmas y trayectorias tecnológicas

¿Qué es un paradigma científico?

Un paradigma científico comprende el conjunto de métodos, principios y estrategias que dominan la forma de hacer y de pensar de una actividad determinada. Según Kuhn (1962), “el éxito de un paradigma es, en gran parte una promesa de éxito discernible en ejemplos seleccionados y todavía incompletos. La ciencia normal consiste en la realización de esa promesa, una realización lograda mediante la ampliación del conocimiento de aquellos hechos que el paradigma muestra como particularmente reveladores, aumentando la extensión del acoplamiento entre esos hechos y las predicciones del paradigma por medio de la articulación ulterior del paradigma mismo”. La corriente económica evolucionista sugiere que paralelamente a paradigmas científicos existen paradigmas tecnológicos; en éstos últimos, los procesos de cambio son actividades que se desarrollan según trayectorias precisas y que se interrelacionan mediante una serie de elementos de discontinuidad asociados con la aparición de nuevos paradigmas tecnológicos. En amplia analogía con la definición de Kuhn, Dosi, G. (1982) conceptualiza un paradigma tecnológico como un patrón de solución a problemas selectos, basados en principios específicos y derivados de conocimientos empíricos previos. Además la identificación de un paradigma tecnológico relaciona las tareas o trabajos genéricos a los que se está aplicando, por ejemplo: i) a los materiales que la tecnología selecciona, o ii) a las propiedades físicas y químicas que se están explotando. La identificación consiste además en identificar el crecimiento de la dimensión económica subyacente al progreso tecnológico. Una vez dadas las dimensiones tecnológicas y económicas, es también posible obtener una idea de progreso como las mejoras de los intercambios relacionadas a estas

dimensiones. Por consiguiente, un paradigma tecnológico materializará una fuerte y determinante prescripción sobre la dirección de cambio técnico a perseguir. (Dosi, G. 1984 y Dosi, G., Pavitt, K. y Soete, L. 1993)¹⁷. Otro enfoque extraordinariamente rico es el que propone Nelson, R. y Winter, S. (1982), quienes manifiestan que cuando una trayectoria ha sido seleccionada y establecida se muestra su *momentum* propio, el cual contribuye a definir las direcciones hacia el cual la “actividad solucionadora del problema” se mueve; a estas actividades que dan solución a los problemas les denominan “trayectorias naturales de progreso técnico”. Asimismo, Nelson y Winter precisan que las trayectorias naturales se definen a través del progreso científico y técnico, reflejado a lo largo de las transacciones del comercio, económicas y tecnológicas. Los autores consideran que las trayectorias naturales de progreso técnico comprenden conjuntos de actividades encaminadas a solucionar problemas “normales” determinados por un paradigma, que pueden ser representados por el movimiento de intercambios multidimensionales entre las variables tecnológicas, las cuales el paradigma las define como relevantes.

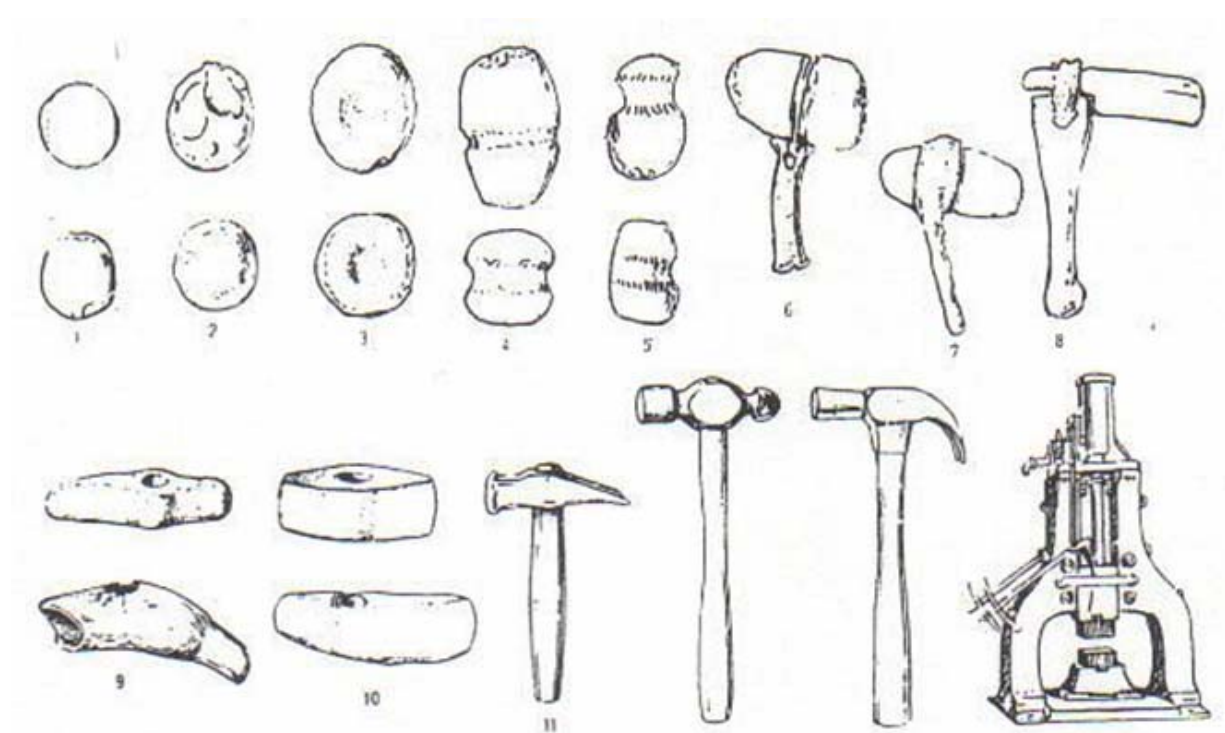
Finalmente, el aspecto fundamental a destacar es que el concepto de “trayectoria tecnológica” está directamente vinculado al patrón o sendero de la actividad innovadora de la organización. Este patrón presenta la sucesión ordenada y continua de agrupamientos de invención-innovación relacionados a productos, procesos, equipos y técnicas de gestión de desarrollo organizacional y estructural. En los cuales se muestra las tendencias, y el marco de escenarios que anteceden de manera continua los avances o desarrollos tecnológicos de la organización y la interrelación de sus elementos.

Las trayectorias tecnológicas muestran la evidencia histórica y evolutiva que subyace a la superposición de un nuevo paradigma, respecto a un paradigma en decadencia. Ciertamente, entre un paradigma nuevo y uno viejo hay una ruptura tácita que permite iniciar la asimilación del nuevo paradigma, siempre y cuando existan las instituciones adecuadas “eficaces y eficientes” que asuman esta tarea. Más adelante se analizan los factores económicos e institucionales que afectan los senderos tecnológicos.

¹⁷ Según Dosi, “La hipótesis crucial es que las actividades innovadoras son fuertemente selectivas, y terminan en direcciones precisas muy precisas, a menudo acumulativas”. (Dosi, G., Pavitt, K. y Soete, L. 1993:99)

Significativamente, el modelo evolutivo del cambio tecnológico permite inducir una primer conclusión: la analogía de la teoría de la evolución entre tecnología y organismos vivos, considerada como orgánico-mecánicas, permite identificar a las máquinas como una nueva clase de seres vivos, permitiendo incluso ordenarlos en géneros, especies y variedades, mediante las trayectorias tecnológicas. La historia de la tecnología está repleta de este tipo de ejemplos. (ver Figura 1)

Figura 1. La historia evolutiva del martillo.



Fuente: Basalla, G. (1991:34).

Dosi et al. (1982) han enmarcado las siguientes características en torno a las trayectorias tecnológicas:

- Existen trayectorias que pueden ser muy generales ó muy circunscritas, al igual que muy poderosas ó muy débiles.
- Hay trayectorias que generalmente son entre ellas complementarias; existe una fuerte

complementariedad de diferentes conocimientos, disciplinas, experiencias y habilidades.

- Se puede definir como la “frontera tecnológica” el más alto nivel alcanzado a lo largo de un sendero tecnológico con respecto a las relevantes dimensiones tecnológicas y económicas.
- El progreso sobre una trayectoria tecnológica es probablemente para retener ó conservar algunas características acumulativas: la probabilidad de futuros avances, en este caso, el progreso está relacionado con la posición que se ocupa respecto a la existente frontera tecnológica.
- Especialmente cuando una trayectoria es muy poderosa puede ser complicado cambiar a una trayectoria alternativa. Más aún, cuando alguna comparación es posible entre las dos (por ejemplo, cuando estas tienen alguna dimensión en común), la frontera sobre la trayectoria alternativa o nueva podría estar muy detrás de lo que está la trayectoria vieja, respecto a alguna ó todas las dimensiones en común. Es decir, cada vez que cambia el paradigma tecnológico inicia una nueva actividad en la solución de problemas.
- *A priori*, es dudoso que sea posible comparar y evaluar la superioridad de un sendero tecnológico sobre otro. De hecho, pueden existir algunos criterios objetivos que son efectivos, una vez que se han seleccionado algunos indicadores, pero sólo *ex-post*. Esta es una de las razones detrás de la profunda incertidumbre natural de la actividad de investigación.

1.4. Factores que fomentan o inhiben el patrón de trayectorias tecnológicas

La teoría evolucionista define usualmente a la tecnología como un proceso acumulado de mejoras o cambios radicales; donde el factor institucional, y la adopción y elección de los agentes juegan un papel determinante en el direccionamiento de senderos o trayectorias tecnológicas, como se analiza en ésta sección.

El factor institucional

Una institución comúnmente hace referencia a sociedades y organizaciones donde se acumulan y reproducen conocimientos, experiencias y habilidades, a través de las regularidades en el comportamiento que son específicas a un lugar y un tiempo. Las formas simples de regularidades del comportamiento son los hábitos, normas, costumbres, tradiciones, reglas y leyes; las cuales, además de regular a los individuos y los grupos colectivos, son importantes en el análisis económico porque se relacionan con un conjunto amplio de comportamientos rutinarios dentro de la economía¹⁸. La característica común de estas rutinas consiste en que, una vez institucionalizadas a través de la cultura pueden alentar o crear inercias en el cambio tecnológico.

Para Dosi, G. (1982), el papel de los factores económicos-institucionales deben ser considerados en mayor detalle; por lo tanto, el primer paso es la selección que opera en cada nivel que va de la investigación a la producción, relacionando los esfuerzos tecnológicos entre posibles senderos, sobre el fundamento de criterios, tales como:

- La viabilidad
- La comerciabilidad
- La rentabilidad
- El interés económico de la organización involucrada en la I+D en nuevas áreas tecnológicas
- La historia tecnológica de la organización
- El área de *expertise*, es decir, la especialidad
- Las variables institucionales, tales como agencias públicas, militares, etc.
- El costo de ahorro de la capacidad de la nueva tecnología, y
- El mercado.

¹⁸ Por ejemplo, Paul David demuestra que existieron mejores innovaciones de tecnologías alternativas al QWERTY, sin embargo, uno de los elementos históricos que influyó en la adopción del sistema de teclado QWERTY fue la técnica estrechamente vinculada a la necesidad de un sistema compatible entre el hardware del teclado y el software, representado por la memoria de los mecanógrafos en el toque de un arreglo particular de teclas. En resumen para los fabricantes y compradores de máquinas de escribir, este sistema involucró a operadores que fabricaban las máquinas y la variedad de organizaciones en cuyos hábitos y habilidades habían adoptado el sistema de hardware del QWERTY, lo cual significó que el esperado valor presente de una máquina de escribir, como un instrumento de producción, dependía de la disponibilidad del software compatible, creado por las decisiones de los mecanógrafos así como el tipo de teclado que ellos habían aprendido. (David, P. 1985)

Los siete primeros factores anteriores operan como fuerzas dirigidas sobre direcciones definidas en el desarrollo tecnológico, particularmente el papel frecuentemente desempeñado por fuerzas políticas en el establecimiento de una trayectoria tecnológica. Aún cuando existe un significativo enfoque institucional ocurre un proceso incierto de búsqueda, para las diferentes posibilidades tecnológicas, con diversas organizaciones, firmas y agencias individuales sobre diferentes soluciones tecnológicas.

El costo de ahorro de la capacidad de la nueva tecnología, en particular el ahorro de la mano de obra, puede considerarse como otro factor que puede influir en las trayectorias tecnológicas. Esto es consistente con la sugerencia de Nelson y Winter (1982) de “trayectorias naturales” hacia la mecanización y explotación de economías de escala y la cuasi-irreversibilidad de la inversión. Ciertamente en sociedades donde el conflicto industrial y el conflicto sobre la distribución del ingreso son características estructurales, la substitución de máquinas por trabajo debe ser un poderoso determinante en la búsqueda o investigación de procesos para nuevas tecnologías así como la infraestructura necesaria. Generalmente los patrones de conflictos sociales e industriales operan dentro del proceso de selección de nuevos paradigmas tecnológicos.

El mercado es otro elemento que afecta la dirección de senderos tecnológicos, en el cual se excluyen los posibles desarrollos o bien se seleccionan las tecnologías en donde la participación de las empresas depende en gran medida de la diferenciación del producto; ésta última variable afecta el desempeño competitivo en mercados nacionales como internacionales. El mercado opera como un mecanismo seleccionador, generalmente entre un rango de productos ya determinados por el amplio patrón de selección de la tecnología por el lado de la oferta.

Dosi, G. (1982) considera que la selección final de mercado puede ser comparado a la selección del medio ambiente sobre mutaciones. Por su parte, Arthur, W. B (1988) menciona que cuando una nueva ingeniería o posibilidad económica está por llegar, usualmente existen varias posibilidades en la forma en como se lleve a cabo; por ejemplo, después de 1890, el motor pudo haber sido impulsado por vapor, gasolina o bien por baterías eléctricas. En cambio, actualmente la energía nuclear puede ser generada ya sea por vapor de agua, gas-subenfriado, agua pesada o por reactores de sodio subenfriado, mientras que la energía solar puede ser generada por tecnologías de silicón-cristalino o silicón amorfo.

En cada caso se observa que estos métodos o tecnologías se encuentran compitiendo por un mercado de adoptadores, las cuales pueden competir inconsciente o pasivamente; al igual que las especies compiten biológicamente, esto si ocurre que la adopción de una tecnología desplaza o excluye adopciones de sus rivales. La atracción incremental causada por la adopción, o elecciones incrementales en adopción, pueden surgir de varias fuentes:

- Learning by using (Rosenberg, N. 1982). Frecuentemente una tecnología es mayormente adoptada, es mayormente usada y la más aprendida; por consiguiente se desarrollará y mejorará más que otras.
- Redes de externalidades (Katz y Shapiro, 1985). Frecuentemente una tecnología ofrece ventajas por estar de acuerdo o acompañar a otras tecnologías (con otros adoptadores de ésta), perteneciendo a una red de usuarios. Por ejemplo, la tecnología del video VHS es un adoptador de los beneficios de una mayor variedad y disponibilidad de productos de tecnologías afines.
- Economía de escala en la manufactura. Frecuentemente cuando una tecnología está materializada en un producto, el costo del producto desciende conforme se incrementa el número de unidades que son producidas de ésta. Así, la tecnología puede llegar a ser más atractiva en precio conforme se incrementa su elección.
- Retornos crecientes en información o conocimientos. Regularmente, la tecnología más usada disfruta de las ventajas de ser mejor conocida y mejor entendida. Debido a la aversión de riesgo, la adopción o elección de ésta llega a ser más atractiva si ocurre que tal tecnología es más amplia.
- Interrelaciones tecnológicas. A menudo, cuando una tecnología llega a adoptarse de manera continua, un número de otras subtecnologías y productos llegan a ser parte de su infraestructura. Por ejemplo, la tecnología para producir gasolina posee una enorme infraestructura de refinerías, estaciones de llenado y autopartes que dependen de ésta.

Arthur, W. B. (1988) analiza que, si una tecnología progresa en buena fortuna ganando ventaja puede atraer nuevos adoptadores, quienes de otra forma podrían irse con algunos de sus rivales, con el consecuente resultado que la adopción de mercado podría soplar a su favor y terminar dominando. Dadas otras circunstancias, por supuesto, una tecnología diferente puede haber sido

favorecida sólo al principio, y ésta podría haber llagado a dominar el mercado. Así, en competencia entre tecnologías con retornos crecientes, ordinariamente hay más que un resultado posible. En términos económicos hay equilibrio múltiple.

David, P. A. (1985) determina que los agentes comprometidos en las decisiones de producción y compras en el mercado, no son prisioneros de costumbres, derechos ó de control estatal. Pero mientras que éstos son perfectamente “libres para decidir”, su conducta no obstante, es aprisionada rápidamente en el dominio de eventos que se olvidan y conformados por las circunstancias en las cuales ni ellos ni sus intereses figuraran. Muchas de sus acciones que les parecen un acto de su propia libertad, en un sentido histórico, no es libertad; es esclavitud para el curso general de la historia previa. Consecuentemente, los cambios económicos e institucionales son una característica permanente del sistema, éstos estimulan el progreso técnico a lo largo de una trayectoria tecnológica. Así, los intentos de cambio tecnológico relacionados a la búsqueda de nuevas direcciones tecnológicas emergen en relación, ya sea a nuevas oportunidades que son creadas abiertas por desarrollos científicos o a la creciente dificultad de ir avanzando sobre una dirección dependiente de éstos factores

1.5. Sistemas socioeconómicos e innovación

La estrecha vinculación que existe entre los diversos factores institucionales y económicos interviene en el incremento o pérdida de la actividad innovadora y determina un enfrentamiento de los sistemas socioeconómicos en los mercados internacionales, más que de productos o empresas aisladas. Fanjzylberg, F. (1988) explica que, en el mercado internacional no sólo son empresas las que compiten, sino también se enfrentan sistemas productivos, esquemas constitucionales y organismos sociales en los que la empresa constituye un elemento importante pero integrado en una red de vinculaciones con el sistema educativo, la infraestructura tecnológica, las relaciones gerenciales, laborales, privados y el sistema financiero. El autor citado añade que existen sólidos vínculos entre los factores enumerados a continuación: (a) competitividad, (b) incorporación del progreso científico, (c) dinamismo industrial y (d) aumento de la productividad.

Según Fanjzylberg, el desarrollo a lo largo de una trayectoria tecnológica y “el círculo virtuoso acumulativo” se logra como resultante de la intervención estructural y funcional de los cuatro elementos arriba señalados. En su accionar dinámico, este círculo va alcanzando progresivamente niveles superiores que, a su vez, garantizan una dinámica creciente que le confieren un carácter marcado.

Para Dosi, G. y Cimoli, M. (1992), como ya mencionó, los componentes esenciales de la actividad innovadora son tres: Oportunidad, apropiación y acumulabilidad. La evolución y el ritmo de estos tres factores, a los cuales se añade el grado de difusión y las redes institucionales, influyen fuertemente en la capacidad y las asimetrías tecnológicas existentes entre las empresas y de los países.

Tanto la apropiación como la acumulabilidad del cambio tecnológico se ven influidos por la existencia de una condición tácita y de un conocimiento formal; la primera se expresa en aquellos casos en los que un determinado proceso afecta a los elementos relacionados con la idiosincrasia del trabajo, cuanto mayor sea la magnitud de esta condición tácita más grande será también la dificultad para representar gráficamente un proceso productivo o para elaborar programas de formación para el mismo. Por su parte, el conocimiento formal tiene como base la información escrita, en este caso cuanto menor sea la dimensión del conocimiento formal (por ejemplo de los procesos físicos y químicos) menor será la probabilidad de desarrollar ó reproducir un determinado producto o proceso. Por lo tanto, las características de las capacidades tecnológicas requeridas para producir o adoptar cierto tipo de innovaciones técnicas dependen también de la base de conocimientos que es inherente a cada proceso.

Por otra parte, el estudio de la actividad innovadora ha incitado el interés en la investigación y análisis de las interferencias que existen en las combinaciones de elementos estrechamente interrelacionados y que conforman grupos o proyectos de I+D, tal es el caso del estudio de redes. El concepto de redes se utiliza para examinar la configuración de individuos en proyectos de investigación, que trabajan conjuntamente; no obstante, existen distintas formas de enfocar este tipo de relaciones como veremos a continuación:

- a) Para Freeman, C. (1991), una organización de redes es básicamente un acuerdo institucional que hace frente a la innovación sistemática. Empíricamente hay una organización unida libremente bajo un núcleo de debilidades y fortalezas, existentes entre los miembros, que la constituyen.
- b) DeBresson, C. y Amesse, F. (1991) opinan que una red puede ser definida como un conjunto cerrado de vínculos explícitos, selectos y con patrones preferenciales que se dan en un espacio de empresas a partir de ventajas complementarias y relaciones de mercado; teniendo como principal meta la reducción estática y dinámica de la incertidumbre. La relación de redes, principalmente a partir de naturaleza tácita e informal, existe también aún en el ambiente local, vinculándose a través de cadenas abiertas, empresas u otros agentes.
- c) Pérez, C. (2001) considera que cada revolución tecnológica parece haberse asociado con redes localizadas. La historia económica y tecnológica indica que los *clusters* de innovación asociadas con redes de firmas innovativas han sido siempre la regla general. Particularmente, los periodos de profunda turbulencia tecnológica, institucional y de mercado pueden inducir a incrementar las actividades de redes en las firmas.
- d) Foray D. (1991) observó a los incentivos económicos de la asociación de recursos técnicos, redes de organizaciones, como cuasirentas Marshallianas; mientras que las ganancias del empresario fue para Shumpeter (1978) el resultado de un excepcional acto heroico, para Foray las cuasirentas provienen de la nueva colaboración de actores.
- e) Rothwell, R. (1972) apoyado en la experiencia del proyecto SAPHOO identificó factores que son importantes para el éxito e incluyó la comparación entre las innovaciones exitosas y las que fallaron. Algunas de las hipótesis que surgieron de este proyecto, ligadas particularmente al problema de las redes tecnológicas, fueron las siguientes:
 - i. Necesidad de usuarios y redes. El éxito de las innovaciones fueron caracterizadas por una tentativa por determinar el desarrollo entendiendo las necesidades especiales y las circunstancias de los usuarios potenciales futuros de un producto o proceso nuevo.
 - ii. La unión existente entre desarrollo, producción y actividades de mercado. El fracaso fue caracterizado por la escasez e inadecuada comunicación interna en la innovación organizacional y escasa integración de estas funciones.

- iii. Vínculos con fuentes externas de información científica y técnica, y consulta. Los innovadores exitosos, aunque típicamente tienen su propio departamento de I+D, también han hecho considerable uso de otras fuentes tecnológicas.

Estudios posteriores han demostrado la importancia de las redes formales e informales. Así, la competencia interna en el departamento de I+D fue complementada ocasional o regularmente con universidades, con laboratorios de gobierno, con consultorías, con asociaciones de investigación y con otras empresas (aunque predominaron las relaciones informales).

Las contribuciones y los fines analíticos derivados de los estudios de innovación apuntan hacia la explicación de algunos fenómenos comunes, los cuales son importantes para entender el proceso de cambio tecnológico.

Entre los aspectos comunes al proceso de cambio tecnológico podemos enumerar los siguientes:

- El conocimiento científico desempeña un papel cada vez más determinante en la apertura de nuevas posibilidades de avances tecnológicos y
- La complejidad creciente de actividades de investigación e innovación se integra en favor de organizaciones institucionales, como el ambiente típico para la producción de innovaciones, en oposición a los innovadores individuales.

1.6. De la Teoría Evolucionista al Sistema de Innovación

Autores como Nelson, R. y Nelson, K. (2002:269) afirman que “desde la perspectiva de la teoría evolucionista, el crecimiento económico que hemos experimentado necesita ser entendido como el resultado de la introducción progresiva de nuevas tecnologías que fueron asociadas con niveles de productividad laboral cada vez más alto, y de la habilidad de producir nuevos o mejores bienes y servicios”. Ellos consideran que se tiene la posibilidad de llevar el control del desarrollo tecnológico, en donde las empresas tienen un papel fundamental. Asimismo, la tecnología es una variable endógena y se fundamenta en el conocimiento. Los autores desarrollan la concepción de un sistema de innovación en varios niveles: nacional, regional y sectorial

Algunos estudios sobre avance tecnológico, en el marco la teoría evolucionista del crecimiento económico, comprenden los realizados por Nelson, R. y Winter, S. (1982); Freeman, C. (1988); Lundvall, B. A. (1988 y 1992a); Nelson, R. (1988, 1993), Carlsson, B. (1995), Edquist, C. (1997) y Mowery, D. y Nelson, R. (1999). Desde que surgió esta teoría, ha tendido hacia la adopción del análisis institucional, a través del concepto de Sistema de Innovación que, de acuerdo con Nelson, R. y Nelson, K. (2002:265) “la idea de los Sistemas de Innovación es una concepción institucional por excelencia”.

Retomando las consideraciones de la innovación en Schumpeter

Los teóricos evolucionistas basan su análisis en las aportaciones de Joseph Schumpeter, en las que el equilibrio no existe, a diferencia de la teoría neoclásica. Un aspecto fundamental de su teoría es que el desarrollo económico se apoya en las innovaciones tecnológicas que irrumpen de manera explosiva en los procesos productivos, no se distribuyen aleatoriamente sino que se concentran en algunos sectores, por lo tanto son discontinuas, desequilibradas y de naturaleza no armónica, imprimiendo un carácter dinámico a la competencia empresarial. Su difusión es desigual entre los sectores y al interior de cada sector, debido al comportamiento cíclico con diferentes fases: expansión, contracción, depresión y recuperación. (Freeman, C. 1994:79) Para Schumpeter, la fuente de las fluctuaciones económicas es el proceso de innovación, definido como “un proceso de mutación... que revoluciona incesantemente la estructura económica desde dentro, destruyendo ininterrumpidamente lo antiguo y creando continuamente elementos nuevos. Este proceso de destrucción creadora constituye el elemento esencial del capitalismo. En ella consiste, en definitiva, el capitalismo y toda empresa capitalista tiene que amoldarse a ella para sobrevivir”. (Schumpeter, 1968:120)

A diferencia de los neoclásicos que centran su análisis en esquemas estáticos y estacionarios, evitando el problema de la evolución social o desenvolvimiento económico, para Schumpeter (1978:76), la innovación es una mutación económica interna que surge de las distintas combinaciones de materiales e intereses de los empresarios ya que, por lo regular, el productor es quien inicia el cambio económico. Según el autor (Schumpeter, 1978:77), estas nuevas combinaciones (innovaciones) son las siguientes:

- La introducción de un nuevo bien, es decir, uno con el que no se hayan familiarizado los consumidores o de una nueva calidad de un bien.
- La introducción de un nuevo método de producción, es decir, de uno no probado por la experiencia en la rama de la manufactura de que se trate, que no precisa fundarse en un descubrimiento nuevo desde el punto de vista científico, y puede consistir simplemente en una forma nueva de manejar comercialmente una mercancía.
- La apertura de un nuevo mercado, es decir, un mercado en el cual no haya entrado la rama especial de la manufactura del país de que se trate, a pesar de que existiera anteriormente dicho mercado.
- La conquista de una nueva fuente de aprovisionamiento de materias primas o de bienes semi-manufacturados, haya o no existido anteriormente, como en los demás casos.
- La creación de una nueva organización de cualquier industria, como la de una posición de monopolio o bien la anulación de una posición de monopolio existente con anterioridad.

La competencia a través de la innovación tecnológica se determina por la capacidad que tiene cada empresa para generar de manera continua nuevos productos y servicios que le aseguren una ganancia al empresario. Esta competencia “imperfecta” entre los empresarios “fundamentalmente en términos de innovaciones industriales, constituye la base del desarrollo económico el énfasis aparece en el lado de la oferta, es decir, en la inversión autónoma se contempla el desarrollo económico fundamentalmente como un proceso de reasignación de los recursos entre las industrias. Este proceso provoca automáticamente cambios estructurales y desequilibrios, aunque sólo sea por la existencia de una distinta tasa de cambio tecnológico desigual en cada industria”. (Freeman, 1985:54-55)

Para Ruttan V. (1979:67), el concepto de innovación ha tenido mayor importancia al de invención; además considera que, la innovación alcanzó una mayor proyección a partir de que Schumpeter (1939) la identificó como la función esencial del empresario, citando a éste señala que “La innovación es posible sin nada que podamos identificar como invención y la invención no induce necesariamente a la innovación, sino que en sí misma puede no producir... ningún efecto económicamente importante en absoluto”.

En la literatura se encuentra el planteamiento de dos momentos en el pensamiento schumpeteriano (Freeman, C. 1995:64), en el modelo I de Schumpeter¹⁹ es relevante el comportamiento arriesgado de los empresarios quienes para innovar se apoyaban en los adelantos de la CyT exógenas a la empresa y, en las estructuras de mercado que les proporcionan una renta monopólica (objetivo fundamental del empresario) por un tiempo determinado, hasta que penetran empresas imitadoras como consecuencia de la difusión de las innovaciones. Cabe señalar que, quienes pueden imitar o copiar, son aquellos empresarios que están próximos al innovador. Al disminuir los beneficios se puede llegar a una etapa de estancamiento y depresión, la cual puede ser evitada por una nueva ola de innovaciones. En el modelo II, Schumpeter considera a las actividades científicas y tecnológicas como un factor endógeno, realizadas por las grandes empresas como su principal estrategia competitiva y llevando a cabo actividades de I+D. Al incrementarse dichas actividades, aumenta la propensión a innovar cuyos efectos son los siguientes: mayor concentración de mercado, nuevos modelos de producción, transformación de la estructura de mercado, e incertidumbre por los resultados positivos o negativos (pérdidas o ganancias), estas dos posiciones son complementarias. Sin embargo, las innovaciones no surgen únicamente de las actividades de I+D, pueden ser originadas por las tareas rutinarias²⁰ que van acumulando conocimiento, es decir, aprendizaje tecnológico que constituye un elemento importante en la nueva teoría evolucionista.

En la teoría evolucionista se proponen los principios de un desarrollo teórico alternativo en donde el desarrollo tecnológico es “un proceso evolutivo, dinámico, acumulativo y sistémico” (Vence, D. 1995:216). Vence hace una analogía entre el funcionamiento de la sociedad y una organización biológica, en donde todas las partes del órgano cooperan en lugar de rivalizar o como un todo en donde la contienda es obligada. En la sociedad capitalista se puede observar la cooperación entre las empresas en las actividades tecnológicas y, al mismo tiempo, la protección industrial de sus productos para poder competir. Su investigación es empírica y el centro de su análisis es el cambio tecnológico y la innovación en los países desarrollados. Se dispone de

¹⁹ Antes de la Segunda Guerra Mundial, Schumpeter desarrolló un primer modelo el cual presenta en su obra *Theory of Economic Development* (1912); el segundo modelo lo expone en su libro *Capitalism, Socialism and Democracy* (1943). (Freeman, C. Clark, J. y Soete, L. 1985:64)

²⁰ “Una rutina implica una colección de procedimientos que, tomados en su conjunto, tienen como resultado un producto predecible y específico. Las rutinas complejas pueden dividirse de una manera analítica en una colección de rutinas subordinadas”. (Nelson, R. y Nelson, K. 2002:267-268)

evidencia que muestra que las diferencias entre las tasas de crecimiento de la producción y la productividad han estado sistemáticamente relacionadas con la intensidad en I+D y con los patrones del cambio tecnológico.

El enfoque de las innovaciones es dinámico ya que es considerado que: (a) las tecnologías cuando se difunden no mantienen constantes sus características, sino que evolucionan y compiten con otras tecnologías que cumplen la misma función o semejante, (b) la aparición y difusión de innovaciones es el factor que históricamente ha tenido un mayor impacto y con mayor frecuencia ha alterado drásticamente el entorno institucional y la estructura de las industrias, (c) el comportamiento estratégico de las empresas se adapta a las condiciones estructurales de la industria y a las características de las tecnologías existentes pero, al mismo tiempo, busca influir sobre la estructura y sobre la evolución de las tecnologías de forma activa. De manera general, el proceso innovador está determinado por la confluencia de tres fuerzas que siguen pautas cambiantes a lo largo del tiempo: (i) la evolución de la propia tecnología, (ii) la presión del marco institucional e industrial y (iii) las estrategias de las empresas. (Nieto, 2001:122)

Los aspectos relevantes de la teoría evolucionista son: a) el conocimiento tecnológico, b) la acumulación de la tecnología, c) existe interdependencia entre la ciencia y la tecnología; d) en el éxito y fracaso de la innovación cuenta en gran medida, la estrategia corporativa y la política gubernamental; e) el éxito o fracaso de la innovación también recae en la naturaleza e interacción actual y futura del usuario; f) integración de I+D con las funciones de mercadotecnia y diseño de las actividades productivas.

1.7. Conocimiento tecnológico

La tecnología por definición contiene la representación de formas específicas de los conocimientos que se requieren para realizar una actividad cualquiera que esta sea; donde las empresas son los principales depositarios de conocimientos tecnológicos, aunque no los únicos. La acumulación y combinación de un conjunto de conocimientos específicos dan forma y limitan la evolución del cambio tecnológico, al margen de los estímulos que puedan generarse en el mercado. (Cimoli, M. y Dosi, G. 1994) Ante la complejidad que presenta conceptualizar a la tecnología, el trabajo desarrollado por Molero, J. y Buesa, M. (1996) permite

tener mayor claridad, ellos consideran que, la tecnología puede estar *incorporada* en los equipos de producción y *desincorporada* en la experiencia empresarial, en la organización, en los métodos de trabajo, en el diseño de los productos, en planos y en los documentos de patentes.

El desarrollo de la tecnología permite obtener nuevos descubrimientos y nuevas formas de solucionar los problemas que son inherentes a la actividad productiva. A estas manifestaciones se les ha designado con el concepto de *innovación tecnológica*. Cuando se trata de nuevas tecnologías empleadas en la producción se le denomina *innovación de proceso*, si esta se refiere a cambios en los diseños o características del producto se le llama *innovación de producto*. A las innovaciones que originan un nuevo proceso o producto se dice que son *radicales* y, cuando se modifica un producto o proceso ya conocido se les denomina *innovación incremental*.

Hay quienes no hacen ninguna distinción y se refieren a ellas sólo como innovaciones, sin embargo, diferenciarlas es importante ya que los dos tipos de innovación combinan de manera diferente los *inputs* (entradas) del conocimiento y tienen distintos resultados para la economía y las empresas que las realizan.

De acuerdo con Molero, J. (1994), las características principales de las innovaciones son las siguientes:

Su carácter específico, referido tanto a los individuos y organizaciones que desarrollan la tecnología, como a la concreción de los problemas que las innovaciones pueden resolver. La tecnología tiene una serie de componentes que pueden ser *apropiados* por mecanismos de mercado o, por patentes o secretos. Simultáneamente, existen otros componentes que son de tipo tácito, por lo que resultan difícilmente separables de las organizaciones o de los individuos que los incorporan. La tecnología se fundamenta en una importante variedad de fuentes de conocimientos, por ello, es bastante compleja, tiene el rasgo de especificidad y posee aplicaciones potencialmente multifuncionales.

La actividad innovadora incorpora elementos diferenciales de aprendizaje que incluyen aspectos tales como las actividades de I+D, el diseño, el “aprender haciendo”, el “aprender por uso”, la “copia” y la ingeniería de producción.

La innovación tiene un carácter acumulativo, de manera que las posibilidades del futuro inmediato dependen, en gran medida, de los conocimientos adquiridos hasta el momento presente. Esta

característica no puede confundirse con determinismo porque como todo proceso de conocimiento se encuentra sometida a la incertidumbre de los resultados.

El carácter o conocimiento específico de la tecnología no puede ser transferido mecánicamente, los conocimientos generados en una empresa no pueden ser utilizados en otra que produce algo diferente, es decir, se pueden utilizar algunos elementos pero no la tecnología en cuanto a un método para aplicarla. Con respecto a la apropiabilidad, Dosi, G., Pavitt, K. y Soete, L. (1993) afirman que, de acuerdo con las teorías clásicas así como las schumpeterianas, los grados cambiantes de apropiación privada de los beneficios de la innovación son el incentivo debido al resultado del propio proceso innovador y que, por lo tanto, cada tecnología tiene un balance específico en sus aspectos de bien público y sus características privadas.

Ha empezado a considerarse que la tecnología no es un bien público de libre uso como la información, ya que contiene un elemento sustancial de aprendizaje y conocimiento acumulado. “Se ha pasado a considerar a la innovación como un proceso de aprendizaje continuo en el que tanto el *input* como el *output* tecnológico son conocimiento” (Nieto, 2001:170). Una parte de ese conocimiento (tácito) reside en las personas y en las organizaciones que lo han adquirido a través del entrenamiento del trabajador, prueba y error. Este conocimiento no se puede transferir fácilmente, Molero, J. y Buesa, M. (1996) consideran que, la única manera de trasladarlo es por medio de una interacción específica, similar al proceso de enseñanza–aprendizaje y que, no es sujeto de compra– venta en el mercado, por ejemplo, el *know-how* no está disponible. El entrenamiento y la experiencia son insustituibles, sin embargo, una parte de ese conocimiento se puede difundir por la movilidad que existe de los trabajadores entre las empresas.

La innovación futura de una empresa está condicionada por su proceso de aprendizaje, por la acumulación de conocimiento y por la experiencia que va trazando una senda. Existen trayectorias tecnológicas y las empresas diversifican sus trayectorias. El futuro de las empresas depende de lo que han hecho en el pasado, en este sentido, Dosi, G. (1991:183) afirma que el cambio tecnológico es un proceso iterativo en el que el pasado afecta al alcance futuro del aprendizaje y la innovación. De acuerdo con esto, la manera en que innovan las empresas es a través del aprendizaje y la creación de conocimiento.

Cuando las empresas entran en una senda de innovación tecnológica, se pone en juego un conjunto muy complejo de fuerzas, entre las que destacan las propias capacidades tecnológicas de la empresa, las cuales tienen una relación directa con las características del conocimiento tácito; es decir, se pueden originar nuevos conocimientos tecnológicos basados en las rutinas y los conocimientos acumulados por la firma después de utilizar la tecnología continuamente, ya que esto permite generar nuevo conocimiento para mejorarla. El aprendizaje que se obtiene por medio de la práctica se le denomina “learning by doing” esta definición según Nieto (2001:118) fue hecha por Arrow, K. en 1962 quien señala que el aprendizaje se produce una vez que se ha diseñado el producto y el proceso productivo.

Existen otros tipos de aprendizajes entre ellos el “learning by failure” (aprendizaje por el error) en el cual después de introducida la innovación en el mercado puede tener resultados adversos, no previstos; sin embargo, de ellos se puede obtener la información necesaria para aprender y mejorar. Otro tipo es el aprendizaje por el uso “learning by using” el cual se obtiene después de que la introducción de la innovación en el mercado ha sido exitosa, gracias a que la información que proporcionan los consumidores mejora los productos.

Las variaciones en las condiciones de la acumulación, oportunidad y apropiación de la tecnología dependen de cierta manera de la naturaleza de los distintos paradigmas tecnológicos, así como de la estrategia e interacción competitiva de las empresas. Los paradigmas tecnológicos no sólo determinan los límites de las direcciones posibles del progreso (las trayectorias tecnológicas), también delimitan el rango de grados nacionales de apropiabilidad y la facilidad de los avances tecnológicos. (Dosi, G. 1991:104)

1.8. Concepto de “Sistema de Innovación”

Dentro de las definiciones del Sistema Nacional de Innovación (SNI), se encuentran las siguientes contenidas en el trabajo de Niosi, J. (2002:292):

- 1) “La red de instituciones en los sectores público y privado cuyas iniciales actividades e interacciones, importación, modificación y difusión de las nuevas tecnologías (Freeman, 1987)”.
- 2) “Los elementos y relaciones que actúan recíprocamente en la producción, difusión y nuevo uso del conocimiento económicamente útil (...) y se localizan dentro ó arraigado dentro de las fronteras de un estado nación (Lundvall, 1992)”.
- 3) “El conjunto de instituciones cuyas interacciones determinan la actuación innovadora de empresas nacionales (Nelson y Rosenberg, 1993)”.
- 4) “El sistema nacional de innovación está constituido por las instituciones y las estructuras económicas que afectan la proporción y dirección del cambio tecnológico en la sociedad (Edquist y Lundvall, 1993)”.
- 5) “Un sistema nacional de innovación es el sistema de actuar recíprocamente las empresas privadas y públicas (grandes o pequeñas), universidades, y agencias del gobierno que apuntan a la producción de CyT dentro de las fronteras nacionales. La interacción entre estas unidades puede ser técnica, comercial, legal, social, y financiera, en tanto como la meta de la interacción es el desarrollo, protección, financiación o regulación de nueva CyT (Niosi, J., Saviotti, P., Bellon, B. y Crow, M.1993)”.
- 6) “Las instituciones nacionales, su incentivo estructural y sus competencias que determinan la proporción y dirección del aprendizaje tecnológico (o el volumen y composición de actividades generadoras del cambio) en un país (Patel y Pavitt, 1994)”
- 7) “Conjunto de instituciones distintas que conjunta e individualmente contribuye al desarrollo y difusión de nuevas tecnologías y que proporciona el armazón dentro del que los gobiernos forman e implementan políticas para influir en el proceso de la innovación. Como tal es un sistema de instituciones interconectadas para crear, negocios y transferir el conocimiento, habilidades y artefactos que definen las nuevas tecnologías (Metcalf, 1995)”.

El primer teórico en utilizar la expresión “*Innovation System*” fue Bengt-Ake Lundvall en 1985 sin el adjetivo “nacional”; éste fue introducido al hacer comparaciones internacionales de las formas en que los países conducen a las innovaciones. Fue “Freeman en 1987 en su libro de la innovación en Japón quien trajo el concepto a la literatura”. (Lundvall, B. A., Johnson, B., Andersen, E. S. y Dalum, B. 2002:215) Sin embargo, los antecedentes del estudio del tema se encuentran en los

trabajos de Friedrich List en su obra “The National System of Political Economy” (1841; citado en Freeman, C. 1995), en donde el autor expresa su preocupación respecto al intento de Alemania por *alcanzar* a Inglaterra, y la situación de los demás países subdesarrollados de aquella época. List se pronunció por la protección de las industrias incipientes, así como por el diseño de políticas para acelerar, o hacer posible, la industrialización y el crecimiento económico. Estas políticas se referían al aprendizaje de nueva tecnología y su aplicación. Freeman, C. (1995:7) señala que List además de analizar las características centrales del sistema nacional de innovación²¹, también puso gran énfasis en el papel del Estado en la coordinación y ejecución a través de políticas de largo plazo para la industria y la economía.

Lundvall, B. A., Johnson, B., Andersen, E. S. y Dalum, B. (2002:218) señalan que la noción moderna del concepto de SNI no tiene como base el trabajo de List, sino que, después de que el concepto fue ampliamente aceptado Christopher Freeman y otros estudiosos revisaron la historia y proyectaron a List como el antecesor intelectual. Los autores afirman que, las ideas que están detrás del enfoque del SNI se inspiraron en la teoría evolutiva de empresas y mercados creada por Nelson y Winter, y en los trabajos empíricos de los académicos relacionados al SPRU y de Chris Freeman en los años setentas y los ochentas (Ibid., 218).

El enfoque de los SNI considera importante la dimensión política y percibe al Estado–Nación como una entidad política, estiman que el nivel analítico que manejan es adecuado para entender el trabajo de los sistemas de nacionales; así como, las restricciones y la eficiencia de las políticas en el nivel nacional. En el trabajo de Lundvall (1992) se distinguen dos cuestiones: 1) que el recurso fundamental de la economía moderna es el conocimiento y, por consiguiente, el proceso más importante es el del aprendizaje, y 2) el aprendizaje es interactivo, por lo tanto, es un proceso socialmente incluido, que no se puede entender si no se tiene en cuenta el contexto institucional y cultural. Lundvall acepta que el desarrollo histórico establecido por el Estado-Nación moderno fue un requisito previo para la aceleración del proceso de aprendizaje que impulsó el proceso de industrialización. También asume que el papel tradicional del Estado-Nación en apoyo a los procesos de aprendizaje, ahora es desafiado por el proceso de internacionalización y globalización.

²¹ Los sistemas nacionales de innovación continúan siendo objeto de estudio (instituciones de educación y entrenamiento, ciencia, institutos técnicos, aprendizaje interactivo usuario-productor, acumulación de conocimiento, adaptación de tecnología importada, promoción de industrias estratégicas, etc.).

En este sentido, Lundvall, B. A., Johnson, B., Andersen, E. S. y Dalum, B. (2002:225) afirman que “en esta era de globalización, la economía del aprendizaje presenta contradicciones inherentes al proceso económico que amenaza la construcción del aprendizaje y competencias por el deterioro del capital social. La especulación financiera parece volverse cada vez más importante y es su capital financiero quien dictamina si hay o no una buena práctica entre las compañías, así como entre los gobiernos”. Pero para los autores, la contradicción más importante es que el capital financiero, el cual es un “*silly capital*”, domine una economía basada en el aprendizaje y el conocimiento.

Lundvall (1992a) define al SNI como un sistema constituido por elementos y relaciones que interactúan en la producción, difusión y el uso nuevo del conocimiento económicamente útil. El conocimiento y el sistema nacional incluyen elementos y relaciones, en cualquier lugar, ya sea en el interior o en las fronteras de un Estado-Nación.

Una actividad central del sistema de innovación es el aprendizaje, que es una actividad social que involucra la interacción entre personas. El sistema de innovación es un sistema dinámico, caracterizado por la retroalimentación positiva y reproducción. La causalidad acumulativa y los círculos virtuosos y viciosos son característicos del sistema y subsistemas de innovación.

Las instituciones en la economía del aprendizaje

Durante los últimos años se ha efectuado un cambio importante en las naciones desarrolladas en la acumulación de nuevos conocimientos, en donde se considera al conocimiento como el recurso más importante y, el éxito económico de su utilización depende de la capacidad de aprendizaje de las personas, las empresas y las instituciones. En los estudios de Lundvall, B. y Johnson, B. (1994) y Archibugi y Lundvall, B. (2001)²², se discute el concepto “the learning economy” (la economía de aprendizaje)²³.

²² Este estudio es citado en Lundvall, B. A., Johnson, B., Andersen, E. S. y Dalum, B. (2002:224).

²³ El concepto economía del aprendizaje es preferido por Lundvall, B. (2000:20) sobre el que utiliza la OCDE “knowledge-based economy” (economía basada en el conocimiento ó economía basada en el saber).

Los autores consideran que los elementos más importantes en los sistemas de innovación se relacionan con la capacidad de aprendizaje interactivo de los individuos, las regiones y las organizaciones que repercuten en los métodos de funcionamiento de las empresas, las nuevas formas de cooperación y competencia así como nuevas formas de gobernabilidad. El aprendizaje de nuevas habilidades y competencias es un proceso social e interactivo que no puede florecer en una economía pura de mercado (Lundvall, 2000:21).

En las aportaciones de Lundvall, B. A., Johnson, B., Andersen, E. S. y Dalum, B. (2002:227) sobresale una amplia definición de sistema de innovación, el cual incluye una nueva perspectiva en una extensa gama de políticas como la política social, de mercado laboral, de educación, de la industria, de la energía, del medio ambiente y la de CyT; éstas influyen en el aprendizaje y la construcción de la competitividad, por lo que es necesaria la coordinación del esfuerzo de la política para reforzar las capacidades de aprendizaje. Esto coincide con lo que plantea Niosi (2002:291) quien señala que, los Sistemas Nacionales de Innovación son un grupo de instituciones interrelacionadas, cuyo centro son las instituciones que producen, difunden y adaptan nuevo conocimiento técnico, ellas son las empresas industriales, las universidades, o las agencias gubernamentales. Los eslabones entre las instituciones son los flujos de conocimiento, financieros, humanos, reguladores y comerciales.

Para Johnson, B. (1992:26) “las instituciones son un conjunto de hábitos, rutinas reglas, normas y leyes que regulan las relaciones entre las personas y forma la interacción social” las cuales tienen influencia directa en la forma en que los individuos aprenden y utilizan su conocimiento. Nelson, R. (2002:292), quien se ajusta a las definiciones más usadas en la literatura, llama “tecnología social” a las instituciones, éstas son definidas y definen las reglas del juego (North, *supra*). La interpretación de Nelson es que las nuevas tecnologías sociales, nuevas “instituciones”, frecuentemente aparecen como cambios en los modos de interacción, es decir, nuevas formas de organizar el trabajo, nuevos tipos de mercado, nuevas leyes y nuevas formas de acción colectiva. Nelson utiliza el lenguaje de las rutinas para describirlas y señala que las instituciones y el cambio institucional dependen del avance de las tecnologías físicas en el proceso de crecimiento económico.

El proceso de aprendizaje institucional tiene un carácter dinámico que permite una evolución gradual de las instituciones económicas y socio-políticas, por medio de una combinación de causas específicas. El desarrollo de estrategias particulares bien definidas para convertir a la innovación en un círculo virtuoso continuo. Las causas son internas y externas, pero los resultados dependen de la dinámica institucional endógena (Lundvall, B. y Borrás, S. 1997). Cada país y región define sus políticas administrativas y socioeconómicas, de acuerdo a sus tradiciones que determinan las combinaciones particulares y formas de cambio de la política y de su continuidad. Las políticas administrativas han tendido a establecer estrategias que apoyan a los procesos industriales y productivos. En este sentido, la continuidad en este tipo de política puede ocasionar una política *lock-in* en donde las posibilidades de cambio son problemáticas y lentas, sin embargo, el cambio siempre es difícil, sobre todo si trae consigo nuevos elementos. Los problemas ocasionados por romper la política *lock-in* son diversos, entre ellos destacan la falta de un distrito electoral (grupos de interés) abiertamente interesado en la nueva orientación, la falta de políticos experimentados para llevar a cabo eficazmente las nuevas medidas y, los errores propios de la política cuando se pretende implantar nuevas medidas (op. cit.).

La eficiencia de las actividades de aprendizaje depende de la infraestructura económica, política y social, así como de las instituciones, además de las experiencias pasadas, de la trayectoria seguida en el pasado (*path dependence*) que se manifiestan en los aspectos tangibles (producción de capital y/o recursos naturales-capital natural) e intangibles (capital intelectual y capital social) y de la estructura productiva.

1.9. Eficiencia institucional en la actividad innovativa

Dentro del aprendizaje interactivo, el papel que tienen las instituciones nacionales organizadas es definir la proporción y dirección de las actividades innovadoras. La teoría evolutiva tiene algunas dificultades como lo señalan Richard y Katherine Nelson (2002:265), una de ellas es que la incorporación de las instituciones está tan limitada, tal como ocurre en la Teoría Neoclásica misma que fue diseñada como reemplazo. Los autores argumentan que, el teorizar en economía dentro de un amplio marco intelectual se realiza en dos niveles de abstracción: a) Teoría

apreciativa, la cual está muy próxima al tema empírico y (b) Teoría Evolucionista ha adoptado y aceptado a las instituciones, en el nivel Formal, aún no lo ha hecho. El debate ha girado en torno a que el desarrollo efectivo de la teoría depende de un intercambio dialéctico continuo entre la teoría formal y la evolucionista. Nelson considera que el futuro desarrollo de la idea de los sistemas de innovación podría ser facilitado de manera significativa si la Teoría Evolutiva Económica Formal pudiera incorporar el análisis institucional.

En el análisis realizado por Richard y Katherine Nelson (2002:267), se señala que existen importantes afinidades entre los economistas institucionales de la escuela de North y los economistas evolucionistas modernos, al menos comparten el interés central de entender los determinantes del desempeño económico y las diferencias que existen entre las naciones con el paso del tiempo. Los teóricos evolucionistas perciben el nivel de eficiencia tecnológica de un país como el factor básico que limita su productividad, y al avance tecnológico lo perciben como el “motor” que impulsa al crecimiento económico. Cada vez más economistas evolucionistas empiezan a ver a las “instituciones” como las que moldean las tecnologías usadas por una sociedad y al propio cambio tecnológico. Los autores también hacen referencia que los economistas institucionales se concentran en las instituciones, pero todavía no incluyen de manera explícita en sus formulaciones a la tecnología ni al cambio tecnológico.

La importancia de las instituciones vinculadas a la innovación reside en que pueden proporcionar incentivos, información y recursos, disminuyendo la incertidumbre; sin embargo, se corre el riesgo de que los incentivos sean equivocados, la información sea defectuosa y los recursos pueden ser insuficientes; así como no lograr disminuir la incertidumbre.

En este sentido, un estudio realizado por Niosi, J. (2002:292) plantea que las instituciones pueden ser “x- eficaces” o “x- ineficaces. La *x- eficacia* o efectividad se logra cuando las instituciones alcanzan sus objetivos organizacionales, por ejemplo, las universidades producen capital humano (y se considera que ésta ha cumplido cuando los estudiantes se gradúan) y además generan conocimiento científico básico el cual transfieren a la sociedad. Otro ejemplo son los laboratorios gubernamentales los cuales dirigen la aplicación de la I+D y trasladan ese conocimiento a la sociedad. Se define a la *x- ineficacia* como la diferencia entre el desempeño logrado y el máximo

desempeño existente²⁴ (el resultado máximo observado en las organizaciones equivalentes). Estas distinciones se pueden aplicar a las instituciones que integran a los SNI, y ya que algunas funcionan mejor que otras, la eficacia institucional se presenta como una variable cuando las instituciones similares y con objetivos equivalentes se comparan entre sí, y no cuando una institución individual se compara a un óptimo.

En este sentido, la Economía Neoclásica ha mostrado que los mercados pueden ser ineficientes, siendo los fallos de mercado más frecuentes las externalidades. La Economía Neoclásica también ha mostrado que, las políticas económicas que maximizan el beneficio de pequeños grupos poderosos reducen al mismo tiempo el bienestar de la mayoría, representando fracasos gubernamentales. (Stiglitz, J.E. 1995)

Niosi, J. (2002:292-296) define varios tipos de ineficacias: la que se relaciona con la *path dependence* y algunas situaciones *lock-in*; las fuentes de las ineficacias institucionales, las fuentes institucionales de ineficacias y, las fuentes de las ineficacias del sistema, mismas que a continuación se describen:

- 1) *Path dependence* y *lock-in*: las ineficacias e ineficiencias de los sistemas nacionales de innovación pueden estar relacionadas con la trayectoria que se ha seguido en el pasado y los procesos se entienden teniendo en cuenta que forman parte de un proceso histórico cuyos resultados pueden no ser óptimos. Los puntos centrales son los siguientes:
 - a) Los rendimientos crecientes a escala: en industrias caracterizadas por incrementar sus rendimientos, las primeras empresas que entran pueden imponer su tecnología y dominar el mercado. Los nuevos participantes comenzarán con una menor escala de producción, con menor experiencia y con costos más altos.
 - b) Externalidades en cadena: los participantes iniciales pueden difundir sus normas de producción, modelos, reglas e excluir a futuros competidores, ya sea en base a calidad o en soluciones técnicas.
 - c) Costos hundidos: las empresas existentes pueden estar atrapadas en sus deudas de tecnología de inversiones del pasado en equipo y maquinaria. Mientras estas explicaciones afectan principalmente a la tecnología e industria, otros factores

²⁴ En la teoría de la dirección de empresas se le llama “benchmarking”.

complementarios deben agregarse para explicar por que las instituciones y organizaciones se encierran en soluciones sub-óptimas.

- d) Contratos: las instituciones son mecanismos que reducen la incertidumbre, y los contratos tienden a hacer explícitos las expectativas y los requerimientos de desempeño. Sin embargo, los contratos tienden a “congelar” a las organizaciones. El costo de cambios radicales en los contratos existentes puede ser particularmente alto.
- e) Aprendizaje humano: las organizaciones invierten en códigos de comunicación, capacidades humanas y tecnológicas. Esos son costos hundidos de un tipo específico e intangible. Puesto que son irrecuperables, aquellas empresas y otras organizaciones que han invertido en una específica trayectoria tecnológica y organizacional pueden experimentar dificultades al cambiarla.
- f) Los sistemas económicos pueden presentar un equilibrio múltiple incluyendo un equilibrio múltiple organizacional. Los distintos tipos de instituciones (empresas, universidades, laboratorios públicos e incentivos de la política) pueden producir rendimientos similares. En este caso, aún cuando cada conjunto de instituciones cumpla bien en diferentes ambientes económicos, no todos pueden ser igualmente eficaces. También, en un momento dado en donde algunos tipos de organizaciones estuvieran en mejores condiciones, dichas condiciones son respecto a un ambiente particular, y lo cual no significa que necesariamente sea convenientes para todos. De esta manera, es posible que algunas organizaciones queden “atrapadas” en características específicas donde son eficientes o efectivas en un tiempo t_1 , pero que no son “óptimas” para siempre y que además pueden ser ineficientes e ineficaces en el tiempo t_2 (Hodgson, 1996).
- g) Otras causas de la ineficacia y la ineficiencia pueden relacionarse a los cambios tecnológicos y organizacionales, cuando hay incertidumbre sobre las ganancias que se pretenden obtener porque la empresa deja de utilizar determinadas tecnologías y la forma de organización, adoptando otras nuevas. También, se debe a la falta de información adecuado sobre las mejores prácticas, los agentes se limitan al conocimiento que tienen generando una *path-dependence* (senda de dependencia). Esta senda de dependencia puede ser reforzada por los efectos de retroalimentación (*feedback*), según Gunnar Myrdall (citado en Niosi, J. 2002:294), a menudo hay condiciones

lock in en los países en vías de desarrollo, basadas en los efectos del *feed-back*,; es decir, existen situaciones donde los círculos viciosos de pobreza, los sistemas educativos deficientes, la corrupción política, los bajos ahorros e inversión, se refuerzan uno al otro, alcanzando un alto nivel de ineficacia institucional difícil de corregir. Para Williamson (citado en Niosi, J. 2002:294), la maximización del desempeño de los agentes bajo una conducción apropiada, como el cambio de precios o patrones de la demanda, puede ser suficiente para romper el proceso de *path-dependence* y agrega que, hay trayectorias tecnológicas tantas como *path-dependencies* organizacionales, el último puede ser el más importante. Este análisis Niosi, J. (2002:294) lo traslada a los SNI, en donde considera que éstos pueden componerse por instituciones muy disímiles (equilibrio múltiple), creadas bajo circunstancias históricas diferentes. En un ambiente dinámico, la evolución de estas instituciones puede retrasarse un tiempo, puede congelarse por los contratos y las inversiones pasadas, y pueden permanecer mal adaptados a los nuevos requisitos de desempeño. Las instituciones no pueden hacer cambios porque quienes toman las decisiones no conocen las mejores prácticas externas, o incluso otras prácticas (racionalidad garantizada). Asimismo, algunas de las instituciones (los laboratorios gubernamentales, universidades, y agencias de hacedores de política) están con frecuencia “fuera del mercado”, las cuales disfrutaban de posiciones de monopolio y así se apartan del tipo de maximización de su desempeño.

2) Las fuentes de ineficacias institucionales. Niosi, J. (2002) considera que contrariamente a lo que defiende la economía neoclásica, las instituciones no son cajas negras neutras y óptimas, pero sí son organizaciones *x-eficaces*. La ineficacia se deriva principalmente del hecho que las instituciones están íntimamente ligadas con los ambientes del pasado. Las fuentes de ineficacias institucionales incluyen por lo menos tres tipos:

a) Inercia organizacional: las estructuras con bases imperfectas pueden impedir la habilidad de la organización para adaptarse a un ambiente cambiante o adoptar las mejores prácticas. Niosi señala que algunas corrientes de la economía evolutiva y tradicional del *management* han insistido sobre la importancia de la inercia organizacional para explicar la rotación de empresas en diferentes industrias refiriéndose a los trabajos de Hannan, M. y Freeman, C. (1984), y Carroll, G.R. y Hannan, M.T. (1995).

- b) Deficiencia en el diseño de contratos e información asimétrica: los empleados bajo contrato con horarios inadecuados, incentivos, o gratificaciones que no pueden proporcionarse a sus mejores esfuerzos en el trabajo. Niosi señala que la teoría del contrato es ahora una corriente importante en la economía y el *management*. En el trabajo de Arrow (1974) y de Williamson (1975), ambos citados en Niosi, J. 2002, se ha convertido en un capítulo calificado de la teoría de la empresa y las organizaciones. Niosi también apunta que, Crow y Bozeman (1998) han desarrollado medidas de burocratización de la I+D en los laboratorios como parte del SNI de los Estados Unidos, y cómo ha influido en la efectividad del contrato.
- c) Escasez de rutinas apropiadas de aprendizaje: citando a Cohen y Levinthal (1990), Niosi señala que las actividades I+D, y/o esquemas de reentrenamiento de personal, pueden estar ausentes de la industria, reduciendo sus capacidades de absorción. Con respecto los SNI en América Latina, Niosi (2002:295) argumenta que una característica común de los tres SNI en Brasil, México, y Argentina es la débil difusión de rutinas de I+D en la industria privada. El gasto industrial en I+D en estas naciones normalmente es menor de 0.1% de total del PIB (Dahlman y Frischtak, 1993, México, 1995; Katz y Bercovich, 1993). La comparación sistemática de costos dentro y entre los SNI (es decir los costos de producción en una industria dada, publicaciones científicas, o graduados universitarios) puede revelar las ineficacias ocultas dentro de los SNI o de sus instituciones.
- 3) Las fuentes institucionales de ineficacias. Comparando a la economía neoclásica, Niosi considera que ésta confunde la eficacia y la efectividad, al suponer que todas las instituciones tienen un desempeño similar (maximización de beneficios). Para los evolucionistas, las organizaciones formales, incluyendo a las empresas, tienen diferentes objetivos; por ejemplo, algunas empresas tienen el propósito de incrementar la maximización de sus ganancias en el corto plazo, mientras que otras tienden a aumentar su porción de mercado a expensas de los beneficios en el corto plazo. La misión principal de las universidades es producir graduados del primer ciclo, el alto nivel de publicaciones de patentes. La misión de la investigación de las universidades se concentra más en esta última área. El objetivo de algunos laboratorios gubernamentales es producir servicios técnicos, mientras otros tienden a crear innovación tecnológica y a transformar una

división o empresa subsidiaria en una entidad independiente (*spin-off*). Sólo organizaciones con misiones comparables pueden ser el objeto de un adecuado *benchmarking*. Las instituciones alcanzan sus objetivos en varios grados. Las fuentes de ineficacias incluyen:

- Falta de recursos internos apropiados dedicados al logro de la misión y
- Falta de un apropiado sistema de recursos destinados a lograr el objetivo.

La comparación de objetivos institucionales dentro y entre los SNI (es decir el número de patentes en una industria dada, o las publicaciones científicas por investigador, o universitarios graduados como un porcentaje de nueva matriculación) puede revelar las ineficiencias ocultas en los SNI o sus instituciones.

- a) Fuentes de las ineficacias del sistema. Niosi, J. (2002:296) afirma que las ineficacias del sistema pueden afectar en su totalidad al SNI, así como a las instituciones individuales. Tales ineficacias del sistema incluyen los cuatro factores siguientes:
- a) Reglas inadecuadas del sistema: éstas pueden incluir una legislación incompleta de propiedad intelectual, por ejemplo, en cuanto una patente o la protección de los derechos de autor, y leyes inadecuadas en la difusión corporativa.
- b) Escasez o un número limitado de instituciones importantes: esto puede ocurrir dentro del SNI. Algunos de ellos carecen de la investigación universitaria, laboratorios gubernamentales, o de observatorios tecnológicos.
- c) Débil coordinación entre las unidades: esto puede incluir la deficiente coordinación de la oferta y la demanda de graduados universitarios, y falta de incentivos públicos para que las empresas cooperen con la industria o con los laboratorios gubernamentales.
- d) Escasez de flujos de información: tales flujos son esenciales entre las unidades complementarias, por ejemplo, entre las empresas y observatorios tecnológicos o laboratorios públicos.

La eficacia y efectividad, señala Niosi, J. (2002:296), no tienen que ser estudiadas por los ejercicios de geometría Euclidiana sino (como en el caso de la biología y ciencia del *management*) a través del análisis empírico cuidadoso y la comparación de instituciones con misiones similares, o *benchmarking*. Niosi define al *benchmarking* como “la sistemática

observación de rutinas organizacionales y la comparación del desempeño con las unidades superiores de los niveles de eficiencia y efectividad de la utilización de los recursos (insumos y rendimientos)”. “*Benchmarking* es la búsqueda de las mejores prácticas de la industria que conducen a un desempeño superior”. (Bogan C. y English M. 1994:4)

El *benchmarking* corporativo, es decir, el desarrollo de indicadores para comparar el desempeño, comenzó a fines de los años 1970s y principio de 1980s en la Corporación Xerox, como un método para supervisar la conducta de los competidores y adoptar las mejores prácticas de las compañías líderes (principales).

Continuando con su análisis, Niosi (2002:297) señala que, el sector público, aislado de las presiones de la competencia, adopta el *benchmarking* una década después en algunos municipios estadounidenses. A mediados de los años ochenta y los primeros de los noventa se llevan a cabo medidas de eficacia, la efectividad, y productividad. Citando a Ammons (1996), Niosi señala que los *benchmarks* son indicadores u operaciones estadísticas que revelan las mejores prácticas. El análisis de las principales rutinas necesita no sólo de estos indicadores, sino también de las descripciones verbales y gráficas de estas rutinas. El *benchmarking* nació en la industria pero después fue adoptado para analizar y mejorar el desempeño público y el de las entidades *cuasi* públicas, a través del desarrollo de nuevos indicadores de eficacia, efectividad y productividad, quedándose para ser utilizado en el análisis de la eficacia y la efectividad de los SNI.

Las estadísticas agregadas que con frecuencia son utilizadas para comparar los SNI pueden revelar algunos tipos de eficacia o efectividad; no obstante pueden, ocultar las principales ineficacias de grupos específicos de instituciones (por ejemplo, universidades o los laboratorios gubernamentales) o incluso de importantes instituciones individuales. Puede ser necesario desagregar las estadísticas, y construir unas nuevas, entender algunas observadas hasta ahora no explica todavía la *x-ineficacia* del sistema como un todo.

Se han efectuado comparaciones del desempeño, en los niveles institucionales y de sistema, y las conclusiones han sido giradas, distintas posibilidades pueden ser abiertas para los administradores de los sectores público y privado, incluyendo:

- Rediseño de las instituciones existentes, incluyendo cambios en los contratos, incentivos, reglas, o rutinas para romper la inercia,
- Creación de nuevas instituciones, como investigación en las universidades, laboratorios gubernamentales u observatorios tecnológicos (o cerrando los inactivos) cuando sea necesario, y
- Reorganización de los flujos para crear nuevos flujos de conocimiento, personal, financiero o la coordinación de otros tipos de flujos cuando se requiera.

1.10. Sistema Regional de Innovación

No obstante la importancia de las regiones en la generación de innovación tecnológica, en los últimos años es que se han empezado a analizar las diferentes regiones como Sistemas Regionales de Innovación (SRI).

Los procesos de innovación tecnológica pueden darse a tres niveles diferentes: (a) nacional, (b) regional y (c) de la empresa.

Los estudios de *clusters* regionales han demostrado empíricamente que el desarrollo industrial es más un fenómeno regional que nacional y que empresas competitivas tienden más a concentrarse en regiones específicas. Un *cluster* regional está compuesto por diversas organizaciones e instituciones, incluyendo empresas, organizaciones gubernamentales, institutos de educación superior y centros de investigación.

En muchas ocasiones, un SRI puede ser más completo que un SNI ya que, además de contar con las organizaciones e instituciones desarrolladas a nivel nacional, el SRI desarrolla sus propias organizaciones e instituciones para satisfacer las necesidades específicas de cada región.

La presencia de una gran variedad de empresas, organizaciones de educación superior e instituciones gubernamentales de soporte parecen ser las condiciones necesarias para contar con una región de alta innovación tecnológica. Sin embargo, esta aglomeración de organizaciones e instituciones no garantiza la innovación dentro de una región. Muchos países y regiones han intentado reproducir lo hecho en otros *clusters* (e.g. Silicon Valley) y aunque esta experiencia ha

permitido el desarrollo de una industria en particular, ésta no se ha destacado por su innovación en tecnología.

Para que una región funcione como un *cluster* bien articulado, en vez de operar como empresas aisladas, los diferentes agentes necesitan interactuar constantemente entre sí, no sólo mediante transacciones comerciales, sino mediante reuniones informales a través de las cuales se obtiene diversa información, la cual puede ser información técnica, de mercado y otros tipos.

La interacción entre agentes permitirá crear patrones de comportamiento similar y diferenciado, en términos del tipo de tecnología usada. Es importante señalar el hecho de que una empresa dentro de un *cluster* regional puede tener contacto e interacción con empresas fuera del *cluster*. A mayor grado de internacionalización de una empresa, el acceso a mejor tecnología será mayor.

Las empresas multinacionales tienen acceso a casi cualquier producto y tecnología disponible en el mercado, mientras que una Pequeña y Mediana Empresa (PYME) solo tiene interacción con empresas dentro de su misma región y por lo tanto acceso a menor tecnología. Los agentes de un *cluster* regional (ya sean empresas, instituciones gubernamentales o centros de investigación) tienen diferentes grados de acceso e interacción con agentes fuera del *cluster*, consecuentemente tienen diferentes posibilidades de absorción tecnológica. Las empresas que buscan exportar su producto a otros países requieren mejorar la tecnología de la cual disponen para poder competir en el mercado internacional. Es de esperar que empresas con capacidades tecnológicas similares se agrupen en *clusters* ya que por sus grandes similitudes les resulta conveniente trabajar conjuntamente.

Fortalecimiento de los sistemas de innovación y el desarrollo tecnológico

Las empresas deberían responder a señales provenientes de su entorno para adquirir y adaptar tecnología y mejorarla a lo largo del tiempo, con el fin de crear capacidades tecnológicas y ventajas competitivas. Influyen así, sobre la misma empresa, la estructura de incentivos, los mercados de recursos (habilidades, capital, tecnología, proveedores) y las instituciones (de enseñanza y capacitación, tecnológicas, financieras, etc.). Por lo anterior, la innovación es un proceso interactivo que vincula tanto a los agentes que se desempeñan conforme a los incentivos provenientes del mercado (empresas), como a las empresas que sus estrategias y reglas no

responden a los mecanismos del mercado. A este conjunto de agentes, instituciones y normas en el que se apoyan los procesos de incorporación de tecnologías se le denomina “Sistema Nacional de Innovación” (SIN), el cual determina el ritmo de generación, adaptación, adquisición y difusión de conocimientos tecnológicos en todas las actividades productivas.

Los principales componentes de un SNI se presentan y están articulados en tres niveles diferentes de manera que cada uno de ellos ofrece un marco distinto para elaborar y promover políticas económicas. Los niveles son:

- 1) Empresas y el sistema productivo. Caja de conocimientos incorporados en rutinas operacionales que, con el paso del tiempo, sufren modificaciones de conducta y estrategias de mayor nivel como actividades de investigación, decisiones de integración vertical y diversificación horizontal, etc.
- 2) Empresas y sus redes con otras empresas así como con instituciones sin fines de lucro, organismos del sector público, universidades, etc. Redes y políticas para mejorar el desarrollo de las actividades científico-tecnológicas y así fortalecer o restringir las oportunidades para mejorar las capacidades tecnológicas de las propias empresas.
- 3) Conductas microeconómicas que quedan enmarcadas en redes. Producen el conjunto de efectos macroeconómicos, relaciones sociales, reglas y restricciones políticas en el país.

La generación y adopción de tecnología (y por lo tanto el logro y mejoramiento de la competitividad internacional) constituyen procesos de carácter sistémico debido a que el SNI depende de un conjunto de sinergias y externalidades de diversa índole que van más allá de las reacciones maximizadoras de las empresas frente a los cambios de incentivos.

Los países en desarrollo presentan deficiencias que van desde las fallas de información hasta los mercados e instituciones improductivas o inexistentes que rodean a la empresa. A diferencia de éstos, los países desarrollados han optado por una actitud pro-activa la cual facilita la patentabilidad privada de la investigación universitaria que llevan a cabo con recursos públicos o bien, subsidiando programas de investigación básica y aplicada en diferentes campos como son las tecnologías de la información, ingeniería genética, etc.

Los procesos de estabilización macroeconómica que han realizados los países de América Latina no han sido condición suficiente para la creación de capacidades tecnológicas a nivel nacional (creación de redes nacionales, e.g. un sistema de vinculaciones con instituciones creadoras y difusoras de conocimiento que operen fuera del mercado, una cultura empresarial e instituciones que faciliten que las empresas interactúen entre sí a través de redes), incrementándose la brecha de productividad con respecto de los países más avanzados. En la región se observa un rezago en la capacidad de adoptar y difundir nuevos paradigmas como la tecnología de la información, la Biotecnología y la ingeniería genética.

1.11. Indicadores de desempeño de los sistemas de innovación

Existen datos y fundamentos teóricos en el análisis de la eficacia institucional, así como los acervos de conocimiento de las instituciones, y de los flujos entre ellas. Niosi, J., Saviotti, P., Bellon, B. y Crow, M. (1993) propusieron estudiar a las instituciones en base a promedios de las relaciones (proporciones) entre los insumos básicos (gastos, personal) y los resultados (patentes, publicaciones, informes internos, innovaciones, nuevos productos), así como analizando su interacción a través de variables como el tamaño, la propiedad y control, y la distribución regional. Los flujos monetarios se pueden evaluar a través del estudio del financiamiento de actividades innovadoras (públicas y privadas), mientras que los flujos tecnológicos se pueden obtener evaluando el análisis de la notificación (citación, mención) de patentes y publicaciones, y realizando (cuando sea posible) alianzas tecnológicas y uniones de I+D. Los flujos de personal de las empresas con universidades y laboratorios gubernamentales, así como entre las mismas empresas pueden medirse también y revelar los flujos de conocimiento tácito.

El análisis de patentes y publicaciones da una idea de las amplias diferencias que existen en la eficacia de los SNI lo cual requiere la siguiente explicación. Niosi, J. y Bellon, B. (1994) sostuvieron que esa inversión extranjera directa en I+D, las estadísticas de comercio en alta tecnología, los pagos internacionales para los servicios tecnológicos y otras figuras disponibles ayudan a evaluar la franqueza de los SNI. Recientemente, la OCDE aconsejó estudiar los flujos de conocimiento a través de la difusión y adopción de tecnología industrial por empresas privadas.

La difusión de maquinaria industrial (específicamente el equipamiento industrial avanzado) también es un proceso de difusión de conocimiento. (OCDE. 1997:299) El cuadro 1 resume las referencias (*benchmarks*) que se han usado en la literatura para resaltar diferentes dimensiones de los SNI, así como unas referencias sugeridas para la eficacia y efectividad.

Cuadro 1. Ejemplos de desempeño de indicadores de los sistemas nacionales de innovación.

| | NIVEL | INDICADORES (BENCHMARKS) |
|---------------------------|--|---|
| Indicadores de eficacia | Universidad Universidad Industria Política Gubernamental | Universitarios graduados como porcentaje de la nueva matrícula Publicaciones universitarias por investigador universitario Patentes de la industria por investigación industrial Número de empresas con actividades de I+D Número de investigaciones universitarias |
| Indicadores de eficiencia | Universidad Universidad Industria Laboratorios Gubernamentales | Costo de graduados universitarios Costo de publicaciones universitarias Costo de patentes industriales Costo de las patentes de los laboratorios gubernamentales |
| Calidad de Producto | Todas las instituciones Industria Industria | Citación de patentes Citación de publicaciones Número de Innovaciones Exportaciones de bienes y servicios de tecnología intensiva |
| Flujos/sinergias | | Flujos de personal entre organizaciones Flujos de conocimiento Transferencia de Tecnología Alianzas tecnológicas Difusión de la maquinaria Flujos financieros Capital de riesgo para nuevas empresas de alta tecnología Subsidios gubernamentales para I+D Regulación de Flujos Legislación de propiedad intelectual Legislación en normas Reglas y leyes antimonopolio y cooperativa Flujos Humanos Oferta y Demanda de universitarios graduados por disciplina e institución |
| Relaciones e índices | En nivel de SNI | Avance tecnológico Relaciones macroeconómicas insumo/producto Balances comerciales de bienes y servicios de alta tecnología. |

Fuente: Niosi, J. 2002. National systems of innovations are “x-efficient” (and x-effective): Why some are slow learners. *Research Policy*, 31(2):299. (Traducción al español por Cruz-Aguilar, B.)

Cuando se diferencia el *benchmarking* (nivel) de los SNI es importante tener presente que las diferentes instituciones, como también los diferentes SNI, tienen distintas misiones (objetivos). La comparación de las instituciones de investigación universitaria con las instituciones educativas de nivel superior puede conducir a errores importantes. Similarmente, los SNI con objetivos determinados, como en el Reino Unido o los Estados Unidos, pueden tener amplias diferencias con las instituciones que están orientadas (dirigidas) a la difusión (como Dinamarca o Noruega). También los SNI que están en la frontera, por lo menos en las áreas específicas de CyT, deben desplegar características diferentes comparadas con las naciones receptoras (*catching-up*) como el caso de Corea o China. Con estas condiciones, los *benchmarking* sistemáticos pueden llevar a mayores descubrimientos y recomendaciones de política para mejorar y desarrollarse.

1.12. Política industrial y sistemas de innovación

Los SNI están integrados por las instituciones²⁵ en donde las medidas de política económica gubernamental se enfocan a dar apoyo al desarrollo de distintas ramas industriales de un país, región, o empresa, es decir, la política industrial necesaria para fortalecer al sector privado representado por las empresas. "...a través de las interrelaciones de los mercados internacionales, las políticas industriales juegan un papel decisivo en la determinación de las ventajas comparativas de una nación. Las políticas industriales que afectan a la eficiencia interna, a la productividad, y al cambio tecnológico influirán, como señala Krugman, P. (1987), en última instancia, en la competitividad internacional de dichas industrias" (Audretsch, D. B. 1992:66). La política industrial, ha sido ampliamente estudiada por diversos autores, y definirla no es una tarea sencilla; sin embargo, en este trabajo se exponen las siguientes:

- a) "La política industrial supone la iniciación y coordinación de actividades gubernamentales, con el objeto de incrementar la productividad y competitividad de la economía en su conjunto, así como de las industrias específicas que la componen. Principalmente, la política industrial positiva supone la orientación hacia un fin, un pensamiento estratégico

²⁵ Las instituciones son elementos interrelacionados que interactúan y, por lo tanto, su *x-eficiencia* o *x-ineficiencia* afecta al resto de ellas.

en la política económica pública. En términos más abstractos, la política industrial es la respuesta lógica al concepto cambiante de ventaja comparativa” según Johnson (1984), autor citado por Audretsch, D. B. (1992:65) La política llamada “positiva” se refiere a la fijación de objetivos de desarrollo sectorial, también se le denomina “activa”. (Myro, R. 1994:171)

- b) Zysman, J., y Tyson, L. (1983) hacen una distinción entre las políticas que pueden seleccionar algunos sectores (selectivas) y otras que se puedan aplicar a toda la economía (horizontales). Las medidas selectivas también son conocidas como “verticales”, a través de las cuales se presta una atención especial a los sectores prioritarios o rezagados. A través de las medidas de corte horizontal, se espera beneficiar a todos los sectores y ramas industriales, con el fin de mejorar, en ambos casos, su desempeño. Esto significa que, el Estado puede definir o seleccionar los sectores que considere estratégicos, o bien, apoyar a todos los sectores, participación que ha sido muy cuestionada durante varias décadas generando un serio debate.
- c) “La política industrial entendida como uso de recursos públicos para mejorar las condiciones de actuación de las industrias nacionales; siendo la política industrial más activa cuanto más potente es su propia industria, aunque los instrumentos utilizados sean distintos en diferentes economías”. (Segura, 1992:50)
- d) “Las políticas industriales se dirigen hacia la resolución de problemas específicos de determinadas actividades industriales (generalmente articuladas en ramas al nivel superficial), incluso cuando hacen referencia a objetivos territoriales, pero siempre dentro del marco de la especialización de cada formación social en el contexto internacional”. (Braña, J., Buesa, M. y Molero, J. 1984:153)
- e) “La política industrial presenta tres rasgos peculiares: (1) afecta de forma irreversible a las posiciones patrimoniales de grupos importantes de presión económica, (2) se encuentra sometida a las demandas corporativas de los agentes: las empresas solicitan ayudas incondicionales y duraderas, los sindicatos exigen que se garantice el empleo en actividades que carecen de viabilidad económica y (3) su puesta en práctica es muy compleja, desde el punto de vista técnico, tanto por el argumento ya discutido de la información, como por la heterogeneidad de sectores a los que afecta y de los instrumentos por medio de los cuales se aplica”. (Segura, 1992:49)

Cabe señalar que, a partir de la década de los años ochenta, con la introducción del modelo neoliberal, los Estados dejaron de fomentar el desarrollo industrial y las políticas macroeconómicas han demostrado ser ineficientes, por lo que es necesaria la intervención del Estado por medio de la política industrial. Los neoclásicos suponen que, “la mejor política industrial es permitir actuar al mercado ya que los incentivos descentralizados del mismo asignarán los recursos de forma eficiente, de acuerdo con su tasa de beneficio esperado y, por tanto, la intervención del mercado no es ni necesaria ni deseable”. (Krugman, 1992b:21) Dentro de esta corriente, hay teóricos que mantienen una posición menos ortodoxa y que admiten la necesidad de intervenciones en la industria, en particular las intervenciones neutrales que favorecen el funcionamiento del mercado con actividades como la educación o la investigación, dejando fuera las de tipo selectivo que consisten en promover determinadas industrias o tecnologías. (Lall, S. 1996:302)

Actualmente se observa que “cada vez más la política industrial está remodelando el mapa de las ventajas comparativas y las formas de competencia a nivel internacional, ha evidenciado la insuficiencia de las políticas macroeconómicas y, por lo tanto, planteado la necesidad creciente de intervenciones públicas de carácter macroeconómico”. (Martín, C. 1992:12)

Aquellos que están de acuerdo con la intervención del Estado, consideran que las fallas del mercado son más frecuentes de lo que estiman los neoclásicos, y apoyan la utilización de medidas sectoriales y selectivas porque éstas afectan en mayor medida a ciertos sectores e incluso a determinadas empresas. Asimismo, Admiten que, en algunos casos, el Estado puede suplir al mercado y orientar los recursos hacia sectores estratégicos. (Clavijo, F. y Valdivieso, S. 1994:29)

Otro teórico convencido de las limitaciones de la postura neoclásica es Paul Krugman (1992b:21) “pese a los defectos que la política industrial tiene en la práctica, existen motivos teóricos que justifican su aplicación y algunos modelos económicos proporcionan un conjunto razonable de criterios para determinar las industrias que se pueden promocionar”.

La economía evolutiva, o teoría evolucionista, ha sido criticada algunas veces por ser un tanto descriptiva (contrariamente a la economía neoclásica) por no ser una política orientada suficiente, y por faltarle aplicaciones específicas. (Krugman, P. 1995) Sin embargo, la teoría evolucionista y la

gestión estratégica tienen los conceptos y las herramientas metodológicas necesarios para incluir las dimensiones de política para la innovación.

El enfoque evolucionista, y con esto la idea de trayectorias tecnológicas, está basado en conceptos económicos, técnicos y científicos. Por esta razón, la evolución de los cambios tecnológicos está influenciada por variables distintivas procedentes de diferentes ciencias y que, desde luego, hay predominio por algunas de ellas, aunque éstas dependen del sector industrial del lugar, de la cultura y tradiciones, y el tiempo.

En materia política se requiere evaluar el impacto de las innovaciones en la estructura productiva, y discriminar con base en objetivos sociales, de crecimiento económico y de largo plazo. Un aspecto central radica en no limitarse a ver las innovaciones como bienes públicos donde la innovación tenga que aprovecharse por muchos usuarios en aras de crecimiento y equidad; y más que condenar el sentido de corto plazo de la innovación dado los altos costos de inversión que implica versus alternativas costo-beneficio, debe fundamentalmente *valuarse* aquellas tecnologías novedosas que tengan un efecto profundo en las industrias en conjunto y apoyar a aquellas que sean cruciales para la sustentabilidad industrial y económica sin menoscabo en la producción de otro tipo de innovaciones.

En consecuencia, antes que recomendar una política de fomento y sostenibilidad de cierta tecnología o bien, de cierta línea de I+D, se requiere conocer los impactos de la innovación en la estructura tecnoeconómica nacional y con predominancia a largo plazo.

Respecto al mercado y su influencia en las innovaciones, no sólo es pasajero y de corto plazo, también puede generar profundas asimetrías tecnológicas, y en lugar de reducir podría incrementar disparidades en el ingreso y en el crecimiento. El mercado requiere de una visión de largo plazo y de un conjunto de estrategias para consolidar competencias de futuro.

El concepto de sistema de innovación es la clave para explicar la conducta y el desempeño del conjunto de instituciones en donde se basan el crecimiento económico a largo plazo y el desarrollo sostenible. No obstante, para ayudar no sólo orienta el análisis, sino también la política; la acción directiva en las organizaciones públicas y privadas tiene que incorporar nuevos elementos conceptuales y estadísticos. El reconocimiento definitivo del *x-eficacia* de las

instituciones de los SNI y la adopción del *benchmarking* como una herramienta, puede ayudar a ir más lejos de la descripción hacia una mejor política y orientación de la dirección del enfoque evolutivo de los sistemas de innovación. En la base de ambas ineficacia e ineficiencia puede encontrarse probablemente la carga de las decisiones del pasado, la senda de dependencia (*path dependent*) es resultado de las trayectorias organizacionales y tecnológicas que provienen del aprendizaje localizado y las condiciones iniciales. (Foray, D. 1997b)

El *benchmarking* se utiliza en las organizaciones privadas, y también se ha empezado a usar en las públicas. Lo anterior se debe a la construcción de indicadores de eficacia y efectividad para poder encontrar las mejores rutinas organizacionales y facilitar el aprendizaje organizacional. El reconocimiento de las diferencias nacionales o regionales (ambos en las instituciones y el sistema de niveles) no debe excluir el *benchmarking* sistemático de ambas organizaciones y los SNI. El *benchmarking* no se realiza para revelar las actuaciones óptimas, sino para exponer las mejores prácticas en organizaciones *cuasi* públicas y privadas, agregando una política pública y una dimensión de *management* al análisis evolutivo de los SNI.

Capítulo 2

Contexto Situacional de la Medicina Genómica en México

2.1. Problemática relevante

En México existe la necesidad urgente de atender de manera inmediata y con recursos suficientes aspectos prioritarios de salud y bienestar social como son el acceso a la atención materna e infantil, el abasto de agua potable y la desnutrición.

En este contexto, la inversión en medicina Genómica parece poco razonable. Sin embargo, actualmente, las enfermedades crónicas, infecciosas y degenerativas son las principales causas de mortalidad en México. Estos problemas de salud representan una seria carga financiera para el Estado. Por citar un ejemplo los costos directos solamente de la diabetes representan el 4-6% del presupuesto total de la inversión en salud. Es así que resulta fundamental el desarrollo de nuevas estrategias para la prevención y el diagnóstico temprano, así como tratamientos más efectivos que permitan hacer frente a los costos de atención a la salud en México, a mediano y largo plazo. Aún cuando las limitaciones económicas provocan frecuentemente que países en desarrollo pospongan la implementación de nuevas tecnologías, aprovechar la ventana de oportunidad actual para desarrollar la medicina Genómica contribuirá al desarrollo económico y bienestar de México, pues su aplicación disminuirá el costo financiero y social de los problemas nacionales de salud en México. (Jiménez, 2003:295)

El impacto social de las relaciones entre el poder y el saber, entre el Estado y la ciencia, no se debe de plantear sin considerar y precisar el grado de desarrollo e influencia social alcanzado por la ciencia en una nación y sin precisar la naturaleza de los poderes del Estado. El avance político-

administrativo en la introducción de la Genómica en México (impulsado en gran parte por el avance de la Genómica a nivel mundial), se ha convertido en una cuestión concreta acerca de la relación entre el conocimiento natural y social que la sociedad mexicana, en su comunidad intelectual y las decisiones que los gobernantes y legisladores democráticos, han afrontando en la última década.

En el contexto global y nacional hay una historia de relaciones entre intelectuales y políticas, y cuyas metas alcanzadas en retrospectiva son las siguientes:

- 1) Contexto Nacional. El Congreso Mexicano aprueba en junio de 2002 la Ley de CyT, la cual coordina y estimula el desarrollo de la ciencia y la tecnología como parte de la política de estado aplicada a problemas en México (Jiménez, 2003).

En febrero de 2001 el Consorcio Internacional de Secuenciación y la empresa privada Celera Genomics dan a conocer el mapa provisional del genoma humano en las revistas *Nature* y *Science*. Esta empresa significó la punta de lanza para que ahora se unan a participar en los desarrollos las empresas farmacéuticas más importantes de los países industrializados (Jiménez, 2003).

- 2) Contexto Mundial. Sin duda, la secuenciación y el mapeo del genoma humano, así como el genoma de otras especies animales y vegetales, constituye una de las hazañas científicas y tecnológicas más significativas de los últimos años. Durante el periodo de 1997-2000 se descubre el genoma de diversos seres vivo, específicamente: (1) en 1997 el genoma del primer organismo eucarionte: genoma de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*; (2) en 1999 el genoma del gusano *Caenorhabditis elegans*; (3) a mediados de 2000 el genoma de la mosca del vinagre *Drosophila melanogaster*; (4) a finales de 2000 el genoma de la primera planta: genoma de la planta *Arabidopsis thaliana*, de la familia de la mostaza.
 - a) El 1 de octubre de 1990 inicia la primera de dos etapas del Proyecto Genoma Humano. La etapa comprendió las fases de (i) secuenciación completa de los 3,200 millones de nucleótidos²⁶ que componen el genoma humano; y (ii) establecimiento del

²⁶ Los nucleótidos son los “bloques de construcción” de los ácidos nucleicos, como es la molécula del ADN. Un nucleótido consta de una de las cuatro bases: adenina, guanina, citosina o timina unido a un grupo de azúcar-fosfato.

mapa que ubica a los cerca de 40,000 genes²⁷ que se albergan en el genoma humano. El 14 de abril de 2003 termina la primera etapa del Proyecto. La segunda etapa que actualmente se encuentra en desarrollo comprende las fases de (i) identificación de variaciones genómicas entre las distintas poblaciones, y (ii) aplicaciones de prácticas derivadas de este conocimiento (Enríquez, 2004).

- b) La secuenciación y mapeo del genoma humano inició en 1985 con la planeación del Proyecto del Genoma humano. Los estudios iniciales fueron financiados por el Departamento de Energía de los Estados Unidos. Al poco tiempo se unieron a esta acción otros gobiernos del mundo para conformar el Consorcio Internacional de Secuenciación²⁸, en el cual participan los Estados Unidos, el Reino Unido, Alemania, Japón, y Francia (Jiménez, 2003).
- c) En 1953 se describe la estructura de la doble hélice del ADN, que es la molécula que forma el genoma de los seres vivos.
- d) En 1850 Gregorio Mendel comienza a experimentar la fertilización de plantas de chícharo. Este monje austriaco pudo observar que muchos de los rasgos presentes en los padres se transmiten a los hijos. También catalogó cuáles rasgos eran dominantes y cuáles recesivos. Esta experimentación dio origen a una nueva disciplina que ahora llamamos genética (Enríquez, 2004).

Las prospectivas y avance futuro de la Genómica están implícitamente ligados a sus beneficios potenciales, siendo éstos los siguientes:

- 1) Una comparación entre genes de personas normales y de enfermos permitirá entender el proceso de la enfermedad y diseñar estrategias para su prevención y tratamiento
- 2) Los beneficios del trabajo sobre genética son: medicinas de diseño especiales para determinada raza, grupo étnico y hasta nación, son una de las grandes ofertas de futuro de la Medicina Genómica.
- 3) En la carrera por la ciencia de la vida, la Ingeniería Genómica, en México tiene un atraso de unos 20 años, apenas existen 300 genetistas de los cuales sólo un pequeño porcentaje

²⁷ Un gen es una porción de ADN que codifica para una proteína en particular, o en ciertos casos una molécula de ácido ribonucleico (el ARN es molécula parecida al ADN, la cual participa en el proceso de codificación de la información genética que porta el ADN). Un gen contiene 27,894 pares de nucleótidos.

²⁸ Consorcio de carácter público, integrado por 20 grupos de diferentes países.

realiza investigaciones sobre el genoma mexicano. Si no contamos con los medios para avanzar en el conocimiento genómico, la dependencia del país aumentará y estaremos supeditados a las técnicas, medicinas y terapias que se hagan en el extranjero.

- 4) Una de las grandes promesas del genoma es que podría en un futuro cercano incrementar la calidad de vida del ser humano al encontrar medicinas para enfermedades hasta ahora incurables. El principio es identificar y anular genes mutantes y defectuosos, causantes del mal. Una comparación entre genes de personas normales y de enfermos permitirá entender el proceso de la enfermedad y diseñar estrategias para su prevención y tratamiento, entre los males destacan el cáncer pancreático, de colón y el Alzheimer. También existen avances en la identificación de genes asociados con el asma, diabetes, artritis reumatoide y algunas formas de epilepsia.
- 5) La secuencia completa del genoma también permite ubicar a los genes reguladores del crecimiento, llamadas “secuencias repetidas”, ligados a cuando menos cinco enfermedades neurológicas. Otro caso reciente es el cáncer de próstata que mediante la secuencia genómica se identificaron los genes responsables.

Por otro lado, algunos de los factores identificados en México que integran la problemática son:

- Incipiente unidad en torno a procesos de planeación, programación y evaluación de proyectos de I+DT de la Genómica (se han conformado grupos de poder).
- Escaso presupuesto gubernamental y falta de visión de corto y largo plazo que oriente proyectos estratégicos.
- No existe movilidad interinstitucional entre grupos de investigación.
- Escasa vinculación entre el sector científico y el sector industrial nacional.
- Mecanismos obsoletos en materia de gestión y protección de la propiedad industrial e intelectual.
- Escasez de capital humano
- Fuga de cerebros (capital intelectual).
- Falta de financiamiento del sector privado a proyectos de Genómica.

La controversia suscitada a nivel mundial por la clonación de seres humanos ha confrontado a la iglesia Católica mexicana, que como institución se opone terminantemente a la creación del Instituto Nacional de Medicina Genómica (INMEGEN).

En este caso de estudio, podemos identificar y dimensionar a la Iglesia Católica como el actor relevante en oposición. La Arquidiócesis primada de México y la Asociación de Médicos Católicos se lanzaron en contra de la creación del Instituto Nacional de Medicina Genómica, por considerar que su verdadero interés es desarrollar la clonación de embriones humanos, lo cual resulta "éticamente ilícito" para la Iglesia católica.

Sin embargo, las autoridades del sector salud han descartado reiteradamente que el objetivo sea la clonación y el uso de embriones humanos, además de que ningún sector de la sociedad, incluyendo a la Iglesia católica, se había expresado en contra de la creación del instituto. Incluso, se ha insistido en que el objetivo del instituto será, entre muchos otros, la obtención de ciertos tejidos humanos para poder atender a personas que enfrentan problemas del corazón, cerebrovasculares, diabetes y cáncer. Actualmente estas enfermedades ocasionan el mayor número de muertes en México, con 175 mil decesos anuales, pero en los próximos 25 años serán responsables de el 70 % de los fallecimientos. Todas ellas tienen dentro de la Medicina Genómica grandes posibilidades de atenderse con éxito, e incluso de prevenirse.

Sin embargo, la postura inamovible de la Iglesia católica y de su asociación de médicos manifiestan que el resultado inmediato de estos proyectos científicos no son los tejidos y órganos que se podrían obtener para tratar ciertas enfermedades, sino la producción de embriones humanos que serían tratados como materia de investigación y no como seres humanos en sus primeras etapas de desarrollo. Estos proyectos científicos, muchas veces disfrazados como políticas públicas de salud, son incompatibles con el trato digno que merece todo ser humano, sobre todo cuando se encuentra en las fases primeras de la vida humana, señala la declaración de la Arquidiócesis primada de México.

Se calificó al proyecto de clonación como un "triple absurdo". Primero, porque México carece de los recursos económicos que se necesitan para este tipo de investigaciones. Segundo, porque los países desarrollados han prohibido estas prácticas, y ante esta circunstancia hay quienes buscan en

otras naciones, sobre todo las que carecen de legislaciones en esta materia, para avanzar en este tipo de investigaciones. De permitirlo, se estaría "vendiendo al mejor postor" la vida de muchos mexicanos en sus primeras etapas de desarrollo. Y tercero, porque se atentaría contra los derechos humanos, pues se consideraría a la vida humana como un "producto", que violentamente estaría cautivo en laboratorios, "convertidos en campos de concentración y exterminio".

El tema de la clonación representa uno de los desacuerdos sobre temas conexos a la Medicina Genómica. Sin embargo, debe señalarse que la Medicina Genómica en México al parecer no guarda relación con la clonación humana, ni con la manipulación de embriones, y tampoco con la reproducción asistida.

Por lo tanto, la manipulación de células de embriones humanos no ha estado, ni estará en la agenda científica del INMEGEN (Frenk, J. 2004).

2.2. Infraestructura física y humana en el ámbito de nacional de la Genómica

Instituciones para la innovación

Ante los graves problemas de salud y pobreza extrema que padece la mayor parte de su sociedad, México no puede darse el lujo de no desarrollar proyectos de Medicina Genómica. Por ejemplo, en Chiapas se padecen enfermedades infecciosas, cardiopatías, diabetes, particularmente entre los pobres, y la mejor oportunidad es desarrollar medicamentos para prevenirlas. Además, no es posible extrapolar cuestiones genéticas de una población a otra. Aunque todos venimos de poblaciones ancestrales africanas, a lo largo del tiempo se han dado numerosas variaciones genéticas únicas. De ahí la importancia de que México apoye fuertemente esta área, debido al gran número de poblaciones singulares que viven en él, como la indígena y mestiza.

En los últimos seis años se han dado algunos desarrollos institucionales en ciencias genómicas en México. Tal es el caso de la UNAM, el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN), los Institutos Nacionales de Salud (INSalud),

el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), la Universidad Autónoma de Nuevo León, la Universidad Autónoma de Guadalajara, la Sociedad Mexicana de Ciencias Genómicas, la Comisión Nacional para el Genoma Humano y la Sociedad Mexicana de Medicina Genómica. Las sinergias que ha iniciado el Consorcio Promotor con algunos de estos esfuerzos serán elementos importantes en la construcción de la plataforma en Medicina Genómica (Jiménez, 2004).

El reto actual es innovar, en vez de copiar otras ideas. Es mejor ir abriendo camino que ir siguiéndolo. Entre las instituciones que apoyan este reto se encuentran:

- Centro de Biotecnología Genómica
- Comisión de CyT de la Cámara de Diputados
- Consejo Nacional de CyT
- Fundación Mexicana para la Salud
- Instituto de Biotecnología
- Instituto Nacional de Medicina Genómica
- El Proyecto Universitario del Genoma Humano
- Sociedad Mexicana de Medicina Genómica

A continuación se presenta los objetivos, tareas y/o la misión de las instituciones mencionadas.

- a) Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional. El IPN crea el Centro de Biotecnología Genómica (CBG) con el objetivo de realizar investigación y docencia en el aislamiento, estudio y manipulación de genomas para generar información y procesos que permitan lograr la mejora de las especies fundamentales vegetales y animales tomando en consideración el marco normativo aplicable. Para el cumplimiento de su objetivo, el Centro podrá realizar las siguientes actividades: (1) llevar a cabo investigación científica y tecnológica de competitividad internacional; (2) contribuir al cumplimiento de los objetivos y metas del Sistema Institucional de Investigación Científica y tecnológica, observando las disposiciones de la normatividad interna; (3) desarrollar, participar, con un enfoque multidisciplinario, en proyectos de investigación científica y tecnológica que se genera tanto en el IPN como en otras instituciones; (4) desarrollar, producir, aplicar y transferir tecnologías de punta que puedan apoyar las

necesidades de los sectores académicos y productivos, particularmente en los ámbitos agropecuarios, ambiental, alimentario y de salud; (5) integrar un comité de ética científica, encargado de asegurar el desarrollo de normas y parámetros de acción y de dar seguimiento a su observancia; (6) impartir diplomados y educación de posgrado; (7) organizar y participar en seminarios, congresos y simposios nacionales e internacionales con miras a profundizar y divulgar los avances del conocimiento y fomentar la realización de actividades afines; (8) elaborar estudios y promover acciones de vinculación con el sector productivo y de servicios para identificar sus necesidades tecnológicas y desarrollar conjuntamente programas para atender sus requerimientos; (9) editar y publicar los trabajos de investigación que considere pertinentes, en los términos de la normatividad institucional; (10) celebrar convenios con instituciones públicas y privadas, de conformidad con la normalidad aplicable, asegurando la participación que corresponda a las autoridades centrales del IPN; y (11) las demás actividades que se requieren para el desarrollo de su objeto (CBG-IPN, 2005).

- b) Comisión de CyT de la Cámara de Diputados. Las Comisiones son órganos constituidos por el Pleno, que a través de la elaboración de dictámenes, informes, opiniones o resoluciones, contribuyen a que la Cámara cumpla sus atribuciones constitucionales y legales. Las Comisiones tienen a su cargo tareas de dictamen legislativo, de información y de control de evaluación, conforme a lo dispuesto por el artículo 93 constitucional, y su competencia se corresponde en lo general con las otorgadas a las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal (Art. 39 de la Ley Orgánica del Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos – LOCGEUM-). De manera particular, la misión de la Comisión de CyT (CCyT) es proporcionar a México un marco legislativo adecuado que permita el desarrollo científico y tecnológico, vinculando y articulando a éste con todos los sectores que permitan elevar los niveles de bienestar de la sociedad, y con la visión de hacer de la C-T los ejes del desarrollo nacional. Los avances legislativos y presupuestales de la CCyT en materia de Genómica corresponde al Dictamen Genoma Humano. En sesión de Comisiones Unidas de CyT y Salud, el día 26 de Noviembre de 2003, se aprobó este dictamen, el cual fue aprobado por el pleno de la Cámara de Diputados y turnado a la Cámara de Senadores. Existe dentro de la estructura de la CCyT una Subcomisión Especial de Biotecnología, Bioseguridad y Biodiversidad encargada de (i)

Evaluar los efectos de los organismos genéticamente modificados y presentar alternativas de solución; (ii) Estudiar las iniciativas sobre el tema y presentar los resultados a la comisión, conjuntamente con la subcomisión de legislación; y (iii) Promover la cultura de la bioseguridad en México (CCyT-Cámara de Diputados, 2005).

- c) Consejo Nacional de CyT. El CONACYT tiene como misión impulsar y fortalecer el desarrollo científico y la modernización tecnológica de México, mediante la formación de recursos humanos de alto nivel, la promoción y el sostenimiento de proyectos específicos de investigación y la difusión de la información científica y tecnológica. De acuerdo con la visión de CONACYT, para el 2006 México: (i) Participará activamente en la generación, adquisición y difusión del conocimiento a nivel internacional, tratando de alcanzar el 1% del PIB en CyT; (ii) Habrá aumentado considerablemente la cultura científica y tecnológica de los mexicanos, y se concretará un mayor número de casos de éxito en I+DT; y (iii) El uso de la ciencia y la tecnología en los procesos productivos contribuirá gradualmente al crecimiento económico del país. Asimismo, su visión para el 2025 es que (1) México invertirá más del 2% del PIB en actividades de I+D; (2) gracias al esfuerzo de todos, la economía mexicana será una de las diez más importantes del mundo; y (3) México se posicionara como uno de los 20 países más desarrollados en CyT (CONACYT, 2005).

Las políticas, acciones y criterios, mediante los cuales el CONACYT fomenta la investigación científica y el desarrollo tecnológico, en los últimos años están contenidos en el Programa Nacional de CyT 2000 - 2006. Las prioridades establecidas en el Sexto Programa son: (1) ciencias biológicas, Genómica y Biotecnología para la salud, (2) tecnologías para la Sociedad de la Información, (3) nanotecnologías y nanociencias, materiales multifuncionales basado en el conocimiento y nuevos procesos y dispositivos de producción, (4) aeronáutica y espacio, (5) calidad y seguridad alimenticia, (6) desarrollo sustentable y ecosistemas, y (7) ciudadanos y gobernabilidad (Programa Nacional de CyT 2000 - 2006 - Capítulo II, 2005).

- d) Fundación Mexicana para la Salud. La FUNSALUD es una asociación civil, autónoma, sin fines de lucro, incluida en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas del CONACYT. Su misión es contribuir al conocimiento científico y

tecnológico y al estudio de políticas en materia de salud, mediante el impulso a la investigación, a la formación de recursos humanos de alto nivel y al desarrollo tecnológico. También identifica y caracteriza problemas de salud y genera proyectos para su solución. La Fundación participa actualmente en los campos de la nutrición, la Medicina Genómica, la educación para la salud, y la tecnología para la salud, gracias al apoyo de diversas empresas, y en colaboración con las instituciones de salud. En Medicina Genómica, FUNSALUD viene participando, desde finales de 1999, en un esfuerzo conjunto con la Secretaría de Salud, la Universidad Nacional Autónoma de México y el Consejo Nacional de CyT, para impulsar y desarrollar la medicina Genómica en México. Agosto de 2001. Adicionalmente, FUNSALUD forma parte de la Comisión Nacional para el Genoma Humano, órgano de consulta del Secretario de Salud en lo referente a conocer, armonizar y difundir políticas y acciones de dependencias, entidades e instituciones educativas y de salud, públicas y privadas, relativas a la investigación, desarrollo tecnológico, enseñanza, atención médica y, en general, todo lo que se refiere al conocimiento sobre el genoma humano y a la aplicación del mismo (FUNSALUD, 2005).

- e) Instituto de Biotecnología. El Instituto de Biotecnología (IBT) de la UNAM realiza investigación de excelencia académica para el desarrollo de la Biotecnología moderna, generando conocimiento en diversas áreas y disciplinas tales como la ingeniería celular, biología del desarrollo, Genómica, Biología Estructural, Fisiología, Microbiología y Medicina Molecular, así como las relacionadas con la biocatálisis, los bioprocesos y la biología molecular de plantas. Asimismo, participa activamente en la formación de recursos humanos especializados, a través de la licenciatura en Ciencias Genómicas y sus programas de maestría y doctorado y mediante su incorporación en proyectos de investigación (IBT-UNAM, 2005).
- f) Instituto Nacional de Medicina Genómica. El INMEGEN es el onceavo y más reciente de INSalud, fue creado en el 2004 con los propósitos de (i) generar y aplicar el conocimiento derivado del esclarecimiento del genoma humano para mejorar la salud de los mexicanos; (II) impulsar la formación de recursos humanos de alto nivel y la innovación tecnológica; y (iii) difundir el conocimiento sobre cuestiones relacionadas con la Medicina Genómica. En el INMEGEN se llevarán a cabo actividades de investigación en salud y docencia relacionadas con investigación básica y clínica en la especialidad, así

como de divulgación del conocimiento; se impulsará la vinculación horizontal con instituciones nacionales e internacionales en el campo de la Medicina Genómica y disciplinas afines para la realización de proyectos conjuntos de investigación, el intercambio de profesores visitantes y la formación de recursos humanos especializados. El INMEGEN además, fomentará la realización de proyectos de desarrollo de tecnología especializada y el desarrollo y asimilación de tecnología relacionada; protocolos de innovación tecnológica en cuanto a la elaboración de medios diagnósticos, Farmacogenómica y terapia génica con participación del sector productivo. En materia de investigación en salud, se realizarán estudios genómicos poblacionales, el desarrollo de tecnologías de análisis y diagnóstico a gran escala, el desarrollo de protocolos clínicos para la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades comunes, el desarrollo de nuevas herramientas de diagnóstico y de nuevos fármacos, la identificación de mecanismos moleculares que confieren riesgos para enfermedades comunes como *diabetes mellitus*, asma, hipertensión arterial y muchas otras (INMEGEN, 2004).

- g) El Proyecto Universitario del Genoma Humano. El Proyecto Universitario del Genoma Humano (PUGH) de la UNAM está dirigido a articular los esfuerzos que, sobre este tema y otros afines, viene realizando la UNAM, así como vincularlos con los de otras instituciones mexicanas, con objeto de que México participe plenamente en este importante proyecto internacional. El PUGH está ubicado en el Programa Universitario de Investigación en Salud (PUIS) de la Coordinación de la Investigación Científica de la UNAM, es apoyado por la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico (DGSCA) y el CICH, y forma parte de la red de cómputo REDUNAM. El PUGH incluirá proyectos de investigación multicolaborativos y centros medulares (*core centers*) de apoyo tecnológico complejo. También se tendrán actividades de formación de recursos humanos, entrenamiento y capacitación, así como difusión a la comunidad. Son bienvenidas colaboraciones de beneficio mutuo con otras instituciones mexicanas de educación superior y de salud, y también con organizaciones de otros países que tengan propósitos afines (PUGH-UNAM, 2004).
- h) Sociedad Mexicana de Medicina Genómica. La Sociedad Mexicana de Medicina Genómica (SOMEGEN) es una organización fundada 12 de junio de 2003 por 35 miembros de la comunidad académica de diversas instituciones científicas y educativas de México. Su

misión es promover el conocimiento, la enseñanza y la divulgación de la Medicina Genómica a través de un foro multi- e inter-disciplinario que incorpore la investigación científica, las ciencias médicas y de la salud, las humanidades y las ciencias sociales, la tecnología y la industria en beneficio de la Sociedad. Los principales objetivos de la SOMEGEN son: (i) asociar a investigadores y profesionales en el campo de la Medicina Genómica y áreas relacionadas; (ii) proponer a los sectores público, social y privado, proyectos de investigación en Medicina Genómica enfocados a problemas nacionales de salud, (iii) vincular a todos los sectores de la sociedad para el desarrollo de la Medicina Genómica y de nuevos productos con base Genómica; y (iv) fomentar y desarrollar el intercambio de conocimientos en medicina Genómica y áreas relacionadas con instituciones nacionales, extranjeras, públicas y/o privadas. La SOMEGEN está integrada por cinco secciones que permitirán la incorporación de profesionales en las diversas áreas relacionadas con la Medicina Genómica: (I) Investigación básica; (II) investigación clínica; (III) terapéutica molecular; (IV) tecnología Genómica; y (V) aspectos éticos, legales y sociales (SOMEGEN, 2004).

Capital intelectual para el desarrollo de la Medicina Genómica

Con su fuerte tradición en investigación biomédica, México no puede quedar a trás de esta plataforma de lanzamiento a un futuro más sano y digno. Frente a todo el avance mundial que se está dando en torno a la Genómica, lo inmediato es prepararse para el futuro. Desde el punto de vista de la biología molecular se están acentuando un par de tendencias, presentes desde la década pasada. Por un lado, la necesidad de formar nuevos biomédicos, capaces de tender puentes entre varias disciplinas y de moverse con comodidad ente computadoras, autopistas de información y gigantescas bases de datos e imágenes. Por otro, la reorganización interna de laboratorios e institutos de investigación para hacerlos multidisciplinarios, de manera que en ellos integren esfuerzos y resultados especialistas de distintas disciplinas: químicos, físicos, matemáticos, informáticos, etc. (Meraz, 2005:19).

El Consorcio Promotor del INMEGEN ha identificado cerca de 120 candidatos con experiencia en Genómica, Bioinformática e investigación médica para formar el personal académico del INMEGEN. La mayoría de ellos son mexicanos que residen actualmente en instituciones

académicas en México y en extranjero. No obstante esta cifra es muy escasa considerando que a nivel mundial publican en revistas de impacto arbitrado a nivel mundial sobre Medicina Genómica un aproximado de 7857 investigadores, destacando en su mayoría europeos, estadounidenses y chinos. También a nivel mundial se han identificado un aproximado de 1580 organizaciones que producen ciencia y tecnología sobre Genómica. Asimismo, el Consorcio ha organizado más de 40 conferencias en temas relacionados con la Medicina Genómica, impartidas por líderes en el área. Además, el Consorcio ha elaborado trípticos informativos en español, inglés y francés. Conjuntamente con la UNAM, el Consorcio estableció 3 nuevos cursos de postgrado en Medicina Genómica, Pediatría Genómica y aplicaciones genómicas a la Medicina Interna, como parte del Programa de Postgrado en Ciencias Médicas, Odontológicas y de la Salud en la UNAM (Jiménez, 2003).

El INMEGEN tiene como misión contribuir a generar y aplicar el conocimiento derivado del genoma humano para mejorar la salud de los mexicanos. Es por ello que el INMEGEN pretende impulsar el desarrollo de recursos humanos de alto nivel, la innovación tecnológica, la difusión del conocimiento sobre la Medicina Genómica y la generación de bienes y servicios a partir de la investigación científica (Jiménez, 2004).

El desarrollo de un verdadero bienestar para la sociedad y el avance de las ciencias de la vida, debe ser una labor conjunta del gobierno, el cual priorice este tipo de investigación con políticas y programas favorables, de la iniciativa privada, la cual invierta en el desarrollo de tecnología estratégica, del sector salud debido a la repercusión directa que en él tiene la Medicina Genómica, del sector académico con programas y recursos humanos especializados, y el sector educativo para concienciar a la población acerca de la importancia de este conocimiento y de sus posibilidades.

2.3. Evolución y oportunidad tecnocientífica

En forma sucinta podemos definir *tecnología* como la ciencia del arte de hacer las cosas. El *arte de hacer* compete a la manera de utilizar los recursos y capacidades para obtener bienes y servicios,

mientras que la ciencia se refiere a los conocimientos ciertos de las cosas por sus principios y causas.

En forma ampliada consideramos a la tecnología como un conjunto de conocimientos, formas, métodos, instrumentos y procedimientos que permiten combinar los diferentes recursos y capacidades en los procesos productivos y organizativos para lograr un posicionamiento estratégico sustentable de las organizaciones.

En este orden de ideas la combinación de técnicas, tecnología y avance científico, es considerada como *núcleo tecnológico estratégico* (ver cuadro 2); clasificado también como el arma para competir con estrategia en los mercados globales: el núcleo tecnológico estratégico crea posicionamiento competitivo.

Cuadro 2. Núcleo tecnológico estratégico de la Medicina Genómica.

| NÚCLEO TECNOLÓGICO | | CAMPOS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA | | | |
|--------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------|---------------|------------|
| | | BIOLOGÍA | BIOMEDICINA MOLECULAR | BIOTECNOLOGÍA | INGENIERÍA |
| DESARROLLOS ESTRATÉGICOS | Genómica | X | X | X | X |
| | Proteómica | X | X | | X |
| | Farmacogenética | X | X | X | X |
| | Farmacogenómica | X | X | X | X |
| | Bioinformática | | X | | X |
| | Bases de Datos | X | | X | X |

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 2 representa la combinación de los cuatro campos de la CyT y sus combinaciones, que han permitido consolidar el núcleo tecnológico de desarrollos estratégicos tales como la *Genómica*, *proteómica*, *farmacogen+etica* y *farmacoGenómica*, *Bioinformática* y *Genómica ambiental*. En los siguientes años a partir de cada núcleo se estarán generando *clusters* (agrupamientos o familias de innovaciones) tal que garanticen el monopolio temporal, o bien un adecuado nivel de competitividad a organizaciones que poseen este tipo de capacidades.

El conocimiento abstracto y genérico ligado al núcleo tecnológico se fundamenta en la ciencia genética. Son los genes los contenedores de la información necesaria para sintetizar todas las proteínas, y es en este terreno de la salud donde los avances científicos entran de lleno en el siglo XXI.

Por ejemplo, la moderna biomedicina molecular, pretende dejar atrás la etapa sintomática donde la enfermedad está manifestada, para establecerse en la etapa preventiva haciendo uso de la Bioinformática. Esto, a partir de la búsqueda de las enfermedades o de su predisposición en los genes, agilizando así las técnicas de diagnóstico y logrando prevenir la enfermedad antes que curarla.

El reto está en la interpretación correcta de los resultados de las pruebas genéticas, ya que ser portador de un gen alterado no implica de manera necesaria el desarrollo de la enfermedad, y el grado en que esta se desarrolle²⁹. Por ello, la biomedicina no está sola, pues avanza conjuntamente con la Biotecnología y la Bioinformática, novedosa disciplina científica indispensable para el florecimiento de ambas que utilizan la tecnología computacional para organizar, analizar y distribuir información de carácter biológico, con el fin de obtener respuestas a preguntas complejas de biología.

Gracias al progreso de la Genética Molecular y la Genómica, la biomedicina molecular se constituye como arma estratégica para el bienestar social en un futuro inmediato en el terreno de la salud pública. La identificación en la molécula de las causas de las enfermedades y el desarrollo de la industria biotecnológica, en general, y farmacéutica, en particular, permitirán encontrar mejores métodos de diagnóstico, identificar blancos terapéuticos y generar fármacos personalizados. Es decir, redundará en una medicina preventiva más completa.

Se calcula que existen cerca de 8,000 enfermedades hereditarias, pero a nivel fetal sólo se han detectado unas 200. En la actualidad se conoce la función de unos 10,000 genes. Se espera que en el futuro se puedan descubrir las complicaciones relacionadas con éstos y las enfermedades.

²⁹ Todos los seres humanos, sin excepción, somos iguales en 99.9% de la secuencia del genoma humano. Esto significa que únicamente 0.1% nos confiere características distintivas y a cada uno nos hace miembros individuales de la especie humana. Es por eso que unos son más propensos a sufrir cáncer o diabetes, y otros son alérgicos a determinadas sustancias.

Cómo interactúan entre sí los genes, cómo predispone al individuo a una enfermedad determinada la más sutil alteración, son algunas de las cuestiones a resolver por parte de los científicos, ahora que el genoma se ha descifrado (Meraz, 2005:17)

El Proyecto del Genoma Humano, al igual que lo fue el Apolo a finales de los sesentas, está incidiendo en el desarrollo de todas las áreas del conocimiento, como pueden ser la Bioinformática y el diseño de nuevas computadoras, las biomatemáticas, la automatización de procesos, el desarrollo de la física, desde luego del derecho, de las ciencias sociales, e incluso del arte.

Existen en la actualidad, investigaciones sobre la Genómica Ambiental, por ejemplo se han tomado muestras de agua de diversos océanos y se han secuenciado todos los genomas de bacterias ahí encontrados. La filosofía de empresas líderes como Celera es hacer algo por el medio ambiente. Resultado de los estudios del genoma y su secuenciación, actualmente es posible rastrear el origen de la vida. Además está cambiando la visión y las bases de la Biología.

Cambios tecnológicos y liderazgo mundial

La empresa Monsanto estimaba que el costo de determinar la secuencia genética completa de un gen era de \$150,000,000 mdd (1974)³⁰. El costo de la secuenciación de un gen era de \$150 mdd (1998). Para el 2001 el costo era menos de \$50 mdd (Enríquez, 2004)

En 1980 12,000 pares de nucleótidos se leían en 1 año. En 1997 la misma cantidad se leían en 20 minutos. En 1999 igual cantidad se lee en menos de 1 minuto (Enríquez, 2004)

Desde hace más de una década, la dinámica de la propiedad intelectual y el desarrollo de nuevas patentes gira en buena medida en el registro de esfuerzos y posibilidades en el campo de las ciencias Genómicas.

³⁰ El código genético está contenido en el ADN, el ADN está formado por cuatro sustancias (*nucleótidos*): Adenina (A), Timina (T), Citosina (C), y Guanina (G), cada ser vivo lleva su código genético completo dentro de casi cada una de sus células. El código genético humano contiene 3,200 millones de nucleótidos, un gen contiene 27,894 pares de nucleótidos

Número de solicitudes de patentes tramitadas ante la Oficina Norteamericana de Patentes y Marcas (USPTO, por sus siglas en inglés): 4,000 (1991), 22,000 (1995) y 500,000 (1996).

En 1985 el Departamento de Energía de los Estados Unidos otorga un financiamiento para iniciar los estudios de planeación del Proyecto del Genoma Humano. Al poco tiempo se unieron a esta acción otros gobiernos, entre ellos los gobiernos del Reino Unido, Francia, Alemania y Japón. Más adelante, la carrera se acelera cuando interviene el sector privado. La empresa Celera Genomics significó la punta de lanza de una importante participación de las principales empresas farmacéuticas de los países industrializados, e incluso la de empresas de otras ramas, principalmente de la informática y telecomunicaciones.

2.4. Brechas jurídicas, legales y, sociales de México en el contexto mundial

Los avances del genoma humano, a la fecha logrados, apenas permiten extraer el auténtico conocimiento, pues lo importante es dar sentido biológico, funcional y evolutivo al cúmulo de información hasta ahora obtenido. Su impacto no se puede prever, pero es revolucionario. Es tiempo de analizar, para sugerir a partir de los datos, nuevos avances, enfoques, experimentos, hipótesis de trabajo, que permitan la retroalimentación como una especie de círculo virtuoso que, según se espera, abrirá las puertas de una nueva era para las ciencias de la vida y para la sociedad (Meraz, 2005:19).

El desarrollo de la Medicina Genómica se ha convertido en una prioridad del gobierno mexicano en las áreas de atención a la salud e investigación médica, debido a que representa grandes ventajas para México, ya que su incursión en este campo de conocimiento permitirá:

- a) Estimular el desarrollo de infraestructura de punta que permita al país incorporarse al nuevo orden mundial en el campo de la salud,
- b) Revolucionar la práctica de la medicina al ofrecer nuevas formas de diagnóstico y tratamiento de las enfermedades humanas, e

- c) Identificar a los miembros de la población cuya secuencia de ADN los convierte en un grupo de alto riesgo para presentar enfermedades comunes como la hipertensión arterial, la *diabetes mellitus* tipo II, el asma, el infarto agudo al miocardio, y algunas enfermedades infecciosas, entre muchas otras, que están adquiriendo gran importancia en nuestro país debido a la transmisión epidemiológica.

Las variaciones en el genoma humano y su interacción con el ambiente dan lugar a la individualidad de cada persona, la cual incluye tanto sus características físicas, como susceptibilidad y resistencia a padecer distintas enfermedades (y enfermedades comunes en grupos de población específicos), además de su potencial predictivo y diagnóstico, y de una práctica médica más individualizada, el conocimiento de estas particularidades individuales permitirá desarrollar tratamientos farmacológicos más efectivos. Todo ello tendrá efectos financieros muy positivos al reducir los costos de la atención a las enfermedades más frecuentes. Por ejemplo, diversos estudios económicos señalan que las aplicaciones de la Medicina Genómica permitirán una reducción del 36% en los costos de la atención por diabetes, un ahorro muy relevante para México, donde existen cerca de 10 millones de diabéticos (Frenk, M., 2004).

No obstante, las implicaciones sociales y económicas del desarrollo de la Genómica en México van más allá de la salud, ya que además de impulsar el desarrollo científico y tecnológico del país y vincular los sectores público, privado y social, tendrá un impacto financiero muy importante al reducir los costos de atención a las enfermedades más frecuentes de la población.

La población mexicana moderna es resultado de la mezcla de más de 65 grupos étnicos con grupos españoles, dando como consecuencia una estructura genética única con patrones específicos de susceptibilidad y resistencia a enfermedades comunes. En consecuencia, el desarrollo de la Medicina Genómica nacional se ocuparía de problemas distintos a los que presentan los países industrializados, basándose en la estructura genética y las necesidades en salud de la población mexicana y no en la importación de aplicaciones desarrolladas en países industrializados para poblaciones diferentes a la mexicana, por ellos, los productos y servicios que se generen en esos países no podrán importarse al nuestro, y en consecuencia, México tendrá la posibilidad de cerrar la brecha entre ricos y pobres debido al desarrollo de tecnología apropiada a las necesidades de la población mexicana (Jiménez, 2003:295).

Asimismo, la Genómica generará nuevos productos y servicios que darán lugar a formas novedosas de comercio e incluso de organizaciones sociales, y abrirá oportunidades para el desarrollo de la industria farmacéutica nacional y transnacional con oportunidades de mercado hacia América Latina, por lo que la implementación oportuna de una plataforma nacional en Medicina Genómica puede convertirse en un instrumento estratégico para el desarrollo y crecimiento económico, y el bienestar social del país. El conocimiento ha llegado a ser un recurso eminentemente económico, incluso más importante que las materias primas, y que el propio capital financiero. Por ejemplo, anteriormente los agentes económicos compraban o vendían productos con una gran cantidad de material, y en cuyo contenido se encontraba pequeños trozos de conocimiento. Actualmente compramos y vendemos bienes con un gran contenido de conocimiento en una pequeña pieza. Podemos deducir que el conocimiento novedoso materializado en nuevos productos, servicios, equipos y/o procesos, se constituye como el principal motor de competencia y sustentabilidad económica, para las organizaciones productivas.

Ámbito ético y jurídico determinante social para el desarrollo de la Medicina Genómica

El conocimiento del genoma humano y su aplicación tiene implicaciones éticas y jurídicas que aún están por establecerse con claridad y acuerdo. El debate público sobre los aspectos éticos, legales y sociales relacionados con la Medicina Genómica ha encontrado diversos foros, como el desarrollo de sesiones relacionadas a la Medicina Genómica en televisión nacional por el Canal del Congreso de la Unión. En forma paralela, existen en México otros desarrollos que proveen un contexto favorable para el desarrollo de la Medicina Genómica como la Ley de CyT aprobada por el congreso mexicano en junio de 2002, que coordina y estimula el desarrollo de la ciencia y la tecnología como parte de la política de estado aplicada a problemas en México. En la actualidad el Congreso mexicano analiza posibles modificaciones a la Ley General de Salud para prevenir la discriminación genética, y la definición de una posición en torno a la clonación humana (Jiménez, 2003).

El hecho de volvernos dependientes de la Medicina Genómica de los países desarrollados afectaría seriamente la equidad en el acceso a las nuevas tecnologías derivadas de la Genómica, retrasaría el desarrollo económico que ellas conllevan, y podría generar serios problemas éticos

con respecto a la confidencialidad de la información genómica y el imperativo de no discriminación. Estos asuntos tienen tal carácter estratégico que hoy se habla de "soberanía Genómica" (Frenk, 2004:5).

Los nuevos conocimientos generados por la biología molecular aplicada a los genes apremia atender los aspectos éticos, sociales, culturales y legales, que provocan el proyecto del genoma humano en el ámbito de la manipulación genética del ser humano.

El interés ético, social, cultural y legal implica no solo el destino de la raza humana, sino la infinita capacidad biológica y experimental de las células, el ADN en sí. Significa que los avances tecnocientíficos aplicados a la materia viva susceptible alteran el curso natural del proceso vital (clonación), selección de sexo, terapia (génica), y sitúa a la sociedad ante la vacilación del perplejo supuesto por el quebranto y la profanación a la vida misma. Y pasa del estadio de evolución natural, intangibilidad e indeterminación, a otro de preselección y determinación de los caracteres hereditarios del ser humano.

A través de técnicas de manipulación genética, y mediante procesos de transformación por ingeniería genética, se ha exhibido la sumisión de los procesos vitales a la capacidad científica y tecnológica humana, al extremo de querer obtener la propiedad y el derecho de utilización exclusivo a través del sistema de patentes de la propia naturaleza viva, pero de "esencia sintética y artificial". Significa que la naturaleza está pasando a ser concebida como materia prima, manipulable, reproducible y apropiable legalmente.

Y tras la posible apropiación de la naturaleza misma ¿el estado podría en qué y cómo los nuevos negocios que ya acaparan la naturaleza humana misma? sin duda es una cuestión decisiva de futuro y de gran efervescencia en los países hegemónicos.

Consecuentemente trasciende la reflexión profunda del ser humano por convertirse en el objeto de decisión, alteración y control del mismo, a través de su propia naturaleza; o bien debe seguirse respetando la dignidad de la persona humana, en cuanto al ser más excelso de la creación y proseguir su curso natural de libre de evolución. El desarrollo y evolución de la Genómica por lo tanto no es ajeno a México.

En México no existe un cuerpo legal orgánico y sistemático que legisle el desarrollo de la Genómica y su influencia en las relaciones sociales. No obstante se está en proceso de desarrollo de literatura, coherente y madura sobre este tema, restando sólo la elaboración legal para proteger los avances tecnocientíficos de la ciencia Genómica y sus aplicaciones, entre otras la Medicina Genómica.

Desde la perspectiva legal el concepto del genoma se define como el conjunto de genes que integran el patrimonio biológico de cada individuo y que contienen las claves de la herencia. Su conocimiento, o lectura, hace posible entender los procesos de transmisión de todo tipo de características, incluidas las patológicas.

Implica nuevos enfoques intelectuales un cambio en forma de abordar los problemas de salud, contemplando el conjunto y no las tradicionales ópticas especializadas o delimitadas. Esta visión integral se diferencia de la Genética, en la cual se estudian aspectos específicos de la herencia, mecanismos de un solo gene, o enfermedades congénitas ocasionadas por la deficiencia, disfunción o ausencia de cierto material genético.

La Genómica también se justifica basada en los enormes beneficios para el conocimiento de las enfermedades humanas. Se espera que los métodos moleculares emanados del genoma humano superen y reemplacen a los tradicionales en el diagnóstico y prognosis de enfermedades con componentes genéticos, tanto durante el embarazo, como en el nacimiento y en la vida adulta. Los datos del mapa del genoma humano escinden un vasto campo de investigación sobre las bases moleculares de las enfermedades.

Problemática jurídica, ética y empresarial del genoma humano

Intervención genética no tiene el mismo significado que intervención médica; en la intervención Genómica no está simplemente en juego la vida o la muerte, también está en juego la propia identidad personal: ¿técnicamente es factible cambiarla sin deteriorarla?. Por ello resulta fundamental que en México exista un adecuado marco jurídico que asegure el aprovechamiento de los beneficios de la Medicina Genómica y enfrente exitosamente los nuevos retos tecnocientíficos. Y es que en unos meses más el INMEGEN habrá logrado completar el mapa

genómico de una gran mayoría de mexicanos. Pero, ¿qué genoma se habrá secuenciado?, ¿de algún individuo concreto, un genoma ideal o una mezcla de genomas?

Desde hace tiempo se conoce la existencia de diferencias entre nuestros genomas. Ahora, la diversidad genética dentro de nuestras etnias reclama ser reconocida, estudiada e interpretada. Es inherente, en consecuencia que surjan una serie de retos éticos, jurídicos y sociales inmanente al uso de información del mapa de genoma de los mexicanos. Alguno retos mas relacionados con la toma de decisiones sobre estudios genómicos, otros concernientes a la confidencialidad de información genética por la posibilidad misma de que tal información pueda dar lugar a la discriminación o estigmatización de las personas por sus características genómicas.

Un primer criterio ético tiene que ver la dignidad de la persona. Indiscutiblemente el hombre no es un objeto, una cosa o un medio para conseguir o bien validar otros objetivos; no puede, por tanto, ser tratado de esa manera en el laboratorio. Y es posible que la alteración o manipulación genética entrañe el riesgo de deteriorar la identidad de una persona.

Bajo la óptica que concierne la presente tesis es la experiencia mundial demostrada en la implementación oportuna de tecnologías médicas emergentes que contribuyen a reducir brecha entre países ricos y pobres, no solo a través de una población más sana, sino además debido a la reducción en costos por atención de enfermedades comunes. Por ello, resulta razonable inferir que la implementación oportuna de esta plataforma contribuirá en forma importante al desarrollo de México.

Un segundo criterio a plantear es el relativo a la patente. Como se sabe la patente es un derecho otorgado a un investigador para usar o vender un invento durante tiempo limitado. Para que pueda procederse a una patente, se exige: que se trate de una invención, es decir, de algo que no había sido descubierto previamente; que no se trate de algo evidente, sino que se trate de un paso inventivo; que tenga utilidad práctica, es decir que sirva para resolver un problema. De estas características, las dos primeras se cumplen, el tercer requisito- utilidad práctica tropieza con grandes dificultades. Nadie duda del interés futuro de las secuencias ya leídas, pero, al mismo tiempo algunos científicos dicen que en este momento no saben para qué sirven. Esto no quita, para que científicos hayan intentado al menos obtener las patentes de genes.

En este aspecto el Comité Consultivo Nacional de Ética y el Consejo Internacional de las Uniones Científicas estiman que el conjunto de la información contenida en el genoma humano pertenece al patrimonio común de la humanidad, y por tanto no puede ser objeto de ningún tipo de monopolio.

Declaración universal de la UNESCO

Recordando que se deben invocar “Los principios democráticos de la dignidad, la igualdad y el respeto mutuo de los hombres” e impugnar “el dogma de la desigualdad de los hombres y de las razas”, la adhesión que se tiene a los principios universales de los derechos humanos, en particular, en la declaración Universal de Derechos Humanos, se encuentra que la Declaración Universal de la UNESCO sobre el genoma humano y los derechos humanos, que se divide en:

- A) La dignidad humana y el genoma humano
- B) Derechos de las personas interesadas
- C) Investigaciones sobre el genoma
- D) Condiciones para el ejercicio de la actividad científica
- E) Solidaridad y cooperación internacional
- F) Fomento de la Declaración
- G) Aplicación de la Declaración

De los cuales solo se abordará el inciso relacionado con las investigaciones sobre el genoma, el cual nos lleva de forma más específica a cumplir con el objetivo planteado.

El artículo 9º dispone que para proteger los derechos humanos y las libertades fundamentales sólo la legislación podrá limitar los principios de consentimiento y de confidencialidad, de haber razones imperiosas para ello, y a reserva del estricto respeto del derecho internacional público y del derecho internacional relativo a los derechos humanos.

Se advierte aquí que tanto el consentimiento informado del paciente como la reserva de la información genética están vinculados a derechos humanos fundamentales (respeto a la dignidad del individuo, resguardo de la esfera de la privacidad, no discriminación) y por tanto, deben ser protegidos, a no ser que derechos de igual o superior jerarquía puedan prevalecer.

El desconocimiento de estos principios sólo podrá originarse en normas legislativas que no merezcan observaciones a la luz de los principios del derecho internacional y nacional protector de los derechos humanos.

El artículo 10° establece que ninguna investigación relativa al genoma humano y sus aplicaciones, en particular en la esfera de la biología, la genética y la medicina, podrán prevalecer sobre el respeto a los derechos humanos, a las libertades fundamentales y a la dignidad humana de los individuos o si procede, de los grupos humanos.

Aquí entra a jugar la libertad de investigación. Está fuera de toda discusión el reconocimiento del derecho humano a la libre investigación científica, pero paralelamente existe una demanda por imponer un control social cuando sus resultados pueden afectar la genética humana. Cuando nos referimos a la investigación en genética humana, hay que reconocer que plantea cuestiones éticas novedosas para las cuales no nos ha preparado ni la práctica ni el conocimiento anterior.

Legislación Mexicana

Las comisiones Unidas de Salud y Ciencia y Tecnología de la H. Cámara de Diputados del Congreso de la Unión, fueron turnadas para su estudio y dictamen dos iniciativas de ley sobre el genoma humano.

1. En sesión celebrada el día 25 de septiembre del 2001, el C. Diputado Francisco Patiño Cardona, miembro del Partido de la Revolución Democrática presentó el proyecto de ley sobre la investigación, el fomento, el desarrollo, control y regulación del Genoma Humano, por lo cual la presidencia de la Mesa Directiva turnó en esa misma fecha la iniciativa de ley a la Comisión de Salud y a la Ciencia y tecnología, para su estudio y dictamen.

2. En sesión celebrada el día 14 de diciembre del 2001, el C. Diputado Manuel Wistano Orozco Garza, a nombre de los diputados del Grupo Parlamentario del Partido Acción Nacional, presentó el Proyecto de Iniciativa que reforma la ley General de Salud, adicionando un título decimoctavo, referente al Genoma Humano, por lo cual la Presidencia de la Mesa Directiva turnó en esa misma fecha la iniciativa de reforma a las Comisiones Unidas de Salud y de Ciencia y Tecnología, para su estudio y dictamen conjunto.
3. El 27 de noviembre del año 2002 en sesión conjunta de las Comisiones de Salud y Ciencia y Tecnología, conforme a las facultades que le otorga la Ley Orgánica del congreso General de los Estados Unidos Mexicanos, el dictamen relativo a la investigación, el fomento, el desarrollo, control y regulación del Genoma Humano, y de la iniciativa de reforma y adición del título decimoctavo denominado Genoma Humano a la ley General de Salud, fue aprobado por ambas comisiones, enviándolo a la Mesa Directiva para el trámite legislativo respectivo.
4. Referente a lo que establece el artículo 44 en su numeral de la Ley Orgánica del Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos, la Comisión de Salud, con anuencia de la Comisión de Ciencia y Tecnología encomendó a su Primera Subcomisión denominada “Administración de Salud” preparará el dictamen respectivo, por lo cual ésta llevó a cabo reuniones de trabajo entre los integrantes de ambas Comisiones, en las que se analizaron y discutieron ampliamente ambas iniciativas, tanto en sus exposiciones de motivos, como en el articulado de ambos proyectos.
5. Las comisiones dictaminadoras, realizaron una revisión exhaustiva en la legislación comparada (principalmente Estados Unidos, Chile y España) relacionada con el tema en cuestión.
6. A su vez las Comisiones encargadas de preparar el dictamen analizaron la facultad del congreso para legislar en la materia, de esto se desprendió que nuestra Carta Magna en su artículo cuarto garantiza el derecho a la protección de la salud que tiene toda persona. Así también, el artículo 73 fracción XVI de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos faculta al Congreso de la Unión para legislar en materia de salubridad general.
7. Además se encargaron de preparar el dictamen tomando en consideración las aportaciones de los Diputados de los diversos grupos parlamentarios pertenecientes a las Comisiones

de Salud y Ciencia y Tecnología, así como las opiniones que se recogieron del consorcio Promotor del Instituto de Medicina Genómica, investigadores de los Institutos Nacionales de Salud, de la Universidad Nacional Autónoma de México y de la Academia Mexicana de Ciencias.

8. Las Comisiones dictaminadoras con fundamento en las facultades que les atribuye la Ley Orgánica del Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos, celebraron el 10 de abril de 2002, el seminario “El Genoma Humano: retos, oportunidades y riesgos”, con distinguidos especialistas, a efecto de acercar a sus Diputados integrantes mayores elementos de juicio e información para el cumplimiento de sus tareas legislativas.
9. Con fecha 15 de octubre del año 2003 la Dirección General de Proceso Legislativo de la H. Cámara de Diputados de la LIX Legislatura, remitió el dictamen aprobado por las Comisiones de Salud y de Ciencia y Tecnología a la Comisión de Salud a efecto de realizar las observaciones al mismo, por lo que el Presidente de la Comisión de Salud lo hizo del conocimiento a todos los miembros integrantes de la misma, con la intención de nutrir el documento en mención.
10. Con fecha 4 de noviembre de 2003 y con el propósito de difundir a todos los Diputados de la LIX Legislatura, los avances técnicos, médicos y científicos en relación al Genoma Humano, las Comisiones de Salud y de Ciencia y Tecnología, previa convocatoria en la Gaceta Parlamentaria, realizó en las instalaciones del recinto Legislativo una conferencia magistral con la participación de ponentes del Consorcio Promotor del Instituto de Medicina Genómica.

Se considera importante enfatizar la posible falta de confiabilidad de los datos genéticos de cada individuo a terceras personas físicas o morales, supone un grave atentado a la intimidad y pone peligro expectativas de la persona afectada, condicionando delicadas decisiones en diversos ámbitos como lo son: Su entorno familiar, educativo, de salud, laboral, mercantil, entre otros.

Es por ello que los integrantes de las comisiones dictaminadoras, reconocen que hay que legislar específicamente para evitar el uso indebido de información genética por parte de empresas privadas y agencias gubernamentales, sobre todo a la vista del peligro de difusión por métodos electrónicos. Una cuestión clave aquí se centra en el equilibrio entre el derecho individual a la intimidad genética y la obligación de la sociedad a evitar daños a terceros.

De igual manera los integrantes dictaminadores consideran que algunas aplicaciones de investigación del genoma operan ya como una realidad cotidiana en nuestro país, sin un adecuado y completo marco jurídico, dejando en estado de indefensión y vulnerabilidad tanto al paciente respecto de sus derechos, y la responsabilidad del prestador de los servicios de la salud. Lo anterior hace necesario que; mediante procesos democráticos y plurales se promueva una legislación primaria que regule los siguientes aspectos:

- Considerar como materia de Salubridad General al Genoma Humano;
- El concepto,
- Protección del Genoma Humano;
- Prohibir la discriminación y conculcación de derechos;
- Salvaguardar la confidencialidad de los datos genéticos;
- La orientación de la investigación, el conocimiento y aplicaciones del genoma humano a la protección de la salud; y
- La promoción que realice el Estado al respecto.

En una perspectiva de equidad, observando los beneficios para la salud derivados de la aplicación de los conocimientos sobre el genoma, se denota que se corre el riesgo que se incrementen las brechas de desigualdad entre los menor y mayormente favorecidos. En este caso, la iniquidad esta asociada al acceso-beneficio de la tecnología genética ya sea con criterios de universalidad por medio de la inclusión del examen genético en un portafolio mínimo de servicios de salud o con criterio económico asociado a la capacidad de pago. En este último aspecto las industrias farmacobiológicas basan sus esperanzas de obtener grandes utilidades, por tal motivo, están destinando grandes sumas a la investigación y experimentación de las aplicaciones del conocimiento del genoma.

El objetivo esencial de estas iniciativas, se traduce en su unificación a efecto de fijar el marco general normativo de tratamiento sobre el conocimiento del genoma humano, a fin que no se vulneren con las investigaciones biocientíficas los derechos fundamentales del ser humano. Esta legislación surge por la ausencia de un marco jurídico nacional que reglamente tal hipótesis; pretendiendo fijar su rumbo en defensa y beneficio del ser humano , donde el equilibrio, el

respeto y el afán de garantizar la libertad de investigación, reiteramos se sustente al hecho que no todo lo técnico y científicamente posible es éticamente aceptable.

Legislación internacional

Los progresos de tres primeros países que regularon el campo de la Biotecnología fueron: los Estados Unidos, el Reino Unido y Alemania. Alemania fue uno de los primeros países para introducir la legislación en el campo de la Biotecnología, ya que su posición y, su, política fueron absolutamente restrictivas. En contraste, el Reino Unido durante los últimos años ha elegido un acercamiento generalmente más liberal a su legislación de la Biotecnología. Finalmente, los Estados Unidos proporcionan una buena base por su larga tradición de la investigación en el uso de resultados biotecnológicos. Sin embargo no han sido los únicos países que han regulado la Biotecnología, en este contexto encontramos a España, la cual a realizado un ordenamiento jurídico para dar solución a la problemática que plantea el conocimiento y el acceso científico y material al genoma humano y por ello, ofrece una amplia cobertura regulativa al respecto entre las que destacamos:

1. Normativa General

- Preceptos constitucionales que defienden los valores fundamentales del ser humano, que podrían verse vulnerados con un uso inadecuado del conocimiento del genoma humano.
- Legislación civil. Tanto el código civil, como leyes específicas de protección a la intimidad.
- En el ámbito penal se regulan, por primera vez, delitos relativos a las manipulaciones, a la clonación humana o a las posibles lesiones fetales que pueden derivarse ahora que cada vez es más fácil el acceso y la intervención en los preembriones.

2. Legislación más específica sobre la materia que nos ocupa

- La ley 35/88 del 22 de noviembre, sobre técnicas de reproducción asistida, y la ley 42/88, del 28 de diciembre, sobre donación y utilización de embriones y fetos humanos o de sus células, tejidos u órganos, junto con los reales decretos que las desarrollan.

- La ley 15/1994, del 3 de junio, por la que se establece el régimen jurídico de la utilización confinada, liberación voluntaria y comercialización de organismos modificados genéticamente a fin de prevenir los riesgos para la salud humana y para el medio ambiente y el real decreto 95/1997 que desarrolla la mencionada ley.
- Ley orgánica 15/1999 del 13 de diciembre de la protección de datos de carácter personal.
- El convenio sobre derechos humanos y biomedicina de 4 de abril de 1997, del consejo de Europa.

Toda vez que es necesario facultar a las autoridades de salud federal para preservar el interés público y sentido ético en el estudio, investigación y desarrollo de la Medicina Genómica, como materia de salubridad general, así como para establecer un padrón de instituciones públicas y privadas donde conste un registro expedido por las propias autoridades, estableciéndose el objeto y aplicaciones específicas de sus investigaciones, los legisladores de estas comisiones unidas, consideran necesario incluir un *artículo 103 Bis 6* donde se cumplan con tales objetivos y en el que se consideren que en usos comerciales se cumplan en su totalidad los requisitos de la normatividad de la materia.

2.5 Catalizar fase embrionaria a rápido desarrollo de la Medicina Genómica

A manera de compilación el desarrollo de la Medicina Genómica está teniendo diferentes aplicaciones e indudables ventajas en la prevención, diagnóstico e investigación de diferentes enfermedades. Pero, paralelamente se están planteando problemas éticos, algunos de gran importancia relacionados con la identidad personal, confidencialidad de las informaciones genéticas, investigaciones y patentabilidad genéticas y prácticas discriminatorias.

En lo que concierne a México el tema del Genoma Humano todavía se encuentra en proceso embrionario, a pesar de que ya fue creado el Instituto Nacional de Medicina Genómica, esta situación se ve claramente, con las dos iniciativas de ley que se han presentado, y que a la fecha no

se han decretado; motivo por el cual si una persona ya sea física o moral desea invertir en la industria de la Genómica, solo se podrá desarrollar en el ámbito de la investigación, ya que por el momento no hay nada legislado para darle un uso comercial, y esto es debido a que es un tema como se mencionó a lo largo del análisis polémico y controversial a nivel mundial; a pesar de que se dice que, por su importancia, esta industria será generadora de una gran derrama económica de cualquier país que la explote.

En el ámbito nacional el debate público sobre los aspectos éticos, legales y sociales relacionados con la Medicina Genómica deberá proveer un contexto favorable para el desarrollo de la Medicina Genómica mediante el estudio, y aprobación y/o modificación de iniciativas de ley y leyes, respectivamente.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), se manifiesta en torno al deber ser de la tecnología Genómica: que debe orientar a reducir, no a agudizar, las desigualdades mundiales en materia de salud, y a entender las cuestiones científicas, económicas, sociales y éticas que derivan del conocimiento del genoma humano. Este mismo organismo mundial lanzó la voz de alerta para que las desigualdades sociales en materia de salud no se agraven por las actuales tendencias en materia de la propiedad intelectual, sobre todo en relación con las patentes sobre la información genómica básica (Jiménez, y colaboradores, 2002).

Conforme al estudio de factibilidad realizado conjuntamente por la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el CONACYT y la Fundación Nacional para la Salud (FUNSALUD) en el 2000, se demuestra que es viable conformar una institución, es decir, el INMEGEN, que sirva de elemento central para el desarrollo de la Medicina Genómica en México, con base en la infraestructura y experiencia con que ya se cuenta (Jiménez, 2004).

El Consorcio Promotor ha contado con la participación de comités asesores de nivel internacional, como son: el Comité Científico, el Comité de Programas, el Comité de Aspectos Éticos de la Medicina Genómica, el Comité de Organización y Financiamiento y el Grupo Asesor sobre la Propiedad Intelectual, todos ellos participando en el proyecto para el desarrollo de la Medicina Genómica en México (Jiménez, 2004).

Es necesario consolidar en etapa embrionaria el desarrollo de la Genómica en México lo cual significa:

- Apoyo financiero sostenido, es decir, la inversión necesaria para establecer, desarrollar y consolidar una plataforma sólida de Medicina Genómica en México. Un cálculo presupuestal inicial estimó en 1999 una inversión de \$190 mdd durante los primeros cinco años. Esto incluye la construcción e implementación de instalaciones de alta tecnología así como desarrollo de proyectos de colaboración (Jiménez, 2003) .Según el Dr. Jiménez, Director del INMEGEN, esta inversión resulta razonable en el contexto del gasto nacional en salud, pues representa un costo anual equivalente a 0.82% de la contribución federal para la atención a la salud en 2001³¹.
- Infraestructura: laboratorios de investigación enfocados a distintas áreas de la Medicina Genómica, áreas de enseñanza con unidades de alta tecnología e investigación clínica que sirva para los programas internos y externos.
- Disponibilidad de recursos humanos suficientes.
- Programas científicos internos y externos de vinculación que ofrezcan: (i) investigación biomédica de alto nivel y unidades de alta tecnología; y (ii) colaboración nacional e internacional, que contemple la realización de proyectos de investigación científica con otras instituciones en México y el extranjero, las aplicaciones médicas en vinculación con otros institutos nacionales de salud y hospitales en todo el país, y vinculación con el sector industrial, especialmente con la industria farmacéutica a fin de aumentar la producción de fármacos y pruebas de diagnóstico derivadas de actividades en investigación genómica. Esta desvinculación proveerá una estrategia integral para abordar problemas de salud a nivel regional, nacional y mundial.
- El análisis del contexto coyuntural nacional que permita identificar algunos elementos relevantes útiles para la propuesta y elaboración preliminar de estrategias de política científica y tecnológica para fortalecer y consolidar la Medicina Genómica en México.
- Asimismo, se observa que es necesario crear nuevas instituciones, o modificar las existentes a fin de vincular provechosamente a los científicos con la industria y con los

³¹ En 2001, el gasto total en salud en México representó el 5.7% del PIB. De este porcentaje, las contribuciones federales para la atención a la salud fueron de aproximadamente \$4,600 mdd, es decir, 43,450,217,600 pesos mexicanos. (Jiménez, 2003)

creadores de política científica y tecnológica de la Genómica en México, así como generar estrategias dirigidas a la conformación de redes de innovadores de la Medicina Genómica, a nivel nacional y mundial e invertir en Infraestructura y en desarrollar cuadros profesionales altamente capacitados.

- Desarrollar aprendizaje organizacional mediante redes de innovadores:
 - El enfoque de redes permite incorporar diversas partes complementarias y de reciente desarrollo de análisis y aspectos de innovación.
 - Las redes son una forma privilegiada de innovar. Sí la innovación consiste en nuevas combinaciones tecnológicas, las redes proporcionan la flexibilidad con la cual explotar las oportunidades para la recombinación de varios componentes.
 - Las redes inter-empresa proporcionan un medio de recombinación que da ventajas diferentes a las ventajas de las empresas individuales.
 - Las redes son una forma necesaria para garantizar el éxito de una innovación. El enfoque de redes permite generar conocimiento colectivo para establecer normas públicas y estándares de nuevos mercados
 - Las redes inter-empresa son intensivas en transacciones. Cierta tipo de vínculos inter-organizacionales también se apropian de transacciones tecnológicas, en particular de las innovaciones ya desarrolladas.
 - Las redes pueden involucrar relaciones formales y explícitas contractuales, pero no pueden reducirse a contratos de cláusulas de contingencia debido a que la contingencia es impredecible.

Capítulo 3

Trayectorias del cambio tecnoeconómico de la Medicina Genómica

La presente investigación radica en identificar y establecer relaciones entre componentes que integran y definen el paradigma tecnoeconómico de la medicina Genómica.

A partir del análisis de la composición del progreso de la triada ciencia-técnica-tecnología, se presenta a continuación una serie de relaciones que fundamentadas en la teoría evolucionista permiten caracterizar mediante el análisis estadístico y multivariado de datos, la exploración y estudio del paradigma tecnoeconómico de la Medicina Genómica.

El presente capítulo tiene dos propósitos:

- 1) Demostrar la hipótesis de la presente investigación que aporte a la construcción teórica sobre la dinámica de la evolución de la medicina Genómica.
- 2) Identificar y establecer recomendaciones sobre política y gestión del cambio tecnológico al ámbito de la Medicina Genómica, que se presenta en el capítulo 4.

No obstante el alcance de la investigación se limita al estudio de las siguientes variables:

- a) Tipos de lineamientos, a nivel organizacional y estructural, de las empresas del campo de la Genómica,
- b) Redes de innovadores,
- c) Colegios invisibles,
- d) Tendencias y patrones considerando el estado del arte, y

e) Dinámica innovadora.

A partir de la caracterización de las variables antes mencionadas se pretende demostrar que, la dinámica del cambio tecnológico de la Medicina Genómica, se manifiesta en constelaciones agrupadas de innovaciones radicales, formando irrupciones sucesivas y distintas las cuales alteran el ámbito de la medicina tradicional y se esperan valiosos e insólitos tratamientos, terapéuticos o curas contra el cáncer, diabetes, enfermedad de Alzheimer y otras enfermedades. Significa además que los desarrollos tecnocientíficos en torno al genoma humano, como el que estamos viviendo, puntualiza el inicio del periodo de instalación de la revolución de la Medicina Genómica en la configuración de su paradigma que se propagará por toda la economía, trayendo consigo cambios estructurales en la economía de la salud, y cambios cualitativos profundos en la sociedad. Como toda revolución tecnológica, su proceso evoluciona desde pequeños brotes, en sectores y regiones geográficas restringidas, hasta terminar incluyendo la mayor parte de las actividades del país o países núcleo, difundiéndose hacia periferias cada vez más lejanas, según la capacidad de la infraestructura.

Advirtiendo e infiriendo que el esfuerzo por identificar oportunamente la gestación de cambios de paradigmas, revierte especial importancia en torno a:

- Estrategia por futuros deseados. Un cambio de paradigma germina ventanas de oportunidad, necesarias desde la óptica capitalista para adelantarse y dar alcance a la competencia por el desarrollo y el crecimiento económico. Suponiendo además que las revoluciones terminan por empujar a las economías de los países centrales hacia niveles más alto de productividad.
- Liderazgo de acción positiva en base a construir visión estratégica en torno a políticas pública de la ciencia, la tecnología, y el desarrollo industrial; a fin de diseñar a tiempo las acciones requeridas para aprovechar las oportunidades que estén por ocurrir.
- Identificar el conjunto de lineamientos de prácticas óptimas, bajo la forma de un paradigma tecnoeconómico capaz de romper con los hábitos existentes en tecnología, economía, visión estratégica y en las instituciones³².
- Elevados ratios de cambio científico y tecnológico

³² Chandler precisa que la estrategia no se adapta a la estructura.

- Efectividad de investigadores de alto nivel en el país
- Impacto en el bienestar de la población
- Base importante de actividad económica en los sectores que harán uso de las innovaciones
- Evitar dependencia tecnológica del exterior
- Oportunidades para la creación de nuevas empresas de base tecnológica

3.1. Del Proyecto del Genoma Humano (PGH) al ambiente innovador de la Medicina Genómica

El Proyecto Genoma Humano (PGH) consiste en mapear todos los nucleótidos o pares de bases e identificar los 30.000 a 35.000 genes presentes en él.

El PGH dotado con 3.000 millones de dólares, fue fundado en 1990 por el Departamento de Energía y los Institutos de la Salud de los Estados Unidos, con un plazo de realización de 15 años. Debido a la amplia colaboración internacional y a los avances en el campo de la Genómica, especialmente el análisis de secuenciación, así como los avances en la Bioinformática (ver siguiente sección), un borrador inicial del genoma³³ fue terminado en el año 2000, dos años antes de lo planeado. El consorcio estaba compuesto por 20 organizaciones (privadas o institucionales) de 6 países (Estados Unidos, Francia, Alemania, China, Japón, Reino Unido).

El desarrollo de la tecnología, además de permitir la secuenciación dos años antes de lo esperado, permitió que este resultado se lograra a un coste menor del original esperado, ya que se calculaba que se secuenciarían 500 Mb por año con un coste de 0,25 dólares por base terminada, y finalmente fueron 1.400 Mb por año a 0,09 dólares

El PGH es complejo, puesto que todo ser humano posee un genoma diferente (excepto en el caso de los gemelos idénticos). El objetivo inicial del PGH fue determinar los 3 mil millones de pares

³³ El genoma no analiza la diversidad genética o el polimorfismo de los genes de una especie. Por ejemplo, en el genoma humano la secuencia en principio podría ser determinada con sólo la mitad del ADN de una célula de un individuo. Para conocer una variación particular o en enfermedades se requiere la comparación entre individuos.

de bases en el genoma humano, e identificar todos los genes en esta gran cantidad de datos. El PGH incentivó el desarrollo rápido de métodos eficientes para secuenciar los aproximadamente cien mil genes del ADN y la tecnología de secuenciación, transfiriendo esta tecnología a la industria.

Otro objetivo consiste en disponer toda esta información en bases de datos de libre acceso y, desarrollar herramientas para facilitar el análisis de esta información, y trabajar los aspectos éticos, legales y sociales

Sin embargo el trabajo de interpretación del genoma no ha hecho nada más que empezar, ya que los beneficios de conocer e interpretar el genoma se esperan fructíferos en los tratamientos o curas de cáncer, diabetes, enfermedad de Alzheimer y otras enfermedades. El procedimiento implica reemplazar, manipular o suplementar los genes no funcionales, con genes funcionales. En esencia la terapia génica es la introducción de genes en el ADN de una persona para tratar enfermedades. La posible creación de fármacos "a medida" del enfermo Terapia génica y Farmacogenómica.

En cuanto al diagnóstico y prevención de enfermedades los "test génicos" ya son una realidad en el mercado. Un test genético o prueba genética es un procedimiento bioquímico analítico-experimental, que provee información de interés para la medicina clínica. Permite, entre otros fines, determinar la predisposición de un sujeto a desarrollar una variedad de enfermedades.

Son pruebas basadas en el ADN, y son casi el primer uso comercial y de aplicación médica de los nuevos descubrimientos en genética. Estos test pueden ser usados para el diagnóstico de enfermedades, confirmación diagnóstica, información del pronóstico así como del curso de la enfermedad, confirmar la presencia de enfermedad en pacientes asintomáticos y, con variados grados de certeza, predecir el riesgo de enfermedades futuras en personas sanas y en su descendencia.

El análisis de semejanzas entre secuencias de ADN de diferentes organismos posibilita nuevas brechas en el campo de la evolución humana. En muchos casos, preguntas de ciencia la *ciencia normal* que permanecían sin respuesta pueden ser ahora estudiadas o contestadas en términos de biología molecular.

Avances científicos relevantes

El genoma es todo el material genético contenido en los cromosomas de un organismo en particular, y que en el caso del ser humano, su genoma posee 3.000 millones de nucleótidos, y se refiere sólo al ADN cromosómico. Además el genoma no analiza la diversidad genética o el polimorfismo de los genes de una especie. Por ejemplo, en el genoma humano la secuencia en principio podría ser determinada con sólo la mitad del ADN de una célula de un individuo, y sin embargo para conocer una variación particular o en enfermedades se requiere la comparación entre individuos. Este avanzar del conocimiento científico y tecnológico comprende un proceso histórico con patrones evolutivos enunciados a continuación:

- 1866 Se publican las Leyes de la herencia de Gregor Mendel en *Proceedings of the Natural History Society of Brunn*.
- 1868 Friedrich Miescher, biólogo suizo, identifica el ADN nuclear, nucleína.
- 1901-1903 Se publica *Mutationstheorie* de Hugo de Vries.
- Albrecht Kossel descubrió los ácidos nucleicos. A este bioquímico alemán le fue otorgado el Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1910 por sus contribuciones en el desciframiento de la química de ácidos nucleicos y proteínas, descubriendo los ácidos nucleicos, bases en la molécula de ADN,
- 1950 Alfred Hershey y Marta Chase usan virus para confirmar que el ADN es el material genético.
- 1951 Primera proteína secuenciada: insulina.
- 1953 James Watson y Francis Crick desentrañaron la estructura en doble hélice de la molécula del ácido desoxirribonucleico (ADN).
- 1956 Se descubre el número total de cromosomas en el ser humano, por los investigadores Albert Levan y Joe Hin Tjio.
- 1958 Los franceses Jerome Lajeune, M. Gautier y R. Turpin, descubren la trisomía del par 21 como causante del síndrome de Down.
- 1960 Determinación del código genético.
- 1970 Nathans y Smith descubren las enzimas de restricción, enzima que puede cortar el ADN en lugares específicos.

- 1973 Los investigadores Stanley Cohen y Herbert Boyer producen el primer organismo recombinando partes de su ADN en lo que se considera el comienzo de la ingeniería genética.
- 1977 Secuenciación del ADN.
- 1978 Publicación en la revista *Science* de la primera secuenciación de un genoma, el del virus del simio 40 (SV40) con 5.226 nucleótidos.
- 1975-1979 Primeros genes humanos aislados.
- 1982 Fabricación del primer fármaco basado en tecnología de ADN-recombinante.
- 1985 Kay Mullis inventa la reacción en cadena de la polimerasa.
- 1988 Se crea la Organización del Genoma Humano Human Genome Organisation (HUGO).
- 1995 Primer genoma completo: *Haemophilus Influenzae*.
- 1999 Primer cromosoma completo: el 22.
- 2000 Marzo - Publicación del genoma completo de la *Drosophila melanogaster* gracias al consorcio público y la compañía Celera Genomics. Alberga alrededor de 13.600 genes.
- 2001, el Proyecto de Genoma Humano y Celera Genomics publican, simultáneamente, su decodificación del genoma humano (en *Nature* y *Science*, respectivamente).
- 24 de abril 2003 Se completa la secuencia del genoma humano.
- En abril de 2004, se crea un catálogo de aproximadamente el 75% de los genes que se cree posee el genoma humano.
- El 22 de abril de 2004, en Japón crearon un ratón sólo con el ADN de dos hembras (partenogénesis). Para fecundar un ratón necesitaron sólo dos óvulos [2]
- 22 de agosto de 2005 - Científicos de la Universidad de Harvard, Estados Unidos, unen una célula de la piel con una célula troncal embrionaria, avance que podría derivar en la creación de células troncales útiles sin tener que crear o destruir embriones humanos.

El comportamiento de la evolución científica de la biología genética ha sido un proceso continuo de transformación de la ciencia y la técnica a través de cambios tecnológicos producidos y reflejados en el estado del arte del paradigma de la ciencia Genómica.

3.2. Trayectorias tecnológicas de la Medicina Genómica

La Medicina Genómica se ha desarrollado en los últimos diez años y, es a consecuencia del descubrimiento del mapa del código genético humano y, a los avances de la biología molecular e Informática. La conjunción de biología molecular e informática son dos áreas de la ciencia fáctica, que han tenido un desarrollo tecnocientífico formidable, generando una revolución en el conocimiento y en la comprensión de los tres mil millones de letras químicas denominado genoma – que es la secuencia química que contiene la información básica de un organismo humano- (ver glosario).

La irrupción de este paradigma señala una división de tres grandes subdisciplinas dominantes, que desde nuestra perspectiva hipotética abre *ventanas de oportunidad* necesarias para adelantarse y para dar alcance en la carrera del desarrollo de la medicina Genómica. Nos referimos a las subdisciplinas siguientes:

- Genómica Estructural, que se ocupa de la caracterización física de genomas enteros.
- Genómica Funcional, que caracteriza el transcriptoma, que está constituido por el conjunto completo de transcriptos, producidos por un organismo, el proteoma o conjunto de proteínas codificadas por un genoma, y el metaboloma o conjunto total de metabolitos de una célula, consecuencia de la función de los RNA y proteínas.
- Bioinformática, intenta dar sentido a la información derivada de las técnicas anteriormente descritas. La importancia de esta ciencia resulta obvia cuando se considera que los genomas poseen miles de millones de pares de bases.

Previamente en el capítulo dos se precisó que un paradigma tecnoeconómico pretende definir la naturaleza de la actividad innovadora y trata de captar algunas características comunes de los procedimientos y la dirección del cambio técnico. Y se refiere a las actividades relacionadas para dar solución a problemas que contempla formas tácitas de conocimientos individuales y colectivos u organizacionales. Es decir, plantea como hacer las cosas y como mejorarlas. En tanto, nuestro concepto de trayectoria tecnológica se asocia con el desarrollo progresivo de las oportunidades de innovación relacionadas con cada paradigma.

Para corroborar nuestra hipótesis, se plantean las siguientes interrogantes: ¿Existe un patrón en la investigación y desarrollo experimental en torno a la Genómica Estructural y Funcional, y Bioinformática que pueda explicar trayectorias de conocimiento acumulativo? y; ¿A qué se debe el aparente éxito en la obtención de conocimientos del genoma humano?

Por tanto pretendemos caracterizar este periodo de instalación que involucra el proceso de irrupción y conformación del paradigma de la Medicina Genómica. La caracterización revela resultados y hallazgos a partir de la aplicación de análisis bibliométrico³⁴ de los resultados de la investigación y desarrollo experimental, y de la forma en cómo se articulan las trayectorias de la Genómica Estructural, Genómica Funcional, y Bioinformática. La configuración de análisis y solución a la constitución de trayectorias, que instalan el paradigma de la medicina Genómica, comprende el orden siguiente:

- Descripción de fuentes de información. El problema de la innovación consiste en procesar y convertir la información de diversas fuentes, en conocimiento útil, relacionado al diseño, fabricación y venta de nuevos productos y procesos. Las redes de científicos y tecnólogos han mostrado ser esenciales tanto en la adquisición y en la transformación de estos insumos.
- Dinámica de la actividad tecnocientífica. Nos referimos a la magnitud respecto al tiempo de la productividad científica y tecnológica;
- Identificación de nuevos contenidos. La caracterización de nuevos contenidos derivados del estado del arte, su adsorción y difusión en el ámbito tecnocientífico posibilitan la reproducción extensiva trascendiendo a la generación y síntesis de nuevo conocimiento de tipo científico, técnico y tecnológico. De ahí la importancia de codificar el conocimiento a través de su huella digital, denominado *metadata* del conocimiento.
- Grupos de trabajo y redes de inventores. El concepto de grupos de trabajo asociado a redes involucran a los actores y sus relaciones. Las redes se ha convertido en un

³⁴ Es la aplicación de los métodos estadísticos y matemáticos dispuestos para definir los procesos de la comunicación escrita, la naturaleza y, el desarrollo de las disciplinas científicas mediante técnicas de recuento y análisis de dicha comunicación. El tratamiento y manejo de la literatura científica por medios cuantitativos de recuento y análisis sirve no solo para analizar el volumen de publicaciones, la productividad de autores, revistas ó materias, sino también en un sentido más amplio, para el conocimiento de los procesos y la naturaleza de las ciencias, como es el caso del presente estudio.

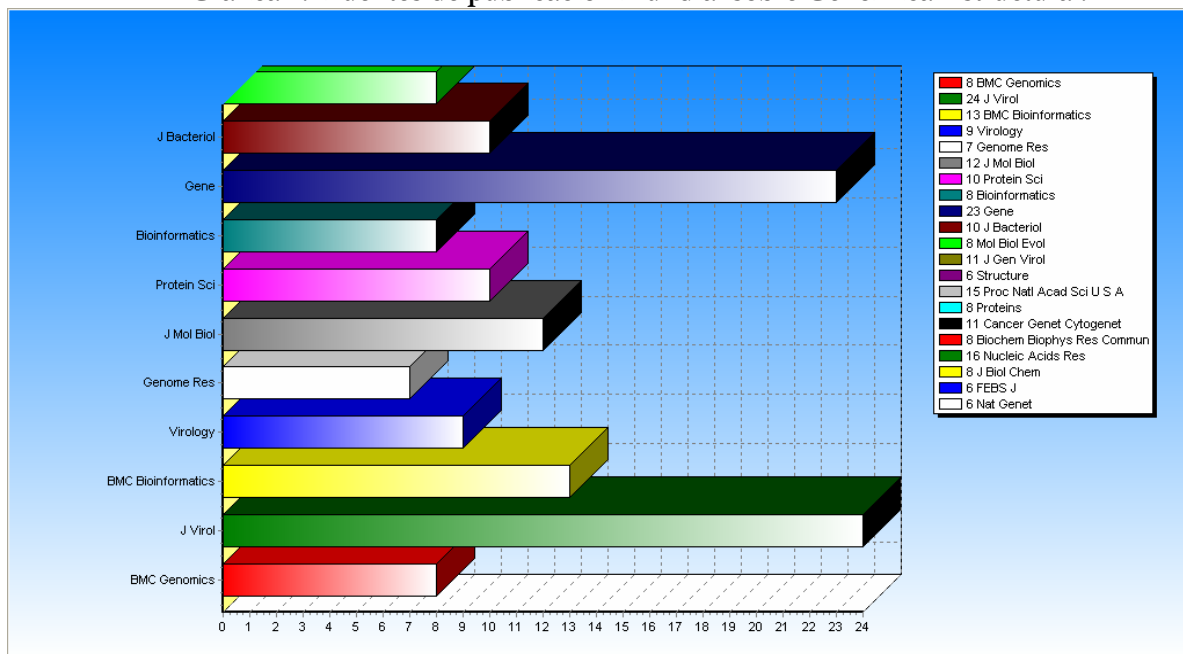
instrumento para interpretar las relaciones existentes entre los diversos actores, identificando los flujos de información y de conocimiento, los intereses, las influencias de poder, las formas de cooperación inter- e intra-firma, los vínculos proveedor-usuario.

3.2.1. Trayectoria de la Genómica Estructural

¿Existe un patrón en la actividad científica en torno a la Genómica Estructural que pueda explicar trayectorias de conocimiento acumulativo?

- a) Fuentes de información. El estudio de la actividad tecnocientífica de la Genómica Estructural incluye el análisis de 712 artículos publicados en revistas arbitradas a nivel mundial, entre las que destacan: *Nucleic Acid Research, Gene, Journal Virology, Cancer Genetic Citogenetic, Virology, Natural Genetics, Genome Research, Genetics, Genomics* entre otras, ver gráfica 2.

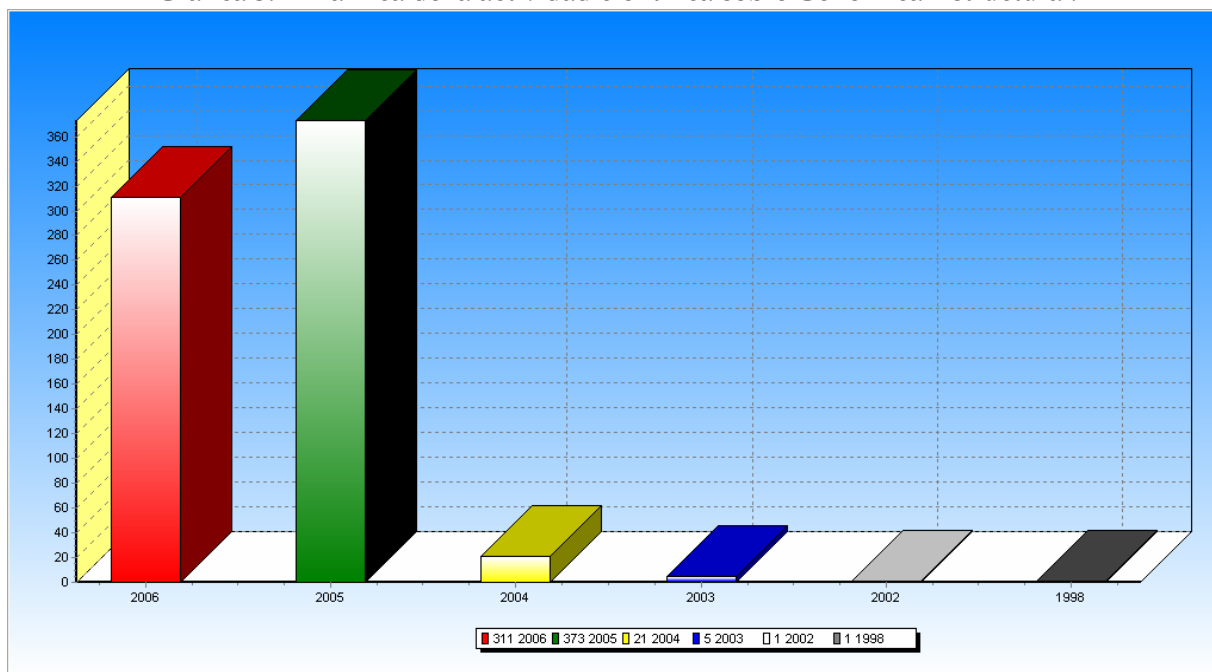
Gráfica 2. Fuentes de publicación mundial sobre Genómica Estructural.



Fuente: Elaboración Propia

b) Dinámica de la actividad científica. La dinámica de la actividad científica, cuyo patrón de tendencia se observa claramente en la gráfica 3, incipientemente inicia en 1999 reportando dos publicaciones. No obstante es evidente el crecimiento exponencial que suman 684 únicamente durante el periodo que comprende 2005-2006, y que representa el 95% del total de la producción científica mundial hasta agosto de 2006. En el 2004 con una producción marginal de 21 publicaciones.

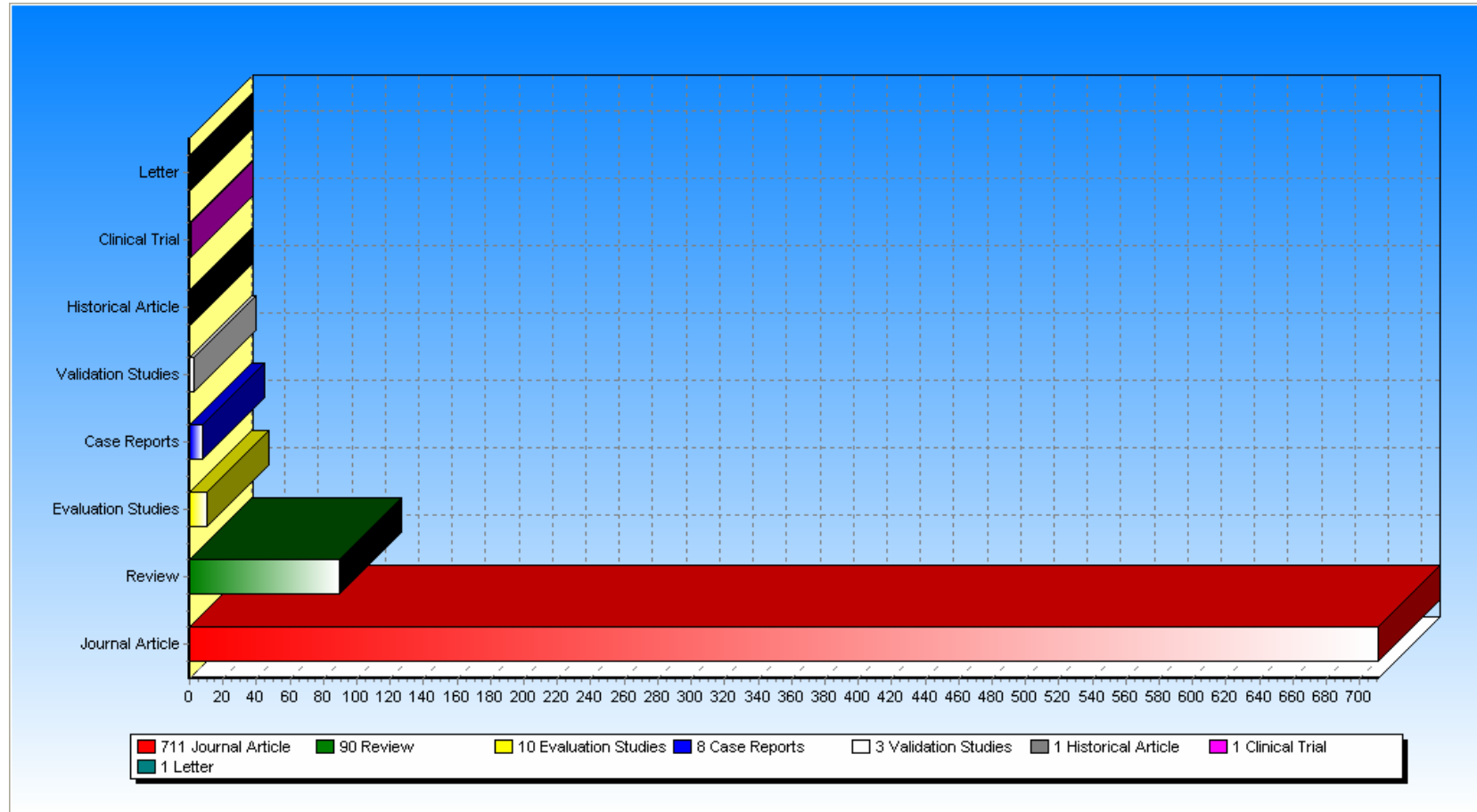
Gráfica 3. Dinámica de la actividad científica sobre Genómica Estructural.



Fuente: Elaboración Propia

El tipo de publicaciones científicas comprenden en su gran mayoría artículo de revista, evaluación de estudios, validación de estudios, reportes de casos. En la gráfica 4 se observa su nivel de intensidad.

Gráfica 4. Tipo de Publicaciones de la Genómica Estructural.



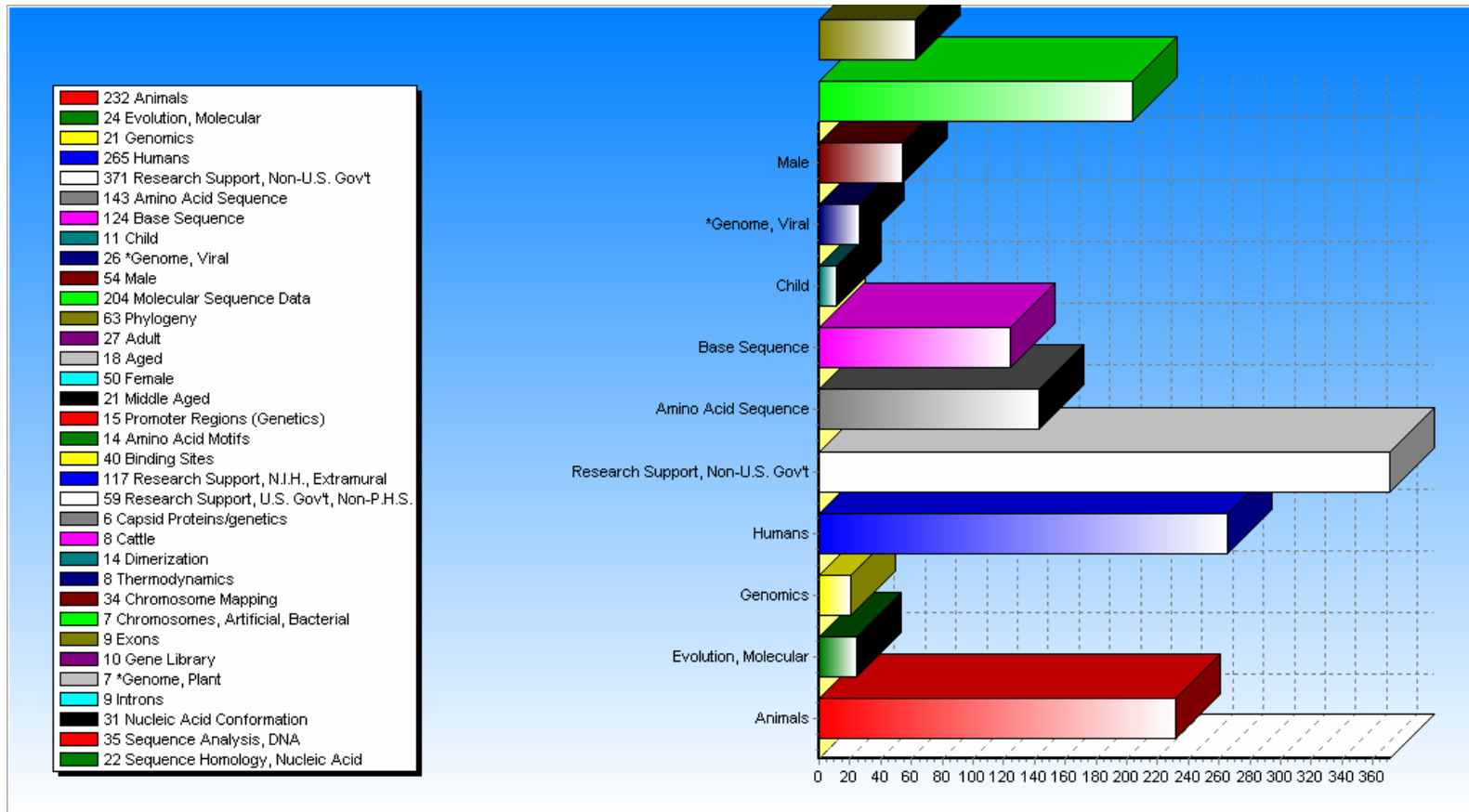
Fuente: Elaboración Propia

- c) Identificación de nuevos contenidos. El avance de la Genómica Estructural, al igual que cualquier otro campo de conocimiento científico, se caracteriza por la evolución de nuevos contenidos. La caracterización de contenidos, su adsorción y difusión en el ámbito científico posibilitan la reproducción extensiva trascendiendo a nuevo conocimiento tecnocientífico. De ahí la importancia de codificar el conocimiento a través de su huella digital o metadata del conocimiento.

En función de la huella digital del conocimiento es posible identificar su evolución. Frecuentemente emerge nuevo conocimiento el identificarlo a tiempo significa precisamente establecer señales tempranas, que afianzan la toma de decisiones en materia de política científica y tecnológica. En el ámbito tecnocómico es estratégico identificar a tiempo la emergencia de nuevos campos y/o disciplinas científicas pues en esto se fundamenta el crecimiento y desarrollo de las economías intensivas en conocimiento. La gráfica 5 muestra el patrón e intensidad de contenidos sobre Genómica Funcional, entre los que destacan los siguientes:

- Evolución Molecular
- Secuencia de Amino Ácidos
- Mapeo cromosómico
- Regiones promotoras
- Bancos de Genes
- Secuencia de Análisis del DNA
- Conformación de Ácido Nucléico
- Secuencia Homóloga de Ácido Nucléico
- Dimerización
- Filogenia.
- Etc.

Gráfica 5. Caracterización de nuevos contenidos sobre Genómica Estructural.



Fuente: Elaboración Propia

d) Grupos de Investigación Conformados al Interior de Grandes Empresas. Previamente hemos advertido que el concepto de grupos de trabajo asociado a redes, involucran a los actores y sus relaciones. Las redes se ha convertido en un instrumento para interpretar las relaciones existentes entre los diversos actores, identificando los flujos de información y de conocimiento, los intereses, las influencias de poder, las formas de cooperación *inter e intra* firma, los vínculos proveedor-usuario.

En el presente análisis se han identificado empresas y organizaciones gubernamentales líderes mundiales en investigación y desarrollo tecnológico sobre Genómica Estructural, destacando las siguientes por su elevado dinamismo patentador: (ver gráfica 6)

- Affimetryx Inc (US)
- Applera Corp (US)
- Millennium Pharm Inc (US)
- Univ Johns Hopkins (US)
- Incyte Pharma Inc (US)
- Genetech Inc (US)
- Pasteur Inst (FR).
- Aventis Behring GMBH (DE)

Un componente fundamental del presente estudio incorpora a la dinámica de desarrollo tecnológico, hallazgos significativos, que comprenden la existencia de grupos de investigación conformados al interior de las grandes instituciones. Se identificaron 113 grupos de colaboración, entre los que destacan los representados por la Universidad Johns Hopkins (US), Universidad de California (US), Genset (FR), Centro Nacional de Investigación Científica de Francia (FR) solo por citar algunos (ver Gráfica 7).

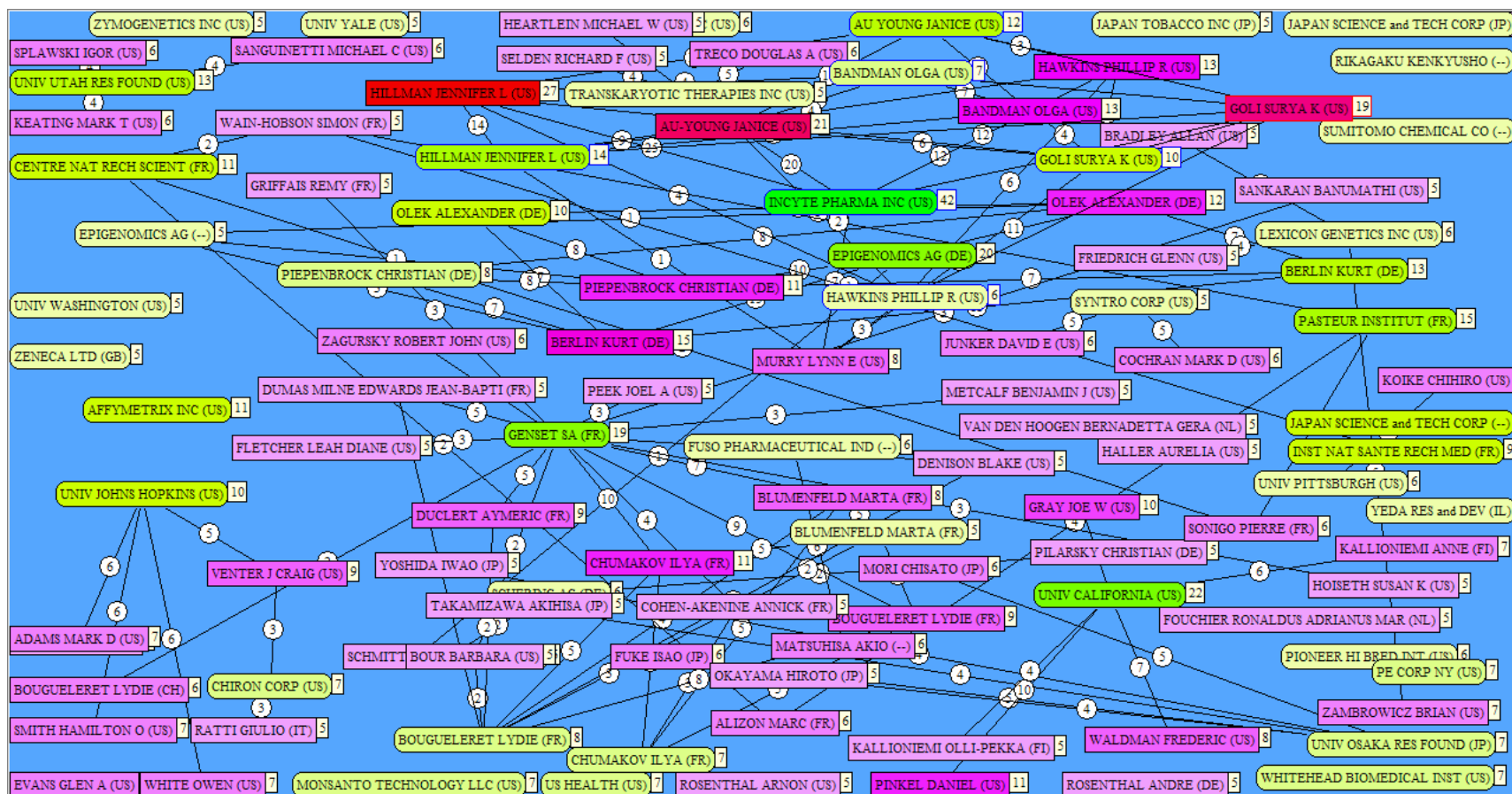
En resumen se observa una creciente visibilidad de la Genómica Estructural, avalada por el incremento experimentado por el número de publicaciones, la tendencia a publicar en revistas de mayor factor de impacto y el creciente papel de la colaboración internacional.

¿A qué se debe el aparente éxito en la obtención de conocimientos de la Genómica Estructural?

El aparente éxito en la obtención de conocimientos científicos sobre la estructura de un genoma humano individual radica esencialmente en la utilidad para manipular genes y segmentos de ADN en una especie particular. El análisis científico comparativo entre diferentes genomas posibilita deducir reglas generales que gobiernan la estructura de todos los genomas.

El análisis en torno a la caracterización de nuevos contenidos nos permite argumentar que la trayectoria de la Genómica Estructural ha sido posible a la aplicación de técnicas de resolución analítica, comenzando con la asignación de genes y marcadores a cromosomas individuales, mapeando estos genes y marcadores dentro de los cromosomas, finalizando con la preparación de un mapa físico a través de la secuenciación. Al respecto los desarrollos desde un mapeo genético de baja resolución, basado en el análisis de recombinación meiótica, hacia uno de alta resolución, basado en marcadores moleculares, llegando a la realización de un mapa físico, basado en la secuencia de fragmentos clonados parcialmente solapantes.

Gráfica 7. Grupos de investigación y desarrollo en Genómica Estructural.



Fuente: Elaboración Propia

Técnicas de Mapeo

En relación a la las metodologías y técnicas, se identifican del análisis bibliométrico las siguientes:

- Mapeo cromosómico de baja resolución (ubicación de genes que producen fenotipos mutantes conocidos y algunos marcadores). Las distancias genéticas se basan en frecuencias de entrecruzamientos («crossing overs») y son medidas como porcentaje de recombinación en centiMorgans (cM).
- Mapeo genético de alta resolución de cada cromosoma (con marcadores moleculares ubicados muy próximos entre sí).
- Mapeo físico, basado en distancias moleculares, resultantes de mapas de fragmentos de restricción parcialmente superpuestos. La distancia entre dos marcadores puede ser medida determinando el tamaño de los fragmentos de restricción que los contienen, siendo el fragmento más pequeño que lleva ambos marcadores una estimación de la distancia entre ellos. Utilizando combinaciones de sondas y enzimas de restricción puede construirse un mapa físico determinando qué fragmentos poseen marcadores en común. Las distancias físicas se miden en kilobases (Kb) o megabases (Mb).
- Anclado del mapa genético en el mapa físico.
- Secuenciación de ADN a gran escala, que brinda un mapa completo de cada cromosoma.
- Anclado del mapa genético y del mapa físico en el de secuencia.

Asignación a cromosomas específicos

Para la asignación de loci a cromosomas específicos, se identificaron la utilización preponderante de los siguientes métodos de análisis científico:

- 1) Ligamiento a loci conocidos: análisis tradicional basado en cruzamientos, en especies en las que es factible hacerlo.
- 2) Electroforesis de campo pulsátil: se usa en el caso de especies que poseen cromosomas pequeños, separables por esta técnica, como sucede con los de levaduras. Las bandas en el gel corresponderían a cromosomas individuales y pueden utilizarse para localizar nuevos genes por hibridación. Primero, utilizando sondas de localización conocida se establece que

banda corresponde a cada cromosoma. Luego, un nuevo gen clonado de ubicación desconocida se utiliza como sonda para asignarle una posición en un cromosoma determinado.

- 3) Híbridos celulares interespecíficos. Se utiliza exclusivamente en mapeo del genoma humano o de especies animales. Se establecen bancos de líneas celulares que contengan todos los cromosomas del roedor y un cromosoma humano particular. Siempre incluye un cromosoma humano que lleva un alelo salvaje defectivo para una función bioquímica determinada en el genoma del ratón. Si sobreviven en un cultivo deficiente para el factor que no sintetizan es porque llevan el alelo humano equivalente, que complementa la función faltante.

Secuenciación a gran escala

Para la secuenciación a gran escala del genoma, se han articulado una serie de desarrollos, tales como:

- Generación de bancos de EST (etiquetas de secuencias expresadas). La complejidad de los genomas eucariotas hace aconsejable, como primera aproximación, no abordar el estudio del genoma completo. Es preferible estudiar sólo una fracción del mismo, es decir, aquellos genes que se están expresando en un momento determinado de la vida del organismo. Para ello se obtienen poblaciones de ADNc (que reflejan sólo secuencias expresadas) que se secuencian de forma masiva para generar miles de secuencias parciales conocidas como ESTs . Estas secuencias de entre 300-500 pb suelen ser suficientes para la identificación de los genes mediante comparación con las secuencias existentes en las bases de datos públicas (ej. Genbank, EMBL), utilizando para ello programas de análisis informático. Si la información contenida en la secuencia parcial no es suficiente, habría que determinar la estructura del ADNc completo para estudiar su función por otros métodos.
- Secuenciación Genómica. La aproximación anterior no permite identificar genes que se expresan a bajo nivel o en situaciones fisiológicas no consideradas o regiones no representadas en el ARNm. Para obtener esta información debe secuenciarse el genoma completo. Para ello, el ADN genómico total se digiere con enzimas de restricción apropiadas o se fragmenta mecánicamente para generar fragmentos de gran tamaño (100-300 kb), que se clonan en

vectores apropiados, para construir genotecas que contienen, al menos, una representación completa del genoma, que puede estudiarse en detalle y secuenciarse. A fin de distinguir las regiones codificantes para genes, que en muchos organismos representan un porcentaje bastante pequeño del genoma, de las no codificantes, las secuencias se comparan con las secuencias de ESTs y ADNc previamente estudiadas.

a) Secuenciación de los clones y ensamblado de los fragmentos

El clonado comienza obteniendo un número elevado de fragmentos al azar que se clonan en un vector apropiado. En la preparación de mapas físicos de genomas se utilizan vectores como los cósmidos, los YAC, los BAC y los PAC, que aceptan insertos de gran tamaño (ver II.-3). El contenido de estos clones se caracteriza y se ordenan, buscando los puntos de solapamiento o superposición. Un conjunto de clones solapantes se llama contiguo (contig) para establecer el solapamiento de clones al azar se secuencian regiones cortas del inserto proximales al sitio de clonado utilizando primeros posicionados en el vector.

Se utilizan varias técnicas para ordenar los clones en contiguos. Entre ellas:

- FISH: para localizar las posiciones aproximadas de insertos grandes.
- Fenotipificación (*fingerprinting*): se corta el clon con enzimas de restricción que generan un grupo de bandas que representan un *fingerprint* o «huella digital» del clon. Las bandas generadas por varios clones pueden alinearse visualmente o por un programa de computación para determinar si se superponen o solapan.
- STS (*sequence tag sites* o sitios de secuencia marcada): son fragmentos clonados para llegar al siguiente (primer walking). A medida que se van caracterizando los clones, los contiguos se alargan y van convergiendo unos con otros.
- El proyecto termina cuando se tiene un conjunto de contiguos que equivale al número de cromosomas de la especie en estudio.
- Todos los estadios del análisis genómico como la preparación de clones, el aislamiento de ADN, la electroforesis y la secuenciación han sido bien adaptados a diferentes máquinas o robots, automatizando el trabajo.

b) Ordenamiento de los clones

Se utilizan varias técnicas para ordenar los clones en contiguos. Entre ellas:

- FISH: para localizar insertos en las posiciones aproximadas de insertos grandes
- FENOTIPIFICACIÓN (*fingerprinting*): se corta el clon con enzimas de restricción que genera un grupo de bandas que representan un *fingerprinting* o huella digital del clon. Las bandas generadas por varios clones pueden alinearse visualmente o por un programa de computación para determinar si se superponen o se traslapan.
- STS (*sequence tag sites*): son secuencias cortas de insertos grandes clonados. Se reúne un conjunto de clones al azar y se cortan en fragmentos más pequeños que se clonan en . y se secuencian pequeñas regiones de cada uno. Para ello se diseñan primers que amplifican una secuencia corta de ADN (STS).

Utilización de mapas genómicos para el análisis genético

Los mapas genéticos y los mapas físicos son un importante punto de partida para varios tipos de análisis genético, incluyendo el aislamiento de genes y Genómica Funcional. Por ejemplo:

- a. Aislamiento de genes por clonado posicional. Para ubicar un gen cuya secuencia se desconoce se puede partir de un marcador conocido que esté estrechamente ligado al mismo. Este marcador actúa como punto de partida para el procedimiento de caminado cromosómico (*chromosome walking*), por el cual los fragmentos finales del marcador ligado son utilizados como sondas para seleccionar otros clones de la genoteca. Del segundo grupo de clones (los que solapan con el inicial) se hacen mapas de restricción y los fragmentos obtenidos son utilizados para hacer una nueva ronda de selección de clones superpuestos. Así el proceso de «caminado» se mueve hacia ambos lados a partir del sitio inicial, que culmina cuando se llega al gen de interés. Existe otra técnica relacionada llamada salto cromosómico, que permite saltar a través de áreas distantes y potencialmente no clonables del ADN y genera «marcas», ampliamente espaciadas a lo largo de la secuencia, que pueden utilizarse como puntos de inicio para múltiples caminatas cromosómicas bidireccionales. Esta técnica consiste en crear fragmentos grandes (entre 80-

150 kb) por restricción del ADN en la región que se cree contiene al gen de interés. Cada fragmento de ADN es luego circularizado, poniendo en contacto los extremos libres. Este procedimiento acerca puntos relativamente distantes de la región de genoma en estudio. Se trata de generar en esa unión un sitio que no sea cortado en una posterior restricción, de manera que esas dos regiones que estaban distantes en el genoma ahora estén unidas en un fragmento. El círculo se corta con una nueva enzima de restricción y los fragmentos obtenidos, entre los que se encuentran los sitios de unión, se clonan en fagos.

Esto es lo que se llama una “genoteca de saltos”. Una sonda del sector de comienzo de la región que contiene al gen de interés puede utilizarse como punta de partida para comenzar a «saltar» por el genoma. Un salto puede, por ejemplo, avanzar unos 50 kb hacia el locus de interés. Una vez allí, el otro extremo de la unión del fragmento inicial se corta y se usa para buscar el siguiente punto de salto en la genoteca, o sea que, a través de las uniones se va avanzando hacia el punto donde se encuentra el locus. Cada posición de salto es un punto de partida para una caminata cromosómica. Estas regiones se van secuenciando. Allí comienza la búsqueda de genes utilizando programas de predicción y se seleccionan las secuencias candidatas. Esta estrategia de saltos se utilizó para clonar el gen de la fibrosis quística, que es una enfermedad humana que resulta fatal y es causada por mutaciones en gen de gran tamaño localizado en el cromosoma 7.

- b. Estrategia del gen candidato. La caracterización de una región cromosómica hace que aparezcan varios genes de función desconocida. Si un gen de interés es mapeado en esa región, estas secuencias pasan a ser «candidatas». Para cada una de ellas, o para la más probable de acuerdo al análisis de secuencia, se diseñan experimentos tendientes a determinar en cuales tejidos se expresa, en qué condiciones, etc., utilizando *Northern blot* ó RT-PCR. Si el patrón de expresión encontrado coincide con el patrón esperado es altamente probable que hayamos encontrado el gen de interés. El experimento ideal para confirmar esto, sería la transformación de un individuo mutante para esta función con el gen normal. Si se produce la reversión del fenotipo mutante (complementación), tendremos la prueba irrefutable de que estamos frente al gen buscado.
- c. Genes con patrones complejos de herencia: no todos los genes muestran patrones simples de herencia. Puede suceder que:

La variación fenotípica sea cuantitativa. Como peso o altura, este tipo de variación se debe a la interacción acumulativa entre alelos + y – de varios genes y el ambiente.

La disponibilidad de miles de marcadores moleculares como los SSLP, dispuestos a lo largo del cromosoma, ha posibilitado el mapeo de algunos de estos genes que contribuyen a la variación cuantitativa cuyos loci son llamados QTL (*quantitative trait loci*).

Para abordar este problema, se buscan dos tipos de líneas que muestren fenotipos contrastantes para un carácter cuantitativo y se cruzan para generar descendencia homocigota que contenga solo un segmento o un pequeño número de segmentos de una de las líneas. Se realizan cruza y retrocruza y se obtienen líneas endocriadas recombinantes (RIL). Estos individuos pueden caracterizarse por su fenotipo y puede estimarse la contribución de los segmentos específicos a la variación observada. (ver IV.2)

En el futuro, el análisis de SNP (polimorfismos de un nucleótido simple) promete acelerar el mapeo de caracteres complejos. Nuevos enfoques de mapeo de QTL y QTN (*quantitative trait nucleotide*) están disponibles. El concepto emergente es la posibilidad de explorar directamente la variación dentro de genes y no a través de marcadores anónimos.

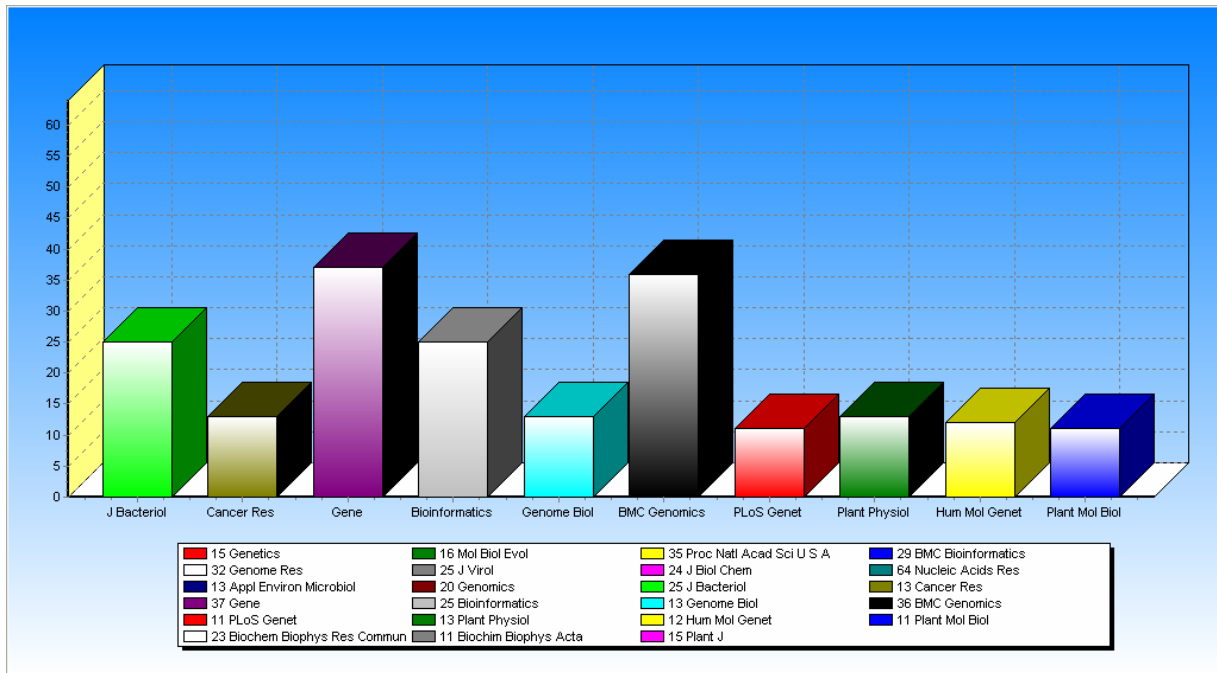
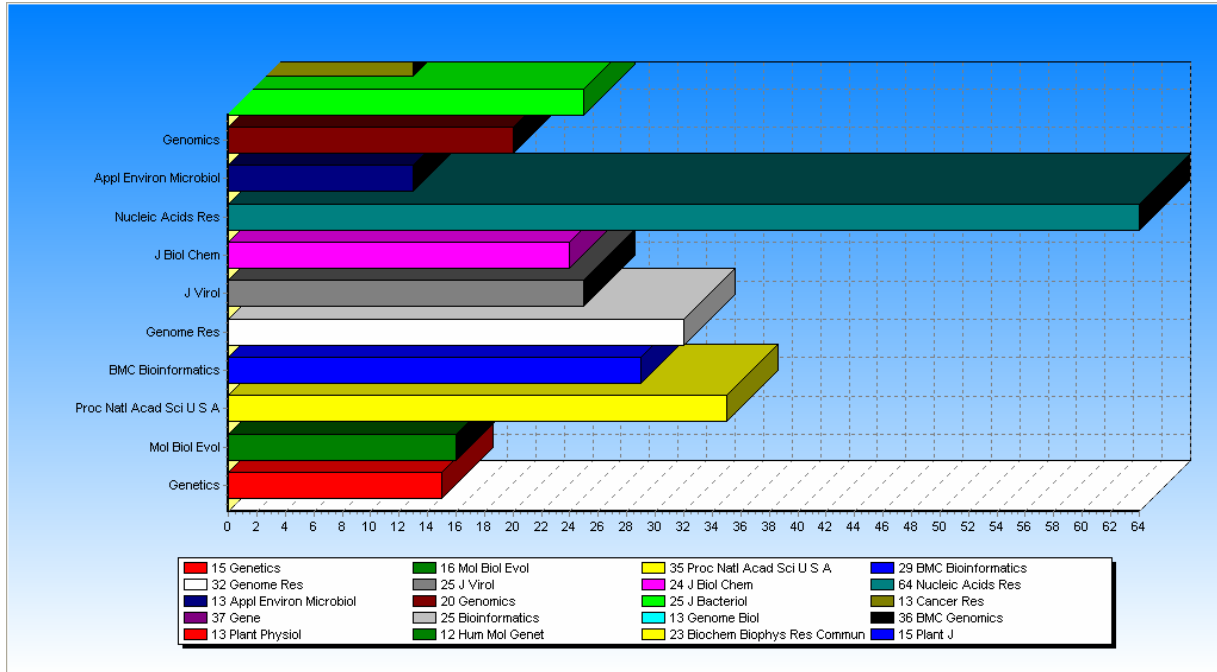
3.2.2. Trayectoria de la Genómica Funcional

¿Existe un patrón en la actividad científica en torno a la Genómica Funcional que pueda explicar trayectorias de conocimiento acumulativo?

En definitiva la respuesta es sí, y los resultados que a continuación se presentan lo demuestran:

- a) Fuentes de información. El estudio de la actividad científica realizado sobre Genómica Funcional, incluye el análisis de 1758 publicaciones – la publicación es el producto de la actividad científica- en revistas arbitradas a nivel mundial, durante ocho años que comprende el periodo de 1998 a 2006. La gráfica 8 muestra las principales fuentes de publicación.

Gráfica 8. Fuentes de publicación mundial sobre Genómica Funcional.

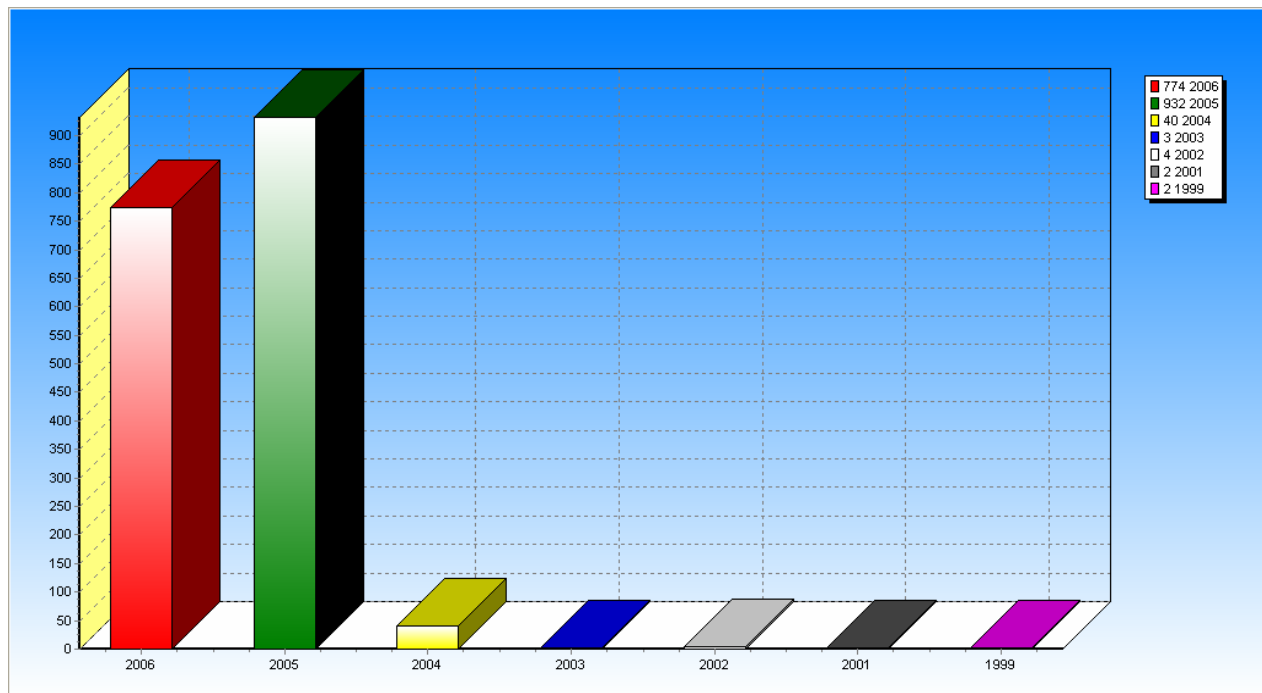


Fuente: Elaboración Propia

Algunas de las publicaciones comprenden *Applied Environmental Microbiology*, *Journal Biological Chemistry*, *Journal Virology*, *Genome Research*, *Genetics*, *Genomics*, *Human Molecular Genetics*, *Nucleic Acids Research*, *BMC Genomics*, *Biochem Biophys Research Community*, entre otras.

b) Dinámica de la actividad científica. En relación a la dinámica de la actividad científica, se observa claramente en la gráfica 9 la trayectoria de evolución de la *Genómica funcional* que incipientemente inicia en 1999 reportando dos publicaciones. Es evidente el crecimiento exponencial que suman 1706 únicamente durante el periodo que comprende 2005-2006, y que representa mas del 95% del total de la producción científica mundial hasta agosto de 2006. En el 2004 con 40 publicaciones.

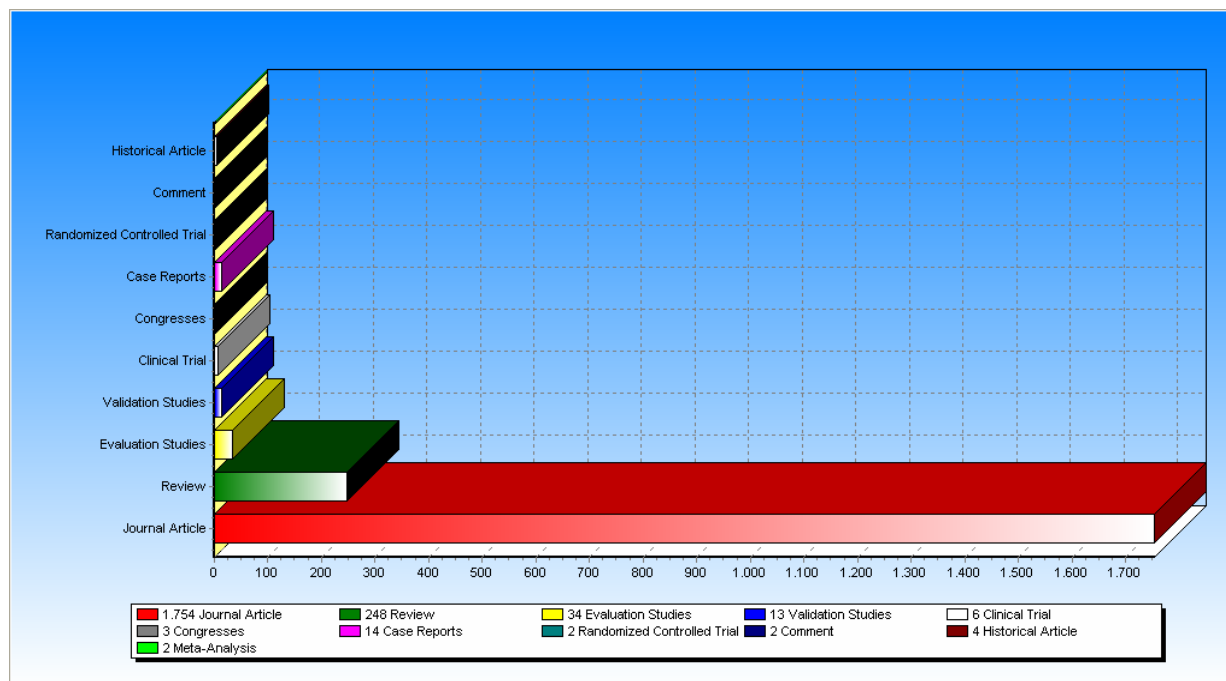
Gráfico 9. Dinámica de la actividad científica en Genómica Funcional.



Fuente: Elaboración Propia

Respecto al idioma de publicación de los 1758 documentos, 1715 se encuentran en idioma inglés, 19 en chino, 9 en ruso, 6 en japonés, 4 en alemán, 3 en español, 1 en italiano. El tipo de publicación comprende trabajos en revista, evaluación de estudios, validación de estudios, reportes de casos. En la gráfica 10 se observa su intensidad.

Gráfica 10. Tipo de publicaciones de la Genómica Funcional.

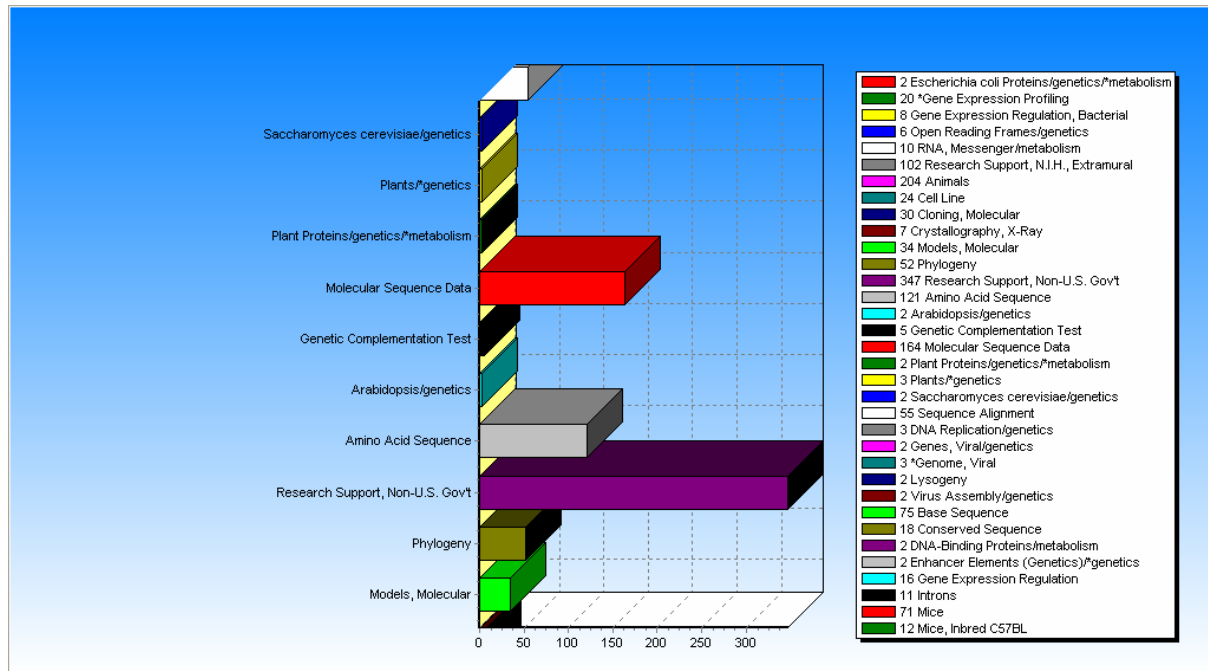


Fuente: Elaboración Propia

- c) Identificación de nuevos contenidos. El avance de la Genómica Estructural presenta una gran diversidad de contenidos científicos. Dicha diversidad es consecuencia de una compleja serie de discernimientos científicos y de prácticas basadas en disciplinas básicas. El análisis en torno a la caracterización que se observa en la gráfica 11, destacan secuencias, alineación de secuencias, filogenia, secuencia molecular, secuencias de aminoácidos, RNA mensajes/metabolismo, perfil de expresión génica, línea celular, etc.

La irrupción de nuevo conocimiento y su identificación es estratégica para estipular planes y programas sobre nuevos campos y/o disciplinas científicas pues en esto se fundamenta la carrera del desarrollo de las economías intensivas en conocimiento.

Gráfica 11. Caracterización de nuevos contenidos sobre Genómica Funcional.

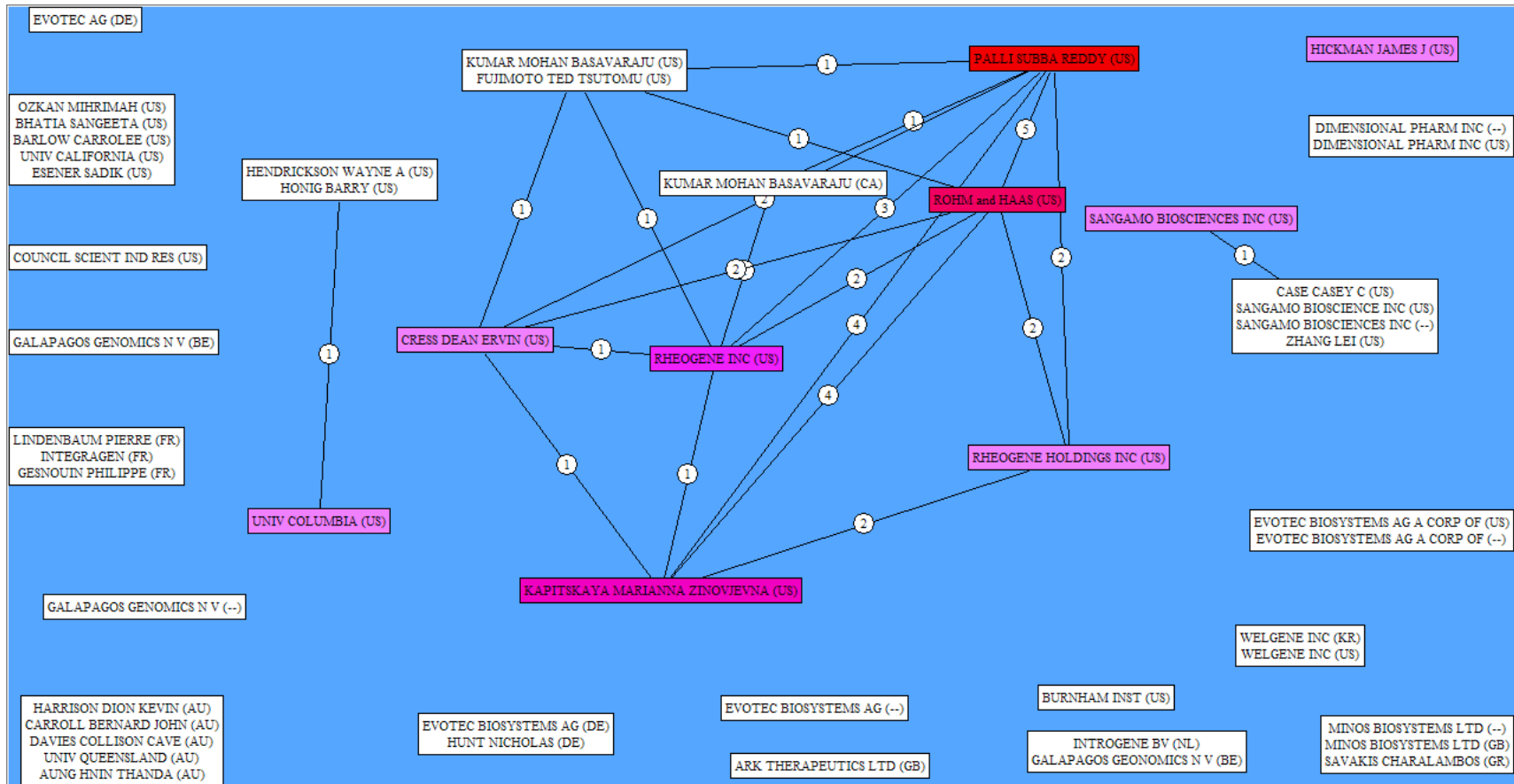


Fuente: Elaboración Propia

d) Grupos de trabajo y redes de inventores. En el presente análisis se identificaron plenamente las empresas y organizaciones gubernamentales líderes mundiales en investigación y desarrollo tecnológico sobre Genómica Estructural, destacando las siguientes por su elevado dinamismo patentador las siguientes: (ver gráfica 12)

- PALLI SUBBA REDDY (US)
- RHEOGENE INC (US)
- SANGAMO BIOSCIENCES INC (US)
- RHEOGENE HOLDINGS INC (US)
- UNIV COLUMBIA (US)
- UNIV CALIFORNIA (US)
- EVOTEC BIOSYSTEMS AG (DE)
- MINOS BIOSYSTEMS LTD (GB)
- EVOTEC AG (DE)
- GALAPAGOS GENOMICS N V (BE)
- INTEGRAGEN (FR)
- UNIV QUEENSLAND (AU)
- DIMENSIONAL PHARM INC (US)
- EVOTEC BIOSYSTEMS AG A CORP OF (US)
- MINOS BIOSYSTEMS LTD
- GALAPAGOS GENOMICS N V
- INTROGENE BV (NL)
- SANGAMO BIOSCIENCES INC
- GALAPAGOS GEONOMICS N V (BE)
- EVOTEC BIOSYSTEMS AG
- SANGAMO BIOSCIENCE INC (US)
- HENDRICKSON WAYNE A (US)
- BURNHAM INST (US)
- EVOTEC BIOSYSTEMS AG
- WELGENE INC (US)
- ARK THERAPEUTICS LTD (GB)
- EVOTEC BIOSYSTEMS AG A CORP OF (US)
- MINOS BIOSYSTEMS LTD

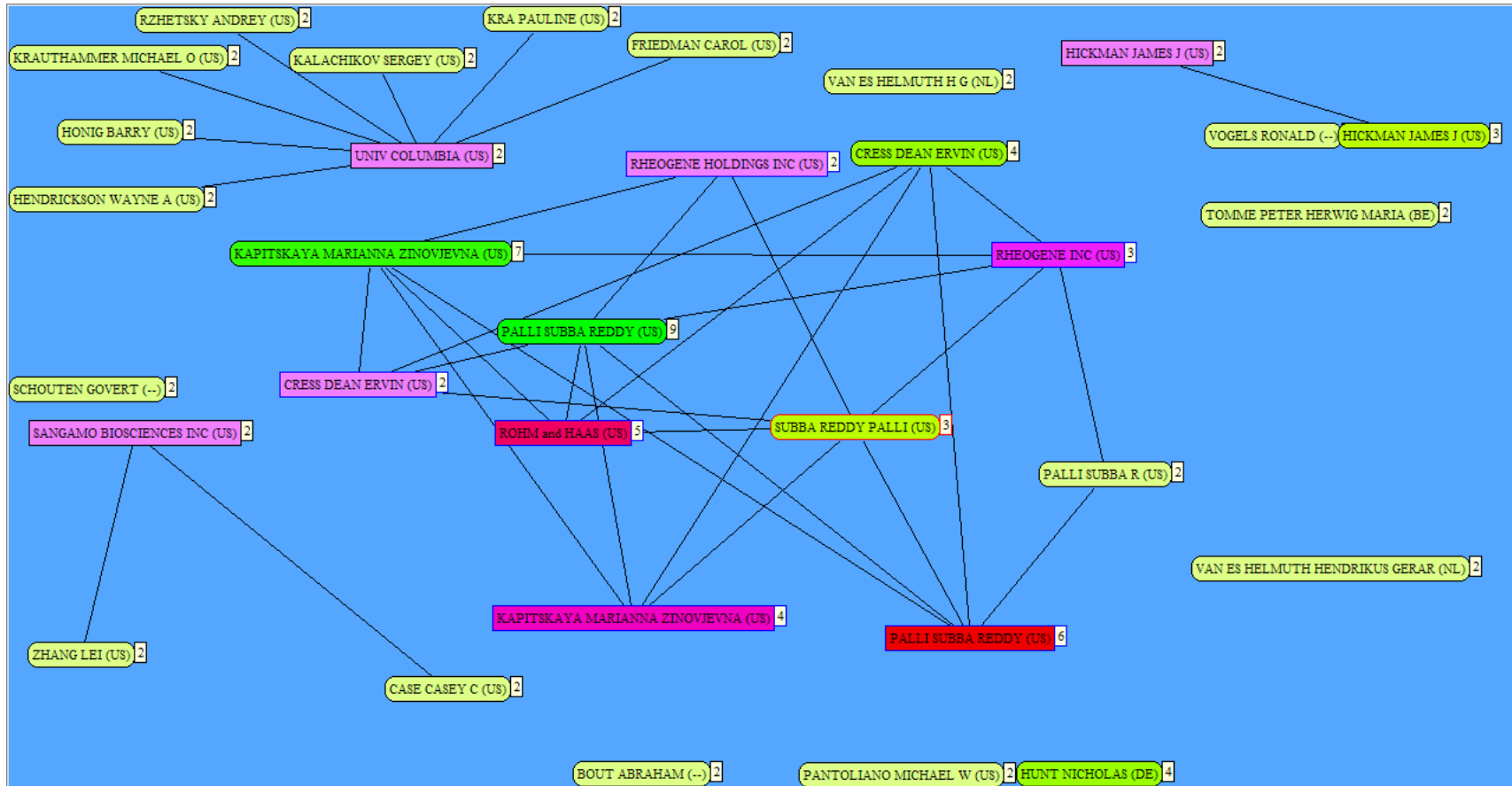
Gráfica 12. Organizaciones de investigación y desarrollo en Genómica Funcional.



Fuente: Elaboración Propia

Un hallazgo significativo es la conformación de redes de colaboración, articulado por empresas y organizaciones versus colegios invisibles. Se detectaron un total de 375 redes de colaboración mundial. En la gráfica 13 se presentan solo algunas de estas relaciones y en donde el incremento experimentado al publicar durante el período de 1998 a 2006 y el incremento de la colaboración internacional son factores que indican la evolución positiva y acumulativa de conocimientos sobre Genómica Funcional.

Gráfica 13. Redes de colaboración en Genómica Funcional.



Fuente: Elaboración Propia

¿A qué se debe el aparente éxito en la obtención de conocimientos de la Genómica Funcional?

Una vez secuenciado el genoma completo pueden identificarse la mayoría de los genes de una especie. Restaría entonces determinar cuál es la función de cada uno de ellos y cómo interaccionan para definir un fenotipo determinado.

La Genómica Funcional intenta resolver esta cuestión a través del estudio de:

- El transcriptoma: se refiere al estudio de los perfiles de expresión de todos los genes presentes en el genoma. El método más utilizado es el de micromatrices de ADN, que permite analizar simultáneamente la expresión de miles de genes, pudiéndose disponer 5000-6000 genes (ESTs, ADNc, oligonucleótidos) sobre un portaobjetos utilizando un sistema robotizado. Sobre este chip de ADN se realizan experimentos de hibridación con muestras marcadas radioactivamente o con fluoróforos apropiados, y los resultados se cuantifican mediante análisis con *phosphorimager* o microscopía confocal. De esta manera se pueden identificar, de forma simultánea, los patrones de expresión de miles de genes en un momento del desarrollo o en respuesta a diferentes estímulos ambientales. El análisis bioinformático de estos datos permite asociar grupos de genes que se expresan de forma coordinada y proporciona información importante sobre la función de los mismos.
- El proteoma: comprende el conjunto total de proteínas expresadas por un genoma completo, incluyendo las modificadas después de la traducción. El estudio del transcriptoma debe ser complementado con el análisis de expresión de las proteínas codificadas por los transcritos, puesto que estas macromoléculas están al final de la ruta de expresión génica. El método más utilizado para estudiar la abundancia relativa de cientos de proteínas es la electroforesis bidimensional en geles de poliacrilamida (2DPAGE), que permite separar con gran resolución, la mayoría de los polipéptidos celulares combinando de forma secuencial diferencias en carga y en masa molecular. Utilizando sistemas computarizados de análisis de imagen se seleccionan las proteínas cuya abundancia relativa cambia durante el desarrollo o en respuesta a diferentes estímulos ambientales. Los polipéptidos se purifican y digieren con proteasas para generar una

colección de péptidos que se analizan por espectrometría de masas o se secuencian a partir del extremo amino. Para identificar la proteína, los perfiles de masa molecular o secuencias de aminoácidos obtenidos se comparan con las bases de datos de proteínas existentes.

- El metaboloma: comprende el conjunto total de metabolitos de una célula. En plantas, el metabolismo secundario (conjunto de reacciones que no son vitales para el individuo y que conducen a la producción de compuestos que no tienen una función reconocida en el mantenimiento de los procesos fisiológicos fundamentales de los organismos que los sintetizan pero que a veces ayudan a la supervivencia, como por ejemplo antraquinonas, alcaloides, digoxina, taumatina, vainillina, menta, etc.) produce una enorme variedad de compuestos diferentes de los que se han identificado 40.000 y se estima que aún quedan por descubrir alrededor de 100.000. Los investigadores que trabajan en este nuevo campo de la química aplicada a la biología (metabolómica) consideran que sólo de esta forma se podría definir, en términos moleculares, un fenotipo concreto. En metabolómica se emplean herramientas analíticas muy sensibles (tales como espectrometría de masa, cromatografía líquida o gaseosa y resonancia magnética nuclear) para analizar los cambios metabólicos provocados por mutaciones génicas o por la expresión de transgenes. La metabolómica puede ser aplicada al monitoreo de estreses inducidos, para identificar pasos metabólicos limitantes, para el análisis de mutantes y hasta para realizar la evaluación de manejos agronómicos, tales como el efecto de fertilizantes sobre el metabolismo, etc.

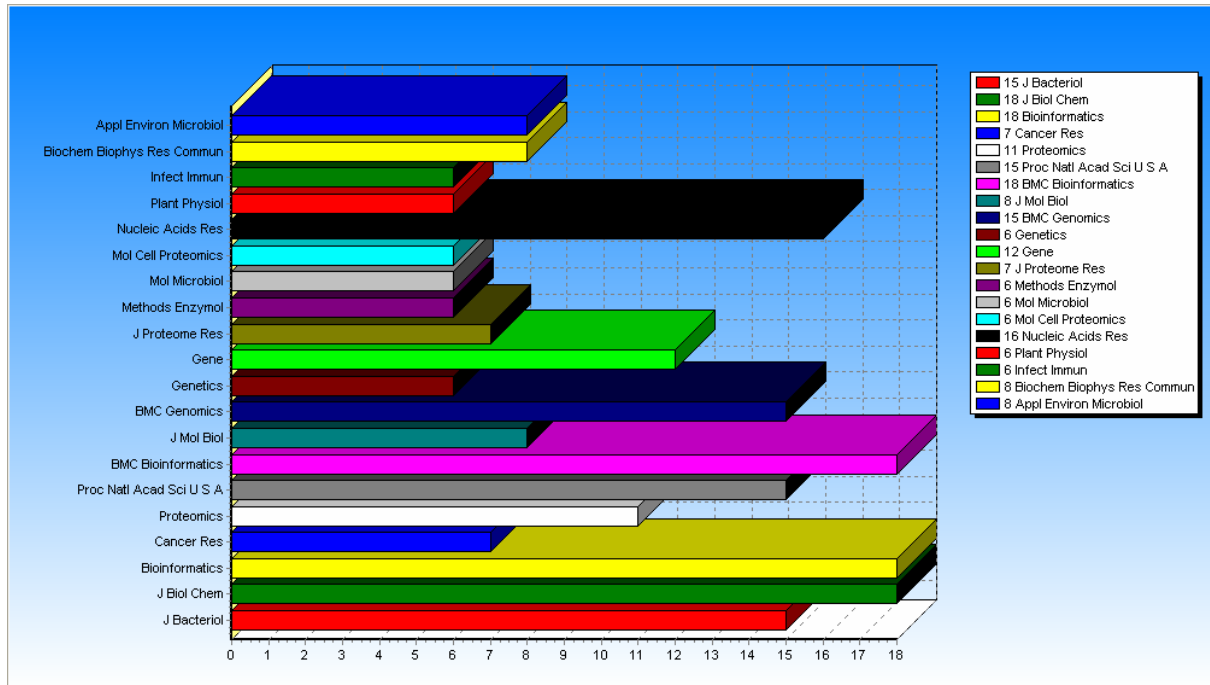
3.2.3. Trayectoria de la Bioinformática

¿Existe un patrón en la actividad científica en torno a la Bioinformática que pueda explicar trayectorias de conocimiento acumulativo?

- a) Fuentes de Información. El estudio de la actividad innovadora, realizado sobre éste campo de conocimiento, incluye el análisis de 709 artículos de la producción científica sobre Genómica Estructural publicados en revistas arbitradas a nivel mundial como se observa en la gráfica 14 entre las que destacan: *Bioinformatics*, *BMC Bioinformatics*, *BMC*

Genomics, Gene, Journal Biology Chemical, Nucleic Acid Research, Propteomics, Journal Bactaeriology, entre otras.

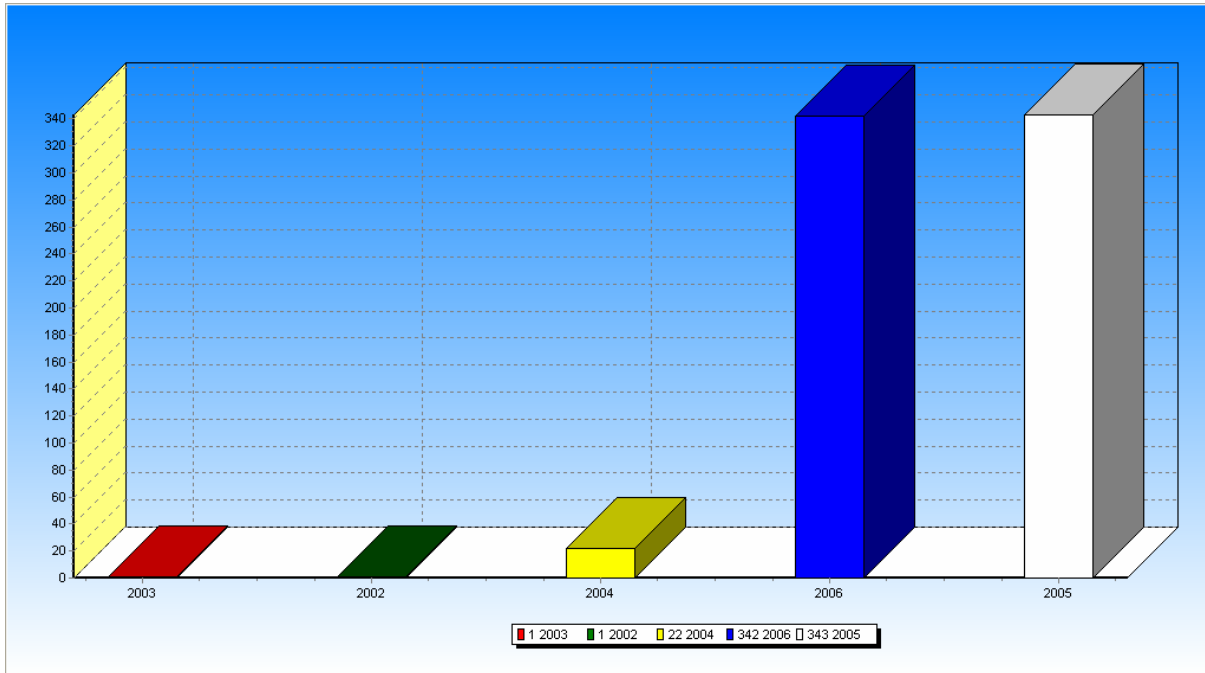
Gráfico 14. Fuentes de publicación mundial sobre Bioinformática.



Fuente: Elaboración Propia

b) Dinámica de la actividad científica. En relación a la dinámica de la actividad científica se observa claramente en la gráfica 15. la trayectoria de la Bioinformática que incipientemente inicia en 2002 reportando una publicación. Es evidente el crecimiento exponencial al pasar de 22 en el 2004 a 343 en el 2005. Se observa este acelerado crecimiento consolidando a agosto de 2006 un total de 342 publicaciones.

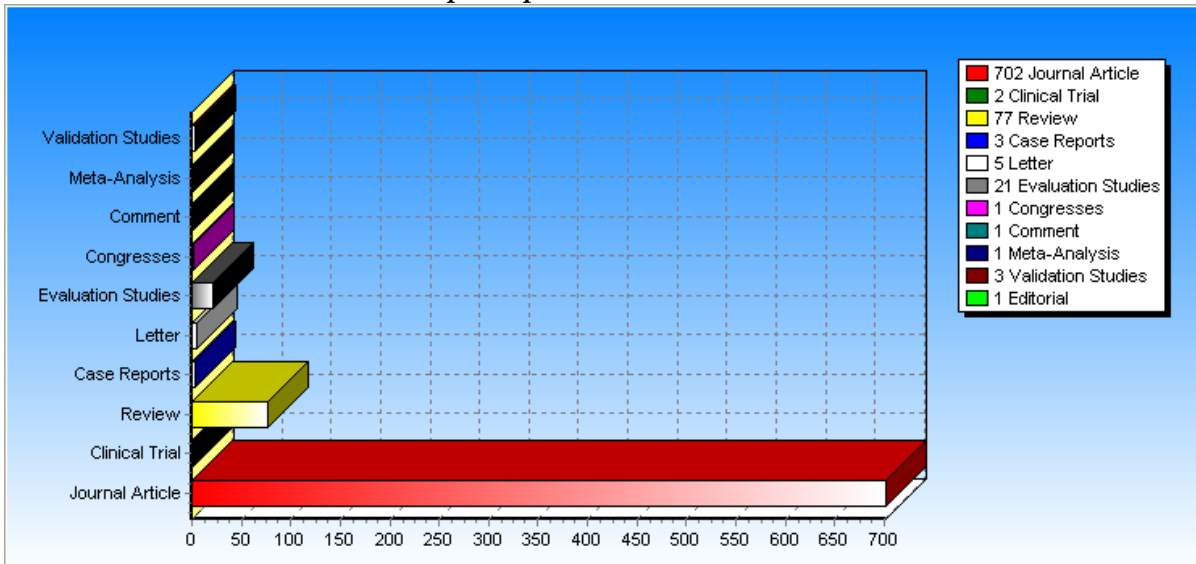
Gráfica 15. Dinámica de la actividad científica en Bioinformática.



Fuente: Elaboración Propia

El tipo de publicaciones científicas comprenden en su gran mayoría artículo de revista, evaluación de estudios, validación de estudios, reportes de casos. En la gráfica 16. se observa su intensidad.

Gráfico 16. Tipo de publicaciones en Bioinformática.

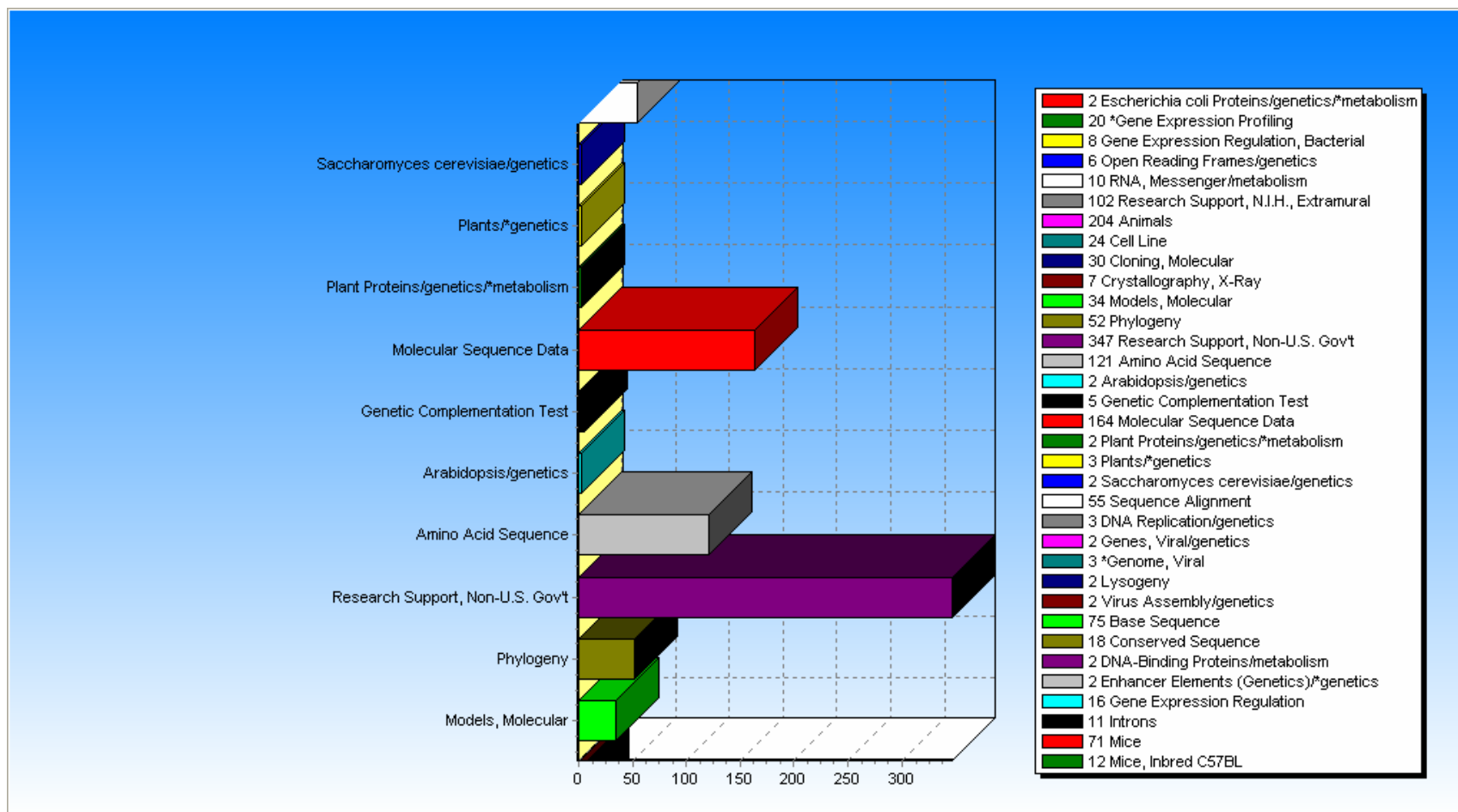


Fuente: Elaboración Propia

- c) Identificación de nuevos contenidos. El avance de la Biotecnología, al igual que cualquier otro campo de conocimiento científico, se caracteriza por la evolución de nuevos contenidos. La caracterización de contenidos, su adsorción y difusión en el ámbito científico posibilitan la reproducción extensiva trascendiendo a nuevo conocimiento tecnocientífico. De ahí la importancia de codificar el conocimiento a través de su huella digital o metadata del conocimiento.

En función de la huella digital del conocimiento es posible identificar su evolución y definir la conformación de nuevos paradigmas tecnocientíficos. Frecuentemente emerge nuevo conocimiento el identificarlo a tiempo significa precisamente establecer señales tempranas, que afianzan la toma de decisiones en materia de política científica y tecnológica. En el ámbito tecnocómico es estratégico identificar a tiempo la emergencia de nuevos campos y/o disciplinas científicas pues en esto se fundamenta el crecimiento y desarrollo de las economías intensivas en conocimiento. La gráfica 17 muestra el patrón de contenidos sobre Genómica Funcional.

Gráfica 17. Caracterización de nuevos contenidos sobre Bioinformática.

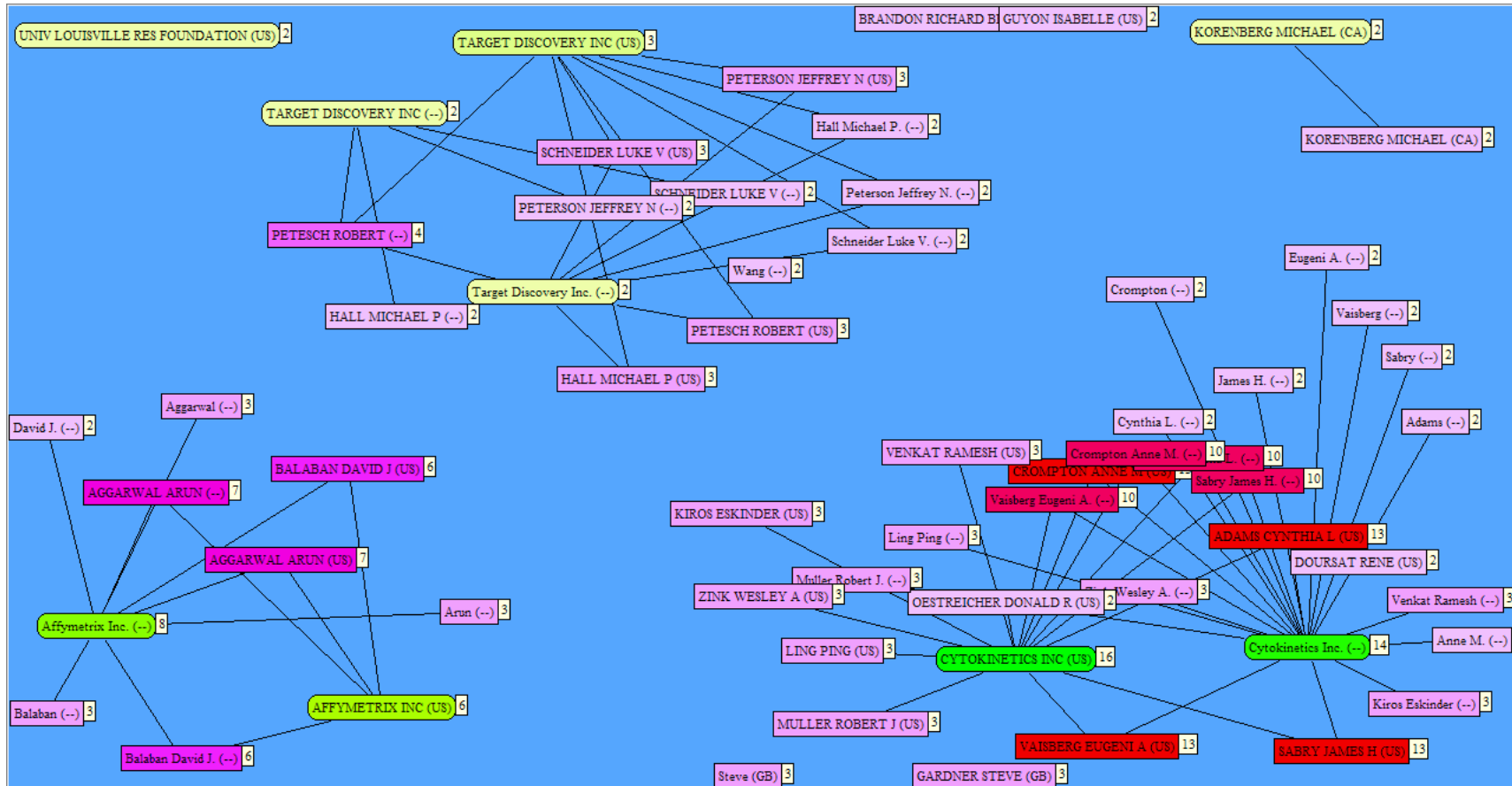


Fuente: Elaboración Propia

d. Grupos de trabajo y redes de inventores. A nivel mundial se detecta la presencia de un gran número de grupos de investigación. Al respecto se destaca que la mayor parte de las empresas encuentran capacidades valiosas entre proveedores, consorcios de investigación y otras formas de sociedad con compañías individuales, ver gráficas 18a y 18b, destacando en este campo tecnoeconómico, a nivel mundial, las empresas siguientes:

- Cytokinetics Inc.
- Cytokinetics Inc.
- Affymetrix Inc.
- Target Discovery Inc.
- Toolgen Inc.
- Biowulf Technologies LLC.
- University of Louisville Research Foundation Inc.
- International Business Machines Corporation
- Daewood Educational Foundation
- Cytokinetics Inc. A Delaware Corporation
- Schneider Luke
- Genomics Res Paryners Pty Ltd.
- Gas Technology Inst.

Gráfica 18b. Organizaciones de investigación y desarrollo en Bioinformática.



Fuente: Elaboración Propia

¿A qué se debe el aparente éxito en la obtención de conocimientos a partir de la Bioinformática?

La sinergia generada entre las ciencias biomédicas como resultado del proyecto Genoma Humano y las nuevas tecnologías, basadas en la genética molecular y la informática, son claves para el desarrollo de la Medicina Genómica

La aparición de nuevas tecnologías ha posibilitado el desarrollo de la Genómica, al facilitar el estudio de las interacciones de los genes y su influencia en el desarrollo de enfermedades, todo lo cual influye en el diagnóstico clínico, la investigación de nuevos fármacos, la epidemiología y la informática médica.

En los últimos años, la minería de datos³⁵ está experimentando un auge como soporte de la gestión de la información y el conocimiento, así como para el descubrimiento del significado que poseen los datos almacenados en grandes bancos. Esta permite explorar y analizar las bases de datos disponibles para ayudar a la toma de decisiones; además de facilitar la extracción de la información existente en los textos, así como crear sistemas inteligentes capaces de entenderlos, a esto se denomina comúnmente como minería de datos.

La Bioinformática se encuentra en la intersección entre las ciencias de la vida y de la información, proporciona las herramientas y recursos necesarios para favorecer la investigación biomédica. Como campo interdisciplinario, comprende la investigación y el desarrollo de sistemas útiles para entender el flujo de información desde los genes a las estructuras moleculares, su función bioquímica, su conducta biológica y, finalmente, su influencia en las enfermedades y en la salud.

Los estímulos de demanda para el desarrollo de la Bioinformática son:

³⁵ La minería de datos, un conjunto de técnicas agrupadas con el fin de crear mecanismos adecuados de dirección, entre ellas puede citarse la estadística, el reconocimiento de patrones, la clasificación y la predicción. Para descubrir patrones de relaciones útiles en un conjunto de datos se empezaron a utilizar métodos que fueron denominados de diferente forma. Cabe destacar que la minería de datos aplica una dinámica que se mueve en sentido contrario al método científico tradicional: con frecuencia, el investigador formula una hipótesis; luego, diseña un experimento para captar los datos necesarios y realizar los experimentos que confirmen o refuten la hipótesis planteada. Este es un proceso, que realizado de forma rigurosa, debe generar nuevos conocimientos. En la minería de datos, por el contrario, se captan y procesan los datos con la esperanza de que de ellos surja una hipótesis apropiada.

- El enorme volumen de datos generados por los distintos proyectos de la Biotecnología y particularmente en el campo de la Medicina Genómica.
- Los nuevos enfoques experimentales, basados en biochips, que permiten obtener datos genéticos a gran velocidad, bien de genomas individuales (mutaciones, polimorfismos) de enfoques celulares (expresión génica).
- El desarrollo de Internet, que permite el acceso universal a las bases de datos de información biológica.

La magnitud de la información que genera las investigaciones realizadas sobre el genoma humano es tal que, probablemente, supera la generada por otras investigaciones en otras disciplinas científicas. Como se sabe, la vida es la forma más compleja de organización de la materia que se conoce. En estos momentos, los ordenadores no clasificados para uso civil más potentes del mundo (en Celera y en Oak Ridge National Laboratory, por ejemplo, con una capacidad de cálculo cercana a los 2 Teraflops, billones de operaciones por segundo) están dedicados a la investigación biológica, concretamente a la obtención y al análisis de las secuencias de nucleótidos de los genomas conocidos.

Ante tal situación, el desarrollo de la Bioinformática comprende métodos que permitan integrar los datos genómicos –de secuencia, de expresión, de estructura, de interacciones, etc.– para explicar el comportamiento global de la célula viva, minimizando la intervención humana. Dicha integración, sin embargo, no puede producirse sin considerar el conocimiento acumulado durante decenas de años, producto de la investigación de miles de científicos, recogido en millones de comunicaciones científicas.

La Bioinformática se ocupa de la utilización y almacenamiento de grandes cantidades de información biológica, es decir, trata del uso de las computadoras para el análisis de la información biológica, entendida esta como la adquisición y consulta de datos, los análisis de correlación, la extracción y el procesamiento de la información. En otras palabras, la Bioinformática es un área del espacio que representa la biología molecular computacional, que incluye la aplicación de las computadoras y de las ciencias de la información en áreas como la geonómica, el mapeo, la secuencia y determinación de las secuencias y estructuras por métodos clásicos. Las metas fundamentales de la Bioinformática son la predicción de la estructura tridimensional de las proteínas a partir de su secuencia, la predicción de las funciones biológicas y biofísicas a partir de la secuencia o la estructura, así como simular el

metabolismo y otros procesos biológicos basados en esas funciones. Muchos de los métodos de la computación y de las ciencias de la información sirven para estos fines, incluyendo el aprendizaje de las máquinas, las teorías de la información, la estadística, la teoría de los gráficos, los algoritmos, la inteligencia artificial, los métodos estocásticos, la simulación, la lógica, entre otros.

Retos futuros de la Bioinformática

El reto en la construcción de bases de datos es el establecimiento de una arquitectura que permita la realización de búsquedas inteligentes, la comunicación con otras bases de datos y la unión con herramientas de análisis y de minería de datos, específicas, que permitan responder a problemas biológicos concretos. Los científicos, encargados de la construcción de estas bases de datos, deben disponer de conocimientos previos que permitan determinar cuáles problemas científicos concretos necesitan una solución y cuál o cuáles métodos son los mejores para resolverlos. Se necesitan herramientas para gestionar información genética en paralelo. Para ello se emplean nuevas tecnologías de extracción de conocimientos, minería de datos y visualización. Se aplican técnicas de descubrimiento de conocimientos a problemas biológicos como análisis de datos del genoma y el proteoma.

En estos momentos, la mayoría de los proyectos que se desarrollan en el mundo en materia de Genómica y proteómica, demandan la aplicación de técnicas de la minería de datos para poder determinar qué es realmente importante dentro del enorme volumen de información que se genera diariamente en el mundo. Considérese que el número total de letras (pares de bases químicas) del ADN humano ha resultado ser de 3.120 millones. El Proyecto Genoma Humano aseguró que, a los 10 años de su creación, ha terminado un primer borrador de la secuencia y completado el 85 % del ensamblaje. De los 3.120 millones de datos que componen el «libro de la vida», los científicos han encontrado que el 99,8 % son idénticos para todas las personas.

Sin embargo con los equipos más potentes se podría obtener mucha más información que la que se consigue, pero existe otro problema: la dispersión de los datos. Los investigadores y las empresas guardan celosamente los resultados de sus trabajos debido a la posibilidad de realizar patentes a partir de ellos. Incluso en los casos en que se coloca la información en la red es difícil trabajar con ellos porque no se han desarrollado mecanismos adecuados de búsqueda. «La base de datos de la National Library of Medicine de Estados Unidos es la mayor fuente

accesible computadorizada y contiene 10 millones de referencias, pero sólo están los sumarios de los artículos técnicos, luego tiene uno que buscar lo que le interese en otros sitios...», se queja Valencia y añade: «Se trata de una información desestructurada, que no puede incorporarse directamente para estudiar la función de una proteína. Es, por así decir, una información muerta. Lo deseable sería poder cruzar datos de miles de genes o de proteínas para conseguir con rapidez indicios de su estructura y de su función que permitan avanzar en la investigación. Una posibilidad sería aplicar la tecnología que están utilizando los buscadores en el web para seleccionar cada vez con mayor precisión la información demandada, mediante análisis estadístico de las palabras claves introducidas. Ahora se empiezan a aplicar estas técnicas en el campo de la proteómica, pero aun así, resolver un proteoma, relativamente sencillo, llevará aún muchos años, decenios probablemente en el caso del proteoma humano.

Considérese, que si se analiza sólo desde el punto de vista cuantitativo, los componentes del DNA son cuatro nucleótidos y sin embargo, las proteínas la integran 20 aminoácidos. El aumento de volumen es evidente.

El desarrollo de la tecnología de minería de datos está en un punto de inflexión, con respecto a su consolidación, en las aplicaciones. Existen una serie de elementos que la hacen aplicable, y una realidad que la demanda; sin embargo, existe una serie de retos que atentan contra su credibilidad. Uno de ellos es que los productos comercializados son costosos, por tanto los consumidores pueden hallar una relación costo/beneficio improductiva.

La aplicación de la minería de datos, además de permitir el descubrimiento de conocimientos para el sector comercial, soporta las investigaciones en la rama biológica, encuentran en ella una herramienta insustituible para enfrentar la avalancha de datos que producen las investigaciones genómicas y proteómicas. En este sentido, es necesario continuar elaborando herramientas computacionales apropiadas para su uso en varios proyectos y elevar el nivel de conocimientos sobre su utilidad para los investigadores.

Algunos de los factores que pueden crear una desilusión con las promesas de la minería de datos son:

- Que se necesite mucha experiencia para utilizar herramientas de la tecnología, o que sea fácil hallar patrones equívocos, triviales o no interesantes.
- Que no sea posible hallar patrones en tiempo o en espacio.

- Que no se establezca una adecuada comunicación en los equipos multidisciplinares para elegir la herramienta adecuada y que, por lo tanto, no se alcancen los resultados esperados.
- Que existan razones organizativas, éticas o de otro carácter que impidan la utilización de toda la información necesaria para la aplicación de estas herramientas.

Para concluir podemos colegir que la visión estratégica demanda de capacidad creativa para diseñar la manera de aproximarnos a futuros deseados o ventanas de oportunidad, para luego diseñar arquitecturas tecnocientíficas partir de la situación presente.

Como se ha proferido el propósito de estudio de esta investigación se sitúa en analizar la dinámica de cambios tecnológicos de la Biotecnología Humana o Genómica, que se agrupan en constelaciones de innovaciones radicales, formando irrupciones sucesivas y distintas, las cuales plantean revitalizar la medicina tradicional por una medicina preventiva, predictiva e individual: la medicina Genómica.

Una oleada de desarrollos tecnocientíficos como el que estamos viviendo define el inicio del periodo de instalación de la revolución de la Medicina Genómica y la configuración de su paradigma que se propagará por toda la economía, trayendo consigo cambios estructurales en la economía de la salud, así como cambios cualitativos profundos en la sociedad. El proceso evoluciona desde pequeños brotes, en sectores y regiones geográficas restringidas, hasta terminar abarcando la mayor parte de las actividades del país o países núcleo, difundiéndose hacia periferias cada vez más lejanas, según la capacidad de la infraestructura tecnocientífica.

Como es conocido las revoluciones no obstante originan inercia y resistencia al cambio del marco socioinstitucional, en comparación con la esfera tecnoeconómica. Nuevos actores, entran en acción sacudiendo lo establecido; el colapso sobreviene eventualmente pero para cuando ocurra, el cambio ya está en proceso.

Lo que nos conduce a afirmar que el esfuerzo por identificar oportunamente la gestación de cambios de paradigmas, revierte especial importancia para:

- Competir por futuros deseados. Un cambio de paradigma abre ventanas de oportunidad que son necesarias para adelantarse y para dar alcance en la competencia por el desarrollo y el crecimiento económico, pues las revoluciones terminan por

empujar a las economías de los países centrales hacia el nivel más alto de productividad.

- Construir una visión estratégica de política científica, tecnológica e industrial a fin de diseñar a tiempo las acciones requeridas para aprovechar a las oportunidades que estén por presentarse
- Identificar el conjunto de lineamientos de prácticas óptimas, bajo la forma de un paradigma tecnoeconómico capaz de romper con los hábitos existentes en tecnología, economía, gerencia y en las instituciones³⁶.

Sí bien la riqueza del hombre se encuentra en su cabeza; la competencia es por futuros deseados. Futuros que puedan ser intuitivos y erigidos mediante la materialización tangible del conocimiento científico y empírico en novedosos productos, procesos, y/o equipos. O bien de intangibles en el caso de los nuevos servicios y desarrollos organizacionales.

El conocimiento es ciencia e inteligencia siempre en evolución, nunca completo o terminado, cuyas fronteras se van extendiendo cada día más. Existen actualmente un gran número de divisiones del conocimiento que se han establecido por conveniencia y como una forma de representación sistémica y dinámica.

No obstante la idea de unidad de conocimiento en los últimos 20 años, se ha desarrollado una alta especialización cognitiva, y en gran parte debido al supuesto gran control sobre la naturaleza.

Del mismo modo y si bien se ha mantenido un esfuerzo impetuoso hacia el análisis, coexiste la tendencia hacia la síntesis, hacia la integración de lo esencial de aquello que conocemos, o en imaginar lo no devenido, de lo aún no existente pero posible de constituirse. Propiciando la afluencia de inéditos propuestas de desarrollo tecnocientífico.

El conocimiento se presenta en dos formas: la forma simbólica y la forma personalizada. La forma simbolizada es observable como un sistema de símbolos o signos, del cual el lenguaje es la manifestación más característica y que se analiza bajo el campo de la semiótica. La forma personalizada es el conjunto de conceptos que posee cada persona adquiridos, mediante la percepción y la experiencia, la cual se analiza bajo los campos de la cognición. No obstante

³⁶ Chandler precisa que la estrategia no se adapta a la estructura, es la estructura la que debe adaptarse a la estrategia.

ninguna de estas formas representa la realidad tal cual es, sino más bien utilizando símbolos el hombre trata de compartir con los demás la realidad donde nace, crece, se realiza y muere con diferentes grados de fidelidad.

El conocimiento es un agente tan activo que no solo es sensible a la cognición sino que puede ejercer control de tal forma que el hombre actúe sobre la realidad que lo rodea para modificarla según sus necesidades o deseos.

El propósito último de la presente investigación consistió, esperando haberlo logrado, en aportar a la construcción teórica sobre la dinámica de la evolución de la Medicina Genómica; al mismo tiempo se procura contribuir al conocimiento de la gestión estratégica del nuevo sector de la medicina Genómica, que es la que se usa como base para la praxis de análisis.

3.3. Desarrollo de senderos técnicos

Las investigaciones llevadas a cabo hasta ahora sugieren que la complejidad del genoma humano no radica ya en el número de genes, sino en cómo parte de estos genes son usados para construir diferentes productos en un proceso que es llamado *alternative splicing* (que podría traducirse como juntando alternativas). Otra importante razón de esta complejidad radica en el hecho de que existan miles de modificaciones químicas para fabricar proteínas así como del repertorio de mecanismos que regulan este proceso.

El *estado del arte* resultado de las investigaciones científicas son las siguientes:

- El genoma humano contiene alrededor de 3.000 millones de bases (A, C, T, y G).
- Por término medio los genes contienen 3.000 bases, pero el tamaño varía mucho, el más grande conocido en el humano es el de la distrofina, con 2,4 millones de bases.
- Se desconoce la función de más del 50% de los genes descubiertos.
- La secuencia del genoma humano es casi (99,9%) exactamente la misma en todas las personas.
- Alrededor del 2% del genoma codifica instrucciones para la síntesis de proteínas.
- Las secuencias repetidas que no codifican proteínas forman alrededor del 50% del genoma humano.

- Se cree que las secuencias repetidas no tienen una función directa, pero mantienen la estructura y el dinamismo de los cromosomas.
- El cromosoma 1 (el cromosoma humano más grande) tiene la mayor cantidad de genes (2.968), y el cromosoma Y la menor (231).
- Se han identificado alrededor de 3 millones de localizaciones en el genoma donde existen diferencias de una base entre distintos humanos. Esta información promete revolucionar el proceso de hallazgo de secuencias de ADN relacionadas con enfermedades del tipo: cardiopatías, diabetes, artritis y cánceres.

El avance del *estado del arte* es resultado de los tres campos de investigación en la ciencia Genómica, examinados en el anterior apartado, correspondientes a:

- La Genómica Estructural que trabaja en el mapeo y la secuenciación de genes y es la base de todo el trabajo genómico. La investigación en la ciencia Genómica estructural es objeto de primordial interés para las instituciones públicas; absorbe prácticamente todos los fondos de la Unión Europea destinados a la ciencia Genómica, y más de un tercio de los Estados Unidos. Es también núcleo competitivo de empresas como ***Celera, Human Genome Sciences, Incyte*** y ***Myriad Genetics***.
- La Genómica funcional que implica la identificación de funciones de secuencias de genes. El objetivo de esta campo es analizar cuándo, cómo y qué genes actúan juntos para generar una característica determinada. Entre las empresas más activas tenemos a ***Affymetrix, Clontech, Research Genetics, Incyte*** y ***Vysis***. Por supuesto se trata de tecnologías muy costosas.
- La Bioinformática intenta dar sentido a la información derivada de las técnicas anteriormente descritas. El desarrollo de las herramientas de informática que permiten la explotación de las secuencias de genes constituye la máxima prioridad de numerosas empresas.
- Como resultado de la convergencia entre estos campos de investigación, tenemos los siguientes senderos técnicos en etapa temprana y de alto impacto para los nuevos desarrollos de la Medicina Genómica, estos son: Bioinformática y Bases de Datos, Proteómica y Metabolómica, Farmacogenética y Farmacogenómica. Y que se exploran a continuación

Bioinformática y bases de datos

Bioinformática integra la aplicación de las matemáticas y las técnicas informáticas con el propósito de comprender los problemas biológicos, normalmente creando o usando programas informáticos, modelos matemáticos o ambos. Entre las principales aplicaciones de la Bioinformática se encuentran: la simulación, la minería de datos y el análisis de los datos obtenidos en el proyecto del genoma humano o el proteoma. Otras aplicaciones son el alineamiento de secuencias, la predicción de estructuras proteicas y las redes metabólicas.

En términos conceptuales la Bioinformática es la aplicación del desarrollo de la computación y las matemáticas que permite la administración, análisis y comprensión de datos para resolver preguntas biológicas. Modificado de: Center for Research on Innovation and Competition (Harvey & Mc.Meekin, 2002). Comprende dos grandes áreas del conocimiento, las ciencias biológicas y las ciencias de la computación, dado este origen existen dos grandes líneas de trabajo, la primera en la cuál las ciencias de la computación utilizan modelos de las biológicas, ejemplo de ello lo constituyen las redes neurales, los algoritmos genéticos, computación con DNA, entre otras. La segunda en la cuál las ciencias biológicas utilizan modelos y herramientas de las ciencias de la computación, como anteriormente se mencionó.

Respecto a bases de datos en general hay dos tipos, las que guardan información sobre mapeo y secuenciación. Nacieron incluso antes del PGH, pero algunas construidas para guardar información sobre una sola especie son de reciente creación, como *Genome Database*, que guarda información específica sobre el genoma humano. Y las que almacenan información generada en los grandes centros del genoma.

Existen bases de datos primarias, que contienen información directa de la secuencia, estructura o patrón de expresión de ADN o proteína, y secundarias, que contienen datos derivados del análisis de las bases de datos primarias, como mutaciones, relaciones evolutivas, agrupación por familias o funciones, implicación en enfermedades. A nivel mundial las bases de datos en plena consolidación se clasifican en:

- Secuencia de Nucleotidos (ADN). La colaboración de las tres bases de datos más importantes hace posible acceder a casi toda la información de secuencias de ADN desde cualquiera de sus tres sedes y comprende EMBL-BANK en el Instituto europeo de Bioinformática (EBI); DNA Data Bank of Japan (DDBJ)

en el Centro de Información Biológica (CIB) y; el GenBank en el Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI)

- **Proteínas.** Comprende las Bases de datos de secuencias de aminoácidos entre las que encontramos la Swissprot (contiene secuencias anotadas o comentadas y cada secuencia ha sido revisada, documentada y enlazada a otras bases de datos). TrEMBL Nucleotide Sequence Database que incluye la traducción de todas las secuencias codificantes derivadas del EMBL-BANK y que todavía no han podido ser anotadas en Swissprot. La PIR (*Protein Information Resource*) y está dividida en cuatro sub-bases que tienen un nivel de anotación decreciente: El enlace externo o PIR ENZYME que enlaza la clasificación de actividades enzimáticas completa a las secuencias de Swissprot; ENZYME PROSITE que contiene información sobre la estructura secundaria de proteínas, familias, dominios, etcétera; PROSITE INTERPRO que integra la información de diversas bases de datos de estructura secundaria como PROSITE, proporcionando enlaces a otras bases de datos e información más extensa; INTERPRO PDB (por Protein Data Bank) que es la base de datos de estructura terciaria 3-D de proteínas que han sido cristalizadas.
- **Genoma.** La base Ensembl integra genomas eucariotas grandes, por el momento contiene genoma humano, ratón, rata, fugu, zebrafish, mosquito, Drosophila, C. elegans, y C. briggsae. También encontramos el Genomes server y TIGR son portales con información o enlaces de todos los genomas secuenciados por el momento, desde virus a humanos. El Wormbase es el portal del genoma de gusano C. elegans. El Flybase es el portal de la mosca del vinagre Drosophila melanogaster. Taxonomy es el portal de clasificación taxonómica de organismos. Pubmed da acceso gratuito al índice de publicaciones de la Biblioteca Nacional de Medicina (NLM), con enlaces a artículos completos. Y OMIM por Online Mendelian Inheritance in Man es un catálogo de genes humanos relacionados con informaciones genéticas.

Proteómica y Metabolómica

Una manera de definir la Proteómica es el conjunto de técnicas que te permiten analizar el conjunto de proteínas presentes en la célula en determinado momento, el proteoma. Estas técnicas incluyen el 2D-PAGE (geles de poliacrilamida de dos dimensiones) y la MS

(espectrometría de masas). La manera más fácil de hacer un estudio proteómico es comparar los proteomas de dos condiciones y observar sus diferencias.

Conocer el proteoma de un organismo es tener una imagen dinámica de todas las proteínas expresadas por ese organismo, en un momento dado y bajo determinadas condiciones concretas de tiempo y ambiente. Las células expresan varios miles de proteínas diferentes y cada una de ellas puede experimentar numerosas modificaciones en respuesta a microambientes diferentes.

Cuando una célula está siendo atacada por un virus, las células producen anticuerpos. Esos anticuerpos son proteínas. Esos anticuerpos sólo se producen si hay virus, y no se producen si no lo hay. Lo mismo ocurre con otras condiciones como calor, o frío, o un millón de cosas distintas. Todas las proteínas que se producen en un momento determinado y bajo ciertas condiciones se llaman proteomas.

La Proteómica es considerada como la ciencia que correlaciona las proteínas con sus genes, estudia el conjunto completo de proteínas que se pueden obtener de un genoma, e intenta resolver preguntas como: ¿Qué proteínas determinan los genes que hay en el genoma humano? ¿Qué función tienen las proteínas?

La Metabolómica es, en términos generales, el análisis de las miles de moléculas que son producto del metabolismo, como azúcares y grasas. Los científicos pretenden utilizar esta información para crear una nueva herramienta que permita diagnosticar enfermedades con mayor antelación y precisión.

Farmacogenética y Farmacogenómica

La Medicina Genómica mediante la combinación de los análisis genéticos y el desarrollo de fármacos, promete nuevos enfoques en la prevención de enfermedades y el diseño de fármacos que permitirán evaluar con antelación si el paciente responderá bien a un fármaco o si sufrirá sus efectos secundarios. Las empresas farmacéuticas podrán definir mejor el perfil de sus fármacos, es decir, los fármacos se podrán desarrollar de forma más personalizada.

La Farmacogenómica tiene por objeto explorar la respuesta de los pacientes ante los nuevos fármacos y hace de puente entre el descubrimiento de genes y el desarrollo de fármacos

La Farmacogenómica tiene por objeto explorar si los pacientes responden a los nuevos fármacos y cómo.

Pretende hacer de puente entre el descubrimiento de genes y el desarrollo de fármacos y es de aplicación inmediata en los estudios clínicos de los fármacos ya existentes. El rápido desarrollo de la información y la tecnología está estimulando un enorme progreso en este campo (Lin, 1996). Un resultado importante de la investigación en esta área es el desarrollo de pruebas diagnósticas que ayudan a identificar el fármaco adecuado para un individuo en particular.

Las ventajas de tales análisis son obvias: los pacientes evitan exploraciones para encontrar el método de tratamiento óptimo que suponen riesgo, son dolorosas y suelen ser largas. Un análisis rápido contribuye a evitar efectos secundarios perjudiciales. El descubrimiento y análisis sistemático de la variedad genética en la respuesta a los fármacos también debería dar lugar a un desarrollo farmacológico más rentable. Dado que el 80% de los compuestos fracasan en los ensayos clínicos y que la industria gasta entre 500 y 700 millones de dólares para aprobar un nuevo fármaco, podrían obtenerse considerables beneficios (Housman, 1998). La prescripción basada en un instrumento rápido y preciso de identificación de enfermedades podría también reducir los costes de los tratamientos.

Con este avance en tecnología molecular y las implicaciones financieras de los resultados obtenidos, realizar el genotipo de los pacientes antes de prescribir ciertas terapias farmacológicas es probable que se convierta en algo habitual (Prows, 1998).

También se considera que la Farmacogenómica es el estudio de como la herencia genética de una persona afecta a la respuesta del organismo a un fármaco. Existe un matiz conceptual entre la Farmacogenómica y la Farmacogenética. Mientras que la Farmacogenómica se refiere a las características de las secuencias genómicas, mediante una visión integradora que incluiría interacciones entre genes, la Farmacogenética queda circunscrita a la detección de modificaciones de genes individuales en la respuesta a fármacos. Anteriormente se ha explicado que el objetivo de la Farmacogenómica es la creación de fármacos a medida para cada paciente y adaptados a sus condiciones genéticas. El medio ambiente, la dieta, estilo de vida y estado de salud, todo ello puede influir sobre la respuesta de una persona a un fármaco. Entender el funcionamiento genético se cree será la "llave" para crear drogas personalizadas con mayor eficacia y seguridad.

En la actuación terapéutica frente a una enfermedad, la primera observación del médico es la variabilidad interindividual de la respuesta. Dicha variabilidad va intrínsecamente ligada a las características genéticas del sujeto moduladas por factores fisiológicos, patológicos y ambientales. Así, una particular dotación genética del sujeto subyace tanto en los factores farmacocinéticos determinantes de la concentración del fármaco en su lugar de acción como en los factores farmacodinámicos (acción específica del fármaco) ligados a la expresión propia de la enfermedad y a la reacción adversa. La Farmacología del futuro pretende realizar una terapéutica individualizada monitorizando el cociente beneficio / riesgo en los sujetos; es decir, determinar el fármaco de elección para la manifestación específica de la enfermedad en el sujeto y la dosis apropiada para conseguir el efecto terapéutico minimizando el riesgo de reacciones adversas.

La Farmacogenética y Farmacogenómica se ocupan de la caracterización fenotípica y genotípica de los polimorfismos genéticos implicados en el metabolismo de fármacos y en receptores dirigidos a una monitorización de los sujetos sanos o enfermos participantes en ensayos clínicos.

Es sabido que cada paciente responde de distintas maneras a la misma medicación. También se observa que estas diferencias pueden ser mucho más importantes entre distintas poblaciones que en una misma persona durante distintas épocas de su vida.

La existencia de estas grandes diferencias interpoblacionales en relación a una pequeña variabilidad intrapersonal de la respuesta a la droga, es consistente con que la herencia juega un rol importante en su determinación. Se estima que la genética es responsable de un 20 a un 95 % de la variabilidad en la farmacocinética de la droga y sus efectos. Aunque muchos factores distintos de los genéticos también pueden ser de relevancia, como la edad, la función orgánica, las terapias concomitantes, las interacciones y la naturaleza misma de la enfermedad, actualmente existen numerosos ejemplos de casos en los que las diferencias interindividuales en la respuesta al tratamiento farmacológico, son debidas a secuencias que varían en los genes que codifican para enzimas que participan en el proceso de metabolismo, transporte u otros blancos de la droga.

La Farmacogenómica. identifica un nuevo campo de la ciencia que estudia al genoma con la intención de encontrar la explicación a las diferencias interindividuales en la respuesta a los fármacos, basada en la herencia.

El efecto de un fármaco en una persona comprende la sumatoria de las propiedades intrínsecas de la droga y su interacción con la base genética (poligénica) de predisposición.

La mayoría de los efectos son determinados por un interjuego de varios productos génicos que influyen sobre la farmacocinética y la farmacodinamia de los medicamentos, que incluyen las diferencias heredadas en los receptores, proteínas metabolizadoras, transportadores, etc. Los determinantes poligénicos de los efectos se han vuelto cada vez más importantes.

Es importante aclarar que los efectos observados varían, ya sea en cuanto a su potencial terapéutico, como así también en su capacidad para producir efectos adversos y toxicidad.

"No se enferma quien quiere, sino quien puede". Parece que ahora podemos agregar que "no responde al tratamiento quien quiere sino quien puede y como puede", de acuerdo a la trama genética que le ha tocado.

3.4. Implicaciones futuras de la Medicina Genómica

La Medicina Genómica consiste en el estudio sistemático de la estructura y expresión del genoma humano para mejorar la calidad de la atención a la salud. Su desarrollo e implementación en la práctica médica en los próximos años, contribuirá al desarrollo de una práctica médica mas individualizada, con carácter preventivo y predictivo, con implicaciones para las enfermedades comunes como le cáncer, la diabetes, la obesidad, las enfermedades infecciones.

El desarrollo de las aplicaciones médicas derivadas del conocimiento genómico precisan de la caracterización de las variaciones genómicas en cada población; significa que la Medicina Genómica no se puede importar pues los patrones de variación en cada población son diferentes.

Las implicaciones médicas de la Genómica tendrán impacto tanto en la prevención y diagnóstico de las enfermedades humanas, y en cuanto a su tratamiento a través de la Farmacogenómica tal que permita identificar las variaciones del genoma humano como respuesta a fármacos. Conocer el perfil genético de los pacientes posibilitará un mayor éxito terapéutico y la reducción de los efectos secundarios no deseados en el enfermo. La

incorporación paulatina de los fármacos especializados supone una nueva oportunidad de éxito en el tratamiento de ciertas enfermedades.

Los avances conseguidos en los últimos años en el ámbito de la genética, bioquímica, biología molecular, informática e ingeniería genética han dado paso a la Farmacogenética y Farmacogenómica. Estas dos recientes disciplinas, basadas en el estudio del genoma humano, convierten en una realidad la aplicación de los tratamientos personalizados. La generalización de estudios de Farmacogenética y Farmacogenómica posibilitará que la asistencia clínica diaria se adapte al perfil de la enfermedad de cada paciente.

El incremento de las posibilidades de éxito tras la aplicación de un tratamiento, la reducción de los efectos secundarios en el paciente, la prevención o reducción de la gravedad de la enfermedad y una mejor calidad de vida son las metas de estas disciplinas.

Por otra parte el desarrollo de modernos fármacos es un proceso complejo. El primer paso es la identificación de un objetivo molecular adecuado para la acción del fármaco. Esto requiere una revisión de las innumerables posibilidades sugeridas a partir de los resultados de la secuenciación génica, por ejemplo, del Proyecto Genoma Humano. La validación tiene por objetivo estudiar la relación entre una secuencia determinada y ciertas enfermedades específicas. Después es necesario aclarar cómo se regula la actividad de la secuencia génica, su importancia fisiológica y la interacción de los productos que codifica. Los avances en Genómica (el análisis sistemático de todo un genoma) terminarán permitiendo la identificación de los principios genéticos de la mayor parte de fenotipos patológicos y no patológicos 1). También redefinirán la comprensión y las definiciones tradicionales de las enfermedades.

La mayor parte de los fármacos terapéuticos sufre un proceso de biotransformación que tiene lugar, por ejemplo, en el hígado. De forma típica, en un proceso que consta de una o dos etapas, las enzimas transforman las moléculas lipófilas del fármaco en un metabolito más hidrosoluble, que habitualmente representa la forma activa del fármaco. Estos metabolitos posteriormente se metabolizan y se eliminan del organismo.

La mayor parte de los fármacos son eliminados del organismo por el hígado, donde las enzimas los transforman en metabolitos que se pueden excretar. Las diferencias en la dotación genética pueden introducir variaciones en estos enzimas y en la forma en la que cada individuo metaboliza el fármaco

Esta ruta idealizada, como depende de la actividad de los biocatalizadores, viene determinada por parámetros genéticos. Pequeñas diferencias o mutaciones en la dotación genética, los denominados polimorfismos, pueden producir modificaciones en los enzimas que codifican. Estas modificaciones pueden ser después las responsables de la actividad enzimática alterada; el genotipo determina el fenotipo.

Los análisis genéticos no tratan de detectar los síntomas de una alteración genética. Pretenden detectar la propia alteración genética para, a partir de ella, poder extrapolar conclusiones sobre el fenotipo

Los análisis genéticos pueden evitar este problema. No pretenden detectar los síntomas producidos por una alteración genética, sino detectar la propia alteración genética. En un proceso posterior, esta información se puede utilizar para extraer conclusiones sobre el fenotipo.

Tendencia e implicaciones para la Medicina Genómica

Por ahora, el estudio del genotipo sólo se realiza en investigación. No obstante, muchas empresas están desarrollando análisis genéticos con fines farmacológicos. En su revisión de las implicaciones clínicas de fármacos basadas en diferencias genéticas, David Prows de la Universidad de Cincinnati estima que el estudio del genotipo se va a convertir en una herramienta aceptada en los próximos cinco años (Prows, 1998).

La posibilidad de estudiar el genotipo de los pacientes para estimar el riesgo de reacciones adversas a los fármacos podría preparar el terreno para un modelo de asistencia sanitaria más centrado en el paciente. Los métodos y ensayos desarrollados por la Farmacogenómica harán posible la identificación de grupos de pacientes que reaccionarán positivamente a los fármacos prescritos. Se identificarán fármacos-diana según las enfermedades y se utilizarán para "desarrollar fármacos extremadamente eficaces y ampliamente tolerados, que se puedan prescribir a una población lo más amplia posible. Los nuevos productos farmacéuticos se podrían comercializar junto con el equipo para realizar la correspondiente prueba diagnóstica, de forma que sea posible la prescripción selectiva del fármaco" (Housman, 1998).

La denominada 'medicina personalizada' supondrá el desarrollo de fármacos mucho más a la medida, que irán acompañados del equipo para realizar el análisis genético con el fin de permitir la prescripción selectiva

Junto con los nuevos avances en análisis de proteínas, en los que será posible analizar miles de muestras de forma simultánea, se pueden prever nuevos enfoques integrados en cuanto a diagnóstico. Las nuevas tecnologías de fabricación y los avances en la automatización servirán de apoyo a mejoras en el diagnóstico. Las tecnologías de miniaturización y microfabricación harán que este nuevo tipo de biosensor sea adecuado para la automatización o incluso para su implantación en el organismo humano. Esta última posibilidad permitirá la vigilancia en línea de los pacientes de alto riesgo. Con el fin de detectar las pequeñísimas diferencias en el genoma humano, responsables de enfermedades o de la variabilidad en la respuesta a los fármacos, pronto habrá microchips en el mercado, los denominados chips SNP. Definitivamente "marcarán el comienzo de una medicina personalizada" (Schmidt, 1998).

Las tecnologías de miniaturización y microfabricación permitirán la comercialización de nuevos tipos de biosensores para vigilar a los pacientes de riesgo y comprender el papel de las pequeñísimas diferencias en el genoma humano

Se estima que cada año se gastan en Estados Unidos entre 1.600 y 4.200 millones de dólares en el tratamiento adicional de las reacciones adversas (Classen, 1997), y que en 1994 pueden haber sido la causa de unas 100.000 muertes (Lazarou, 1998). Los análisis genéticos podrían ayudar al médico a evitar algunos de estos riesgos y así el tratamiento de los pacientes sería más efectivo. Los análisis de este tipo también garantizarían a los pacientes una mayor información para ayudarles a tomar decisiones que afectan a su salud. Tales tecnologías y procedimientos evitarán las medidas de ensayo y error a largo plazo y pueden reducir enormemente los costes y los riesgos. Antes de administrar un nuevo fármaco se podría reconocer al paciente, e incluso durante el tratamiento. Esto podría, por tanto, fortalecer el papel de la atención primaria, dado que un diagnóstico más preciso puede reducir la necesidad de consultar a los especialistas.

En Estados Unidos, estos modelos de atención sanitaria dirigida se han previsto para el año 2008 (Poste, 1998) e incluyen:

- Perfil genético y farmacogenómico, para identificar personas con riesgo de padecer enfermedades graves a causa de su predisposición genética
- Diagnóstico, como complemento y apoyo a los análisis genéticos
- Tarjetas inteligentes para almacenar la información sobre el paciente
- Aplicaciones de las bases de datos a la investigación, el desarrollo y la atención sanitaria
- Asesoramiento en genética clínica
- Protocolos eficientes de gestión de las enfermedades destinados a la terapia profiláctica, la modificación de los hábitos de vida y la vigilancia.

Aunque este modelo parece estar bastante hecho a la medida del mercado sanitario de Estados Unidos, algunos aspectos podrían aplicarse también a los sistemas sanitarios europeos. La Biotecnología, la Microtecnología, la Nanotecnología y las tecnologías de la información impulsarán nuevos avances en el diagnóstico y el tratamiento de las enfermedades.

Sin embargo, a pesar de las prometedoras tendencias beneficiosas que se prevén en el área de la Farmacogenómica y la capacidad de personalizar tratamientos y fármacos, han surgido algunas cuestiones que preocupan. Unas terapias y unos fármacos demasiado dirigidos pueden hacer que la medicina y la farmacia se alejen de su objetivo, que es encontrar tratamientos para tanta gente como sea posible: la Farmacogenómica no se debería utilizar para seleccionar a la gente que es 'genéticamente correcta' para las medicinas que los laboratorios farmacéuticos quieren vender (Schmidt, 1998).

La Farmacogenómica no se debería utilizar para seleccionar a la gente que es "genéticamente correcta" para las medicinas que los laboratorios farmacéuticos quieren vender.

Esta tendencia sería preocupante. Sería una fuente de nuevas enfermedades "raras"(3), y posiblemente daría origen a la "discriminación terapéutica" de los pacientes con enfermedades y genotipos caros de tratar.

Otros expertos, no obstante, piensan que estos temores son infundados. Sostienen que tanto el genoma como las enfermedades de los seres humanos son lo bastante polimórficos como para que esos procesos tengan pocas posibilidades de producirse. El desarrollo de productos nicho para estos mercados podría ser un mercado interesante para las PYME, dado un marco legal adecuado que respetara la propiedad intelectual.

La Farmacogenómica ayudará definitivamente a precisar muestras herramientas médicas y farmacéuticas. Los fármacos serán más precisos y eficientes, el riesgo de efectos secundarios tóxicos será menor. Pero al mismo tiempo, habrá cada vez mayor cantidad de información que se utilizará con diferentes fines. Por eso es posible que los pacientes se enteren de forma accidental de que portan un gen que en un futuro puede tener consecuencias para su salud. Ello se agrava por el hecho de que la información no sólo afecta a la vida del propio paciente, sino también a la de sus familiares. Así la persona afectada puede verse forzada a decidir si debe informar o no a su familia. Los pacientes pueden desear mantener en secreto la información proporcionada por el análisis, incluso aunque sea una información importante para sus familiares. Es posible que para algunas personas sea muy duro enfrentarse a esta situación y necesiten ayuda de profesionales especializados.

Implicaciones éticas, jurídicas y sociales según el programa “Etical, Legal and Social Implications”³⁷

¿Cuál es la estrategia planteada para enfrentar esta nueva etapa de la terapéutica farmacológica? Medicina individualizada es la respuesta, y se define como la práctica de la medicina en donde cada paciente recibe el tratamiento más apropiado, con la dosis más adecuada, basado en el conocimiento de su genoma.

Esta estrategia genera un amplio campo para el debate dentro del marco ético. Si bien una de las ventajas que brindaría este nuevo campo es la posibilidad de conocer la probable respuesta a un fármaco y de esa manera descartar la aplicación de un tratamiento que resultaría ineficaz, uno de los puntos a tener en cuenta es cómo se aseguraría la igualdad en la posibilidad de brindar tratamiento, sabiendo que el "standard" (simple y barato), no resulta efectivo. ¿Acaso los prestadores de salud se negarían a cubrir los gastos pertinentes a un tratamiento eficaz, pero más caro?

³⁷ Uno de los objetivos del PGH desde su inicio fue la creación de un programa que analizara sus implicaciones éticas, legales y sociales: el ELSI (siglas de Etical, Legal and Social Implications). Los capítulos de dicha declaración incluyen los siguientes temas:

1. Dignidad humana y genoma humano
2. Derecho de los individuos
3. Investigación sobre el genoma humano
4. Condiciones para las actividades científicas
5. Solidaridad y cooperación internacional
6. Promoción e implementación de la declaración
7. Internet y las bases de datos electrónicas

La necesidad de realizar investigaciones para brindar tratamientos "a medida", provocaría una segmentación del mercado tan infinita como la variabilidad interindividual, dedicada a investigar y proporcionar a cada habitante una solución "ad hoc". Esto supone un impacto sobre el presupuesto en salud.

Otro interrogante bivalente surge es ¿por qué si el ser humano es capaz de generar fármacos que sirven para acortar la brecha diagnóstico-terapéutica, emerge al mismo tiempo el riesgo del aumento de la brecha de la inequidad en la accesibilidad a estas nuevas posibilidades?

Por otro lado, ¿cómo evitar que la diferencia étnica de respuesta a los fármacos no dé lugar - una vez más! - a las tan vigentes políticas de discriminación y estigmatización racial y de otros tipos, por ejemplo socio-económicas por parte de las compañías aseguradoras?

También podríamos reflexionar sobre si esta forma de interactuar dirigidamente con el genoma, no sería una nueva piedra puesta por el hombre en el camino naturalmente remontado por la evolución.

Esto recién empieza, y no debería perderse de vista la importancia de su difusión en todos los niveles del campo médico.

Retos de México

El rápido avance de la investigación en esta área hace difícil mantener el ritmo necesario en la enseñanza y formación de los profesionales sanitarios especialistas en Genómica. La falta de experiencia y de competencia para comprender las implicaciones clínicas de la Genómica puede suponer un obstáculo para que la introducción de estas nuevas tecnologías sea satisfactoria (Poste, 1998).

Formar profesionales en Genómica sobre las implicaciones y el posible impacto de los análisis farmacogenéticos es de enorme importancia para asegurar la correcta evaluación de los datos recogidos y evitar las prácticas incorrectas y el uso indebido. Dando por supuesto que aumentará el número de análisis genéticos para detectar enfermedades y características fisiológicas, la necesidad de más médicos especializados y de asesores genéticos es obvia. Pero es necesario definir el papel de los asesores genéticos. Sus tareas podrían ser examinar el valor de un análisis en un caso particular y aconsejar si tiene sentido y qué información se va a obtener. Podrían analizar y evaluar el resultado del análisis junto con los expertos del

laboratorio o la empresa que hace el análisis (Euroscreen, 1998). El asesor genético podría asesorar y prestar apoyo tanto a los médicos como a los pacientes. También podría ser de su competencia la prevención de las prácticas incorrectas tanto en la aplicación de los análisis como en el tratamiento de los datos.

Formar a los profesionales sanitarios sobre las implicaciones y el posible impacto de los análisis farmacogenéticos es de enorme importancia para asegurar la correcta evaluación de los datos recogidos y evitar las prácticas incorrectas y el uso indebido

El tratamiento de los datos es muy importante para la aceptación de la terapia basada en la genética. Es crucial confiar en la nueva tecnología, dado que se han producido debates con una elevada carga emocional sobre los organismos modificados genéticamente de importancia para la agricultura y la producción de alimentos. La percepción subjetiva de los riesgos y amenazas asociados a una determinada tecnología puede ser decisiva.

Es crucial confiar en la nueva tecnología, puesto que se han producido debates con una elevada carga emocional sobre los organismos modificados genéticamente de importancia para la agricultura y la producción de alimentos

Con el fin de evitar una reacción contraria serán necesarias normas y medidas protectoras para controlar el uso indebido de los datos personales y las prácticas incorrectas derivadas en los métodos de análisis. También será probablemente prudente que las herramientas para hacer el perfil del paciente no se comercialicen prematuramente y sin una validación rigurosa (Poste, 1998).

Capítulo 4

Estrategias de política científica y tecnológica para el desarrollo de la Medicina Genómica

Entre las preguntas de la presente investigación planteadas en un inicio se encuentran: ¿cuál es el conjunto de estrategias que permitirán orientar con mayor eficacia la toma de decisiones en la creación de políticas públicas y de inversión nacional en actividades innovadoras consideradas de alto riesgo para el desarrollo de la Medicina Genómica en México? y; ¿por qué la innovación como proceso de "destrucción creadora" de un sistema productivo debe incidir, además de en el ámbito económico, también en las políticas públicas y en las instituciones nacionales, tanto públicas como privadas, no-gubernamentales y filantrópicas? Para identificar posibles respuestas a estas interrogantes en este capítulo se aborda el análisis contextual retrospectivo del desenvolvimiento de la política científica nacional. Se presentarán los resultados que el Estado mexicano ha logrado respecto a las actividades de CyT y la política que se ha aplicado.

El análisis retrospectivo considera dos aspectos: (1) las políticas de ciencia y tecnología de México que se relacionan con el tipo de actuaciones que el país realiza en este terreno, así como los instrumentos, la organización institucional y los recursos que destina a estas tareas y, (2) la evaluación de los principales aspectos en los que se centran las políticas de ciencia y tecnología, destacando las líneas a las que se le presta una mayor atención dentro de los diversos programas. Resultado del análisis retrospectivo se observa que los esfuerzos dirigidos al desarrollo de la Medicina Genómica en México son aún incipientes.

4.1. Marco institucional de la política de ciencia y tecnología en México

Antecedentes de la política científica y tecnológica en México

Según Pérez-Tamayo, R. (1994), el precedente en México sobre investigación y el desarrollo tecnológico, y el consecuente desarrollo de la ciencia en México se remontan a la época colonial. Sin embargo la institucionalización del quehacer científico tiene sus antecedentes en el siglo XIX, que se vio interrumpido por los acontecimientos de la Revolución Mexicana y posteriores. La institucionalización de la ciencia y la tecnología no comienza sino hasta la tercera década del siglo XX durante el periodo posrevolucionario y una vez pacificado el país. Es entonces cuando se crea la Academia Nacional de Ciencias en 1930 como un primer ensayo de una institución que agrupó a los científicos del país. Asimismo, la concesión a la autonomía de la UNAM en 1929 y la llegada al país de académicos y científicos de la República Española en 1939, son dos catalizadores importantes de la organización de la investigación científica en México. Históricamente el surgimiento de acciones de política científica y tecnológica son el resultado de exigencias sociales o bien por necesidades del desarrollo capitalista. Como ejemplo el General Lázaro Cárdenas del Río creó el IPN en 1936 para atender la creciente demanda de servicios educativos de la clase trabajadora y para aportar soluciones técnicas a las exigencias del país. Luego fueron establecidos el Colegio de Posgraduados (1950), el Instituto de Ingeniería de la UNAM (1956), el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (1961) y, en los años 70, el sistema de Institutos Tecnológicos, dependientes de la Secretaría de Educación Pública (SEP).

Hechos como la expropiación petrolera y la nacionalización de la energía eléctrica llevaron a la creación de instituciones para atender sus requerimientos, impulsar innovaciones tecnológicas y coadyuvar a garantizar la soberanía energética: la Comisión Nacional de Energía (1955), convertida en Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares en el año 1979, el Instituto Mexicano del Petróleo (1956) y el Instituto de la Industria Eléctrica en (1968), transformado en Instituto de Investigaciones Eléctricas en el año 1975.

Asimismo, para impulsar innovaciones tecnológicas vinculadas a las necesidades regionales se establecieron los Centros de Investigación y Asistencia Tecnológica (1976), que dependen directamente de la SEP y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

En 1921 surge la SEP (1921), el Consejo Nacional de Educación Superior y de la Investigación Científica (1935), el Colegio Nacional (1943), el Instituto Nacional de la Investigación Científica (1950) y la Academia de Investigación Científica (1959), antecesora de la actual Academia Mexicana de las Ciencias. En 1939, México acogió a científicos españoles que hicieron posible la creación de El Colegio de México en 1940, y tiempo después, en la década de 1970, se otorgó refugio a intelectuales sudamericanos exiliados.

Durante su vida como Nación, México para poder gobernar ha pasado por diversos escenarios y modelos económicos que han tenido influencia en el desarrollo del país. Es posible diferenciar dos etapas en el proceso de constitución de la política de ciencia y tecnología. Una primera etapa comprendida en el periodo de 1935³⁸ a 1975 corresponde a los años de la economía cerrada marcada por una política de sustitución de importaciones, y en fase de cambio del modelo de desarrollo, durante la cual la administración de recursos científicos y tecnológicos perseguía de modo general un desarrollo autónomo, y en donde las restricciones fiscales no eran trasladadas a los apoyos que brindaba el CONACYT.

Con este escenario México estaba frente a una fase de una economía cerrada en donde el país se encontraba poco expuesto a los acontecimientos mundiales, afectado solamente por devaluaciones originadas principalmente por el aumento en las exportaciones debido a las guerras³⁹.

Una siguiente etapa se inició a principios de la década de los noventa con la consolidación de la corriente de cambios neoliberales en las políticas públicas. Esta etapa significó una profunda reestructuración de diversos instrumentos y prácticas al interior del aparato constitucional del CONACYT y los recursos que administraba. (Micheli, J. 2004:356) En esa época México firma el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) y con ello se convierte en una economía abierta.

El haber pasado de un modelo de sustitución de importaciones (una economía cerrada) a un tratado de libre comercio (economía abierta) ha significado para México estar más abierto, y

³⁸ Con la creación de CNESIC, publicado en el DOF del 21 de Octubre de 1935, y según el Dr. Monteón González, H. El Consejo Nacional de la Educación Superior y la Investigación Científica (CNESIC) es el antecedente directo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

³⁹ Los países en guerra abastecían sus necesidades a través de los productos mexicanos, lo que encarecía la moneda y, tiempo después, desencadenaba las devaluaciones.

dependiente de los acontecimientos científicos mundiales, además de verse en la necesidad de convertirse en un país globalizado.

Los cambios efectuados durante los años 90 tuvieron como marco condicionante una reestructuración económica que dejaba atrás el modelo de economía cerrada y de amplia intervención del Estado. La incorporación del tema de ciencia y tecnología a esta corriente de transformaciones estuvo sin duda influenciada por la rápida globalización que permitió comparar el desarrollo mexicano en esta materia con las tendencias internacionales.

La incorporación de México a estructuras globalizadas como OCDE y TLCAN, por citar dos de las más relevantes para el campo de la ciencia y la tecnología, tuvieron el efecto de mostrar con claridad la existencia de grandes brechas entre el desempeño científico tecnológico de México y el de otros países. (Micheli, J. 2004:355)

Ante las exigencias de las nuevas relaciones comerciales internacionales que han surgido para México, a partir de la firma del TLCAN con los Estados Unidos y Canadá en 1994, también surgió la necesidad de implementar transformaciones profundas, sobre todo en lo que respecta a infraestructura, tecnología, maquinaria y formación de recursos humanos altamente capacitados, ya que de estos factores dependerá la buena evolución de competencia tecnológicas y organizacionales de México equiparables con las que ofrecen los países industrializados. De acuerdo con la OCDE, la principal institución en México encargada de la política científica y tecnológica es el CONACYT, el cual comenzó a operar en el año de 1970 de manera autónoma y sin restricciones de presupuesto.

El rezago en materia de desarrollo tecnológico que el país ha padecido a lo largo de su historia, e inclusive hasta la actualidad, es la situación crítica por la que atraviesa el sistema educativo nacional, tanto en el aspecto académico como en el financiero, siendo éstos los obstáculos más grandes que existen para poder promover el desarrollo tecnoeconómico de futuras revoluciones industriales, entre ellas el desarrollo de la Medicina Genómica.

A partir de 1980, se comenzó a analizar la importancia de implementar una ley de ciencia y tecnología en México. Para ese entonces era muy notoria la desvinculación que existía entre los centros de investigación científica adscritos a las instituciones educativas, y los sectores productivos público y privado, los cuales sólo excepcionalmente acudían a las instituciones científicas nacionales para el desarrollo de su tecnología.

El CONACYT llegó a tener la opinión de que la razón principal de esa desvinculación radicaba en el carácter dependiente del sector productivo, sobre todo en materia de tecnología, puesto que las empresas son y han sido importadoras de tecnología, a través de la compra de maquinaria y capital del exterior e incluso capital humano. Esto significa que las posibilidades de éxito para vincular al sector productivo con los centros científicos del país (incluidos los que forman parte de alguna institución educativa) serán limitadas si dicho intento lo emprenden solamente los centros científicos y si además no se modifica ese carácter dependiente del sector productivo. También es necesario señalar que, para que el sector productivo reduzca su dependencia tecnológica necesita sustituir gradualmente la tecnología que utiliza por otra que no provenga del exterior, al menos no directamente, sino que sea la respuesta a las necesidades del país, es decir, que nuestros centros de investigación han de generar esa respuesta, dado que la dependencia tecnológica ciertamente es una de las consecuencias del subdesarrollo.

Asimismo es importante comentar que no había ni al menos una ligera coordinación como tal entre las instituciones en las que se realiza investigación de algún tipo, e incluso en el interior de cada una de ellas, lo cual se manifestó de diversas maneras como: eran muy reducidos los proyectos de investigación en los que participaban dos o más instituciones; eran pocas las investigaciones que se habían emprendido, además de que las instituciones contaban con un presupuesto limitado, aun las más grandes, y eran poco frecuentes los convenios para compartir el uso de equipo científico. En general, la orientación de las investigaciones se basaba en decisiones aisladas, no coordinadas, que se tomaban casuísticamente en entidades independientes entre sí.

La necesidad de planear la educación se hacía cada vez más evidente, aún a pesar de los mitos que se habían creado sobre dicha actividad en el sentido de que los recursos disponibles siempre son insuficientes. En lo que se refiere a la educación superior de nuestro país, por ejemplo, era imperativo detener una expansión ciega en la matrícula de algunas carreras, en las que había gran saturación de egresados a causa del prestigio social que tenían esos estudios, habiendo en cambio una escasez crónica en otras áreas. También era evidente la necesidad de redefinir los mecanismos y estrategias mediante los que se seleccionara el para qué, el cómo y el con qué deben de cumplirse las funciones de docencia, investigación y difusión de la cultura.

Por otra parte, muy poco se lograría en el intento de conformar un sistema en cada institución de educación superior y en el conjunto de todas ellas, si la planeación respectiva no fuese

integral. En este punto era preciso reconocer que, planear la investigación científica en el interior de cada institución de educación superior que la realice y entre ellas, era una labor erizada de dificultades, siendo sin duda la mayor de todos los obstáculos lo imprevisible de los resultados que puedan obtenerse en una investigación, sobre todo si es de ciencia básica. A pesar de factores como éste, el hecho era que cada vez se reconocía más la necesidad de planear la investigación científica, en virtud de que la que se realiza en las instituciones de educación superior es subvencionada casi totalmente por el Estado, y éste tiene el deber de vigilar la utilidad pública de los recursos que administra, además del costo directo que tiene la investigación en las instituciones de educación, también puede distinguirse su costo de oportunidad, es decir, lo que cuesta no asignar a otras actividades, como la docente, los recursos destinados a la investigación.

A través de los años, todas estas cuestiones desencadenaron el surgimiento de un marco institucional, bajo el cual el CONACYT pudiera realizar sus funciones, lo que se vio reflejado en la Ley para el Fomento y la Investigación Científica y Tecnológica de 1999 y la Ley de Ciencia y Tecnología en el año 2002, las cuales toman en cuenta todos los aspectos discutidos con anterioridad.

Ley de Ciencia y Tecnología

A partir de los noventa, en el CONACYT se comenzó una reestructuración en cuanto a política en ciencia y tecnología se refiere, que culminó en 1999, con la Ley para el Fomento y la Investigación Científica y Tecnológica, que a su vez significó un antecedente para que en el año 2002 se publicara la Ley de Ciencia y Tecnología. Con ella, se intenta dar solidez institucional a la actividad de CyT dentro de un escenario institucional, ya que se define a éstas como actividades de promoción obligatoria por parte del Estado. Su objetivo principal es regular los apoyos que el gobierno brinde a la actividad de investigación. La ley plantea un conjunto de instancias que permiten institucionalizar la representatividad de los diversos actores que llevan a cabo la toma de decisiones en materia de I+D en México. Las principales aportaciones en materia de política en ciencia y tecnología son:

- La definición de un Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología como un eje de articulación y ejecución de la política científica y tecnológica.
- La definición de nuevos actores e instancias para toma de opinión y decisiones (Consejo General, Foro Consultivo, Conferencia Nacional).

- Limita la participación de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) en la búsqueda de otorgar mayor autonomía financiera, administrativa y operativa a los centros públicos de investigación.
- La búsqueda por definir de manera más clara, en comparación con el ordenamiento jurídico interior, los procesos, los actores y las facultades de las instancias involucradas en el sistema de ciencia y tecnología.
- Una visión orientada a la atención de las necesidades del aparato productivo, encomendando a los centros públicos de investigación la conformación de alianzas y empresas en base tecnológica.
- Una visión orientada al desarrollo regional.

El Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología tiene dentro de sus actores institucionales un Consejo General de la Investigación Científica y de Desarrollo Tecnológico, el Foro Consultivo Científico y Tecnológico, la Red Nacional de Grupos y Centros de Investigación, la Conferencia Nacional de Ciencia y Tecnología, el RENIECYT y el Comité para definir el manejo del estímulo fiscal al desarrollo tecnológico de las empresas.

El Consejo General, es el órgano de política y coordinación que definirá la política de estado en materia de CyT. Se encuentra integrado por el Presidente de la República (quien lo presidirá), así como por los directivos de las principales secretarías como son: la Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE), la SHCP, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Energía (SENER), la SE, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), la Secretaría de Educación Pública (SEP), la Secretaría de Salud, el Director General del CONACYT en su carácter de Secretario Ejecutivo del propio Consejo General y el Coordinador General del Foro Consultivo Científico y Tecnológico, más cuatro miembros honorarios. De acuerdo con el artículo 5 de la Ley de Ciencia y Tecnología de 2002, dentro de las principales actividades del Consejo se encuentra el establecer las políticas nacionales para el avance científico y la innovación tecnológica que apoyen el desarrollo nacional, definirá la asignación del gasto público federal en ciencia y tecnología (GFCyT), en base a programas específicos y prioritarios, realizar evaluaciones sobre la eficacia, resultados e impactos de los programas e instrumentos de apoyo a la investigación científica y tecnológica.

Es evidente que por la forma en la que se encuentra integrado dicho consejo, se da la posibilidad de tomar en cuenta todos los aspectos relevantes en la economía y sus necesidades, así como un mejor seguimiento de los resultados de las políticas que se impongan en los programas que a cada secretaría le competen, esté se levará acabo de forma periódica.

La política de ciencia y tecnología

La importancia de la existencia de una política de ciencia y tecnología que impulse la investigación radica en la creación de un bien público⁴⁰ que es el conocimiento, con el cual se promueve el desarrollo económico, social y tecnológico de un país, puesto que se crean externalidades positivas para los agentes económicos. Las primeras teorizaciones sobre la llamada “política pública” fueron hechas en el siglo XX por académicos de la administración pública norteamericana quienes utilizan la palabra “policy” para definir todo lo referente a la hechura de políticas. En inglés *politics* y *policy* tienen connotaciones diferentes (Escobar, G. G. 2003), la primera tiene que ver con la política vista desde los parámetros de la ciencia política, en todo lo referente a la teorización sobre la esencia de la política; mientras que, con la segunda existe una referencia a las políticas que se planean y ejecutan como acciones de gobierno determinadas para satisfacer las demandas de los gobernados.

El proceso de la *policy* consta de cinco etapas: (Escobar, G. G. 2003:3)

1. Etapas de gestación: surge el problema a partir de las necesidades de la colectividad y se busca una agenda pública como intercambio político.
2. Etapas de decisión: se definen las múltiples posibilidades de solución y se llega al mejor camino posible.
3. Etapas de implementación: se toman en cuenta los elementos de oposición de intereses y se enfoca un proceso de intercambio político.
4. Etapas de ejecución: se lleva a cabo la *policy*, tomando siempre en cuenta los posibles cambios que hagan variar la estrategia para realizar ajustes sobre la marcha.

⁴⁰ Definiéndose el bien público como aquel bien que el Estado provee, y además es el tipo de bien que presenta un consumo conjunto, es decir, que proporciona utilidad a más de un individuo. Su consumo por un individuo no excluye a los demás individuos.

5. Etapas de evaluación: a partir de una referencia de valor se emite un juicio y se definen los criterios con los que se contrasta el dato⁴¹.

Es precisamente en las primeras etapas donde se generan los problemas para la creación de una política de ciencia y tecnología adecuada al país.

Cuando se habla de política de ciencia y tecnología se debe tomar en consideración los recursos que se destinarán para llevar a cabo dicha política. El financiamiento puede ser provisto por los agentes privados, las empresas o por el gobierno. Las becas, inversiones, incentivos y estímulos que provee el Estado a los centros de investigación generan conocimiento, el cual lamentablemente no siempre genera beneficios para el país que invierte en ello. En muchas ocasiones los científicos en los que se invirtieron fondos durante largos años terminan trabajando en el extranjero (fuga de cerebros) o en compañías privadas en donde solamente sus propietarios se benefician (en términos financieros) con la investigación que se realiza dentro de ellas, creando una externalidad negativa para la economía. (Fonfría, A., Heijis, K., Jiménez, F., Zofío, J. L. y Presmanes, B. 1998:4). Sin embargo la fuga de cerebros se puede aprovechar mediante un plan de redes de investigadores nacionales en el extranjero. Un plan cuyo objetivo sea el de absorber las capacidades tecnológicas internacionales identificando oportunidades de cuerpos colegiados nacionales. De ahí la importancia de establecer estrategias de política en ciencia y tecnología que contenga lineamientos basados en redes y sustentados en los objetivos y necesidades del país. Teniendo bien claro estos aspectos se pueden encaminar las políticas y programas a ellos, para poder impulsar de manera sustentada el desarrollo del país, evitando planes y proyectos poco realistas. Si se están destinando recursos en I+D dentro de un país para que éstos sean bien aprovechados, las actividades de I+D deben de estar encaminadas lo más posible al crecimiento y desarrollo económico que tiene el país y, es poco conveniente estar invirtiendo en científicos que únicamente se dediquen a publicar sin el pragmatismo que materialice los

⁴¹ En las teorizaciones que se han hecho sobre *policy making* hay un especial énfasis sobre las nuevas tareas del Estado en las que ya no se buscan los parámetros de gobierno de antaño. De hecho, según Luis F. Aguilar Villanueva “El nuevo patrón de *policy making* modifica reglas (escritas o no), expectativas (legales o no), concepciones (meduradas o desmeduradas) de la relación entre sociedad y gobierno. En esencia, se redefinen los linderos del ámbito político y del ámbito privado. Ocorre una redistribución del poder político y un reacomodo de la cultura política a consecuencia de la reducción, el “adelgazamiento del Estado. Al mismo tiempo, emergen nuevos actores políticos con organizaciones, ideas, prácticas y discursos alternativos, con líderes nuevos. Asimismo, el redimensionamiento del gobierno se orienta hacia la reforma del Estado”.

descubrimientos, evidencias y/o hallazgos científicos mediante la creación de satisfactores a necesidades concretas.

La decisión del gobierno de llevar a cabo una política que destinará recursos a cierta rama, como es el caso de la Medicina Genómica es asequible y viable con la visión de que, en un futuro, esa rama se desarrollará, y para lo cual necesitará capital humano y tecnología a fin de sustentarse y seguir creciendo.

El papel del Estado Mexicano en la hechura de políticas en ciencia y tecnología

Según la OCDE, en México la principal institución encargada de la política científica y tecnológica es el CONACYT. El CONACYT fue creado el 27 de diciembre de 1970 por Ley del Congreso de la Unión publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 29 de diciembre del mismo año, y reformada por Decreto expedido el 27 de diciembre de 1974. Primordialmente, la reforma modificó 10 artículos referentes a la integración y funcionamiento de la Junta Directiva de la institución.

El CONACYT tiene como misión impulsar y fortalecer el desarrollo científico y la modernización tecnológica de México, mediante la formación de recursos humanos de alto nivel, la promoción y el sostenimiento de proyectos específicos de investigación y la difusión de la información científica y tecnológica.

En la actualidad el énfasis de las políticas, acciones y criterios mediante los cuales el CONACYT fomenta la investigación científica y el desarrollo tecnológico están contenidos en el Programa Especial de Ciencia y Tecnología (PECYT⁴²). Por lo tanto, el CONACYT es una institución gubernamental que desarrolla dentro de su administración, la inversión de fondos públicos para el desarrollo de actividades de producción científica y desarrollo de tecnología, así como el financiamiento a los estudios de posgrado. A través del PECYT el CONACYT ha instrumentado el plan nacional de ciencia y tecnología cuyo objetivo es integrar y coordinar el esfuerzo nacional para dar impulso a las actividades científicas y tecnológicas del país.

Los principales cambios estructurales contenidos en el PECYT son:

⁴² Decreto publicado en el Diario Oficial el jueves 12 de diciembre de 2002. Decreto por el que se prueba y se expide el programa denominado Programa Especial de Ciencia y Tecnológica 2001-2006.

- Alentar y favorecer de manera preferencial a los proyectos orientados a la solución de problemas de la población aprobados por las dependencias del gobierno federal encargadas de resolverlos, y que involucran a grupos de investigadores, más que a investigadores individuales, y generen redes de investigación entre los diversos centros.
- Promover e impulsar la mutualidad de formación de recursos humanos de alta calificación a los proyectos de investigación, o sea, la formación de posgraduados.
- Sustentar proyectos orientados a incrementar la competitividad de los sectores productivos nacionales y que generen consorcios de investigación entre empresas, centros de investigación e instituciones de educación superior sin descuidar la investigación básica.
- Favorecer proyectos que tengan impacto en el desarrollo regional para acelerar la descentralización de las actividades científicas y tecnológicas

Existen otras instituciones encargadas de realizar investigación en CyT como son la Secretaría de Economía (SE) la cual, junto con el CONACYT, ha formado un fondo llamado "Fondo Sectorial de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Económico" orientado a apoyar con recursos concurrentes a las empresas establecidas en México, y registradas o en trámite de registro en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (RENIECYT), en la ejecución de proyectos de investigación, innovación y desarrollo tecnológico que eleven su nivel de competitividad y/o que promuevan la creación de nuevos negocios de alto valor agregado. Estos proyectos tienen seguimiento por medio de SE y CONACYT, con el fin de seguir los avances que se vayan teniendo e identificar si verdaderamente las inversiones están alcanzando los objetivos deseados. La UNAM, IPN e Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), a través de sus diversos centros de investigación, fortalecen el objetivo de integrar a México al mundo globalizado mediante la investigación en CyT.

El Foro Consultivo Científico y Tecnológico

El Foro Consultivo Científico y Tecnológico es el órgano autónomo y permanente de consulta del Poder Ejecutivo, del Consejo General y de la Junta de Gobierno del CONACYT. Según el artículo 36 de la Ley de Ciencia y Tecnología de 2002, el Foro estará formado por una mesa directiva formada por diecisiete integrantes, catorce de los cuales serán los titulares que representen a las siguientes organizaciones: la Academia Mexicana de Ciencias (AMC), la

Academia de Ingeniería de México (AI), la Academia Nacional de Medicina de México (ANMM), la Asociación Mexicana de Directivos de la Investigación Aplicada y Desarrollo Tecnológico (ADIAT), la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES), la Confederación Nacional de Cámaras Industriales, Consejo Nacional Agropecuario y un representante de la Red Nacional de Consejos y Organismos Estatales de Ciencia y Tecnología, la UNAM, el IPN, el CINVESTAV del IPN, la Academia Mexicana de la Lengua, la Academia Mexicana de Historia y el Consejo Mexicano de Ciencias Sociales.

La Red Nacional de Grupos y Centros de Investigación tiene por objeto definir estrategias y programas conjuntos, articular acciones, potenciar recursos humanos y financieros, optimizar infraestructura, propiciar intercambios y concretar esfuerzos en las áreas más relevantes para el desarrollo nacional, así como formular estudios y programas orientados a incentivar la profesión de investigación, fortalecer y multiplicar grupos de investigadores y fomentar la movilidad entre estos; proponer la creación de nuevos grupos y centros y crear redes en áreas estratégicas del conocimiento (artículo 30 de la Ley de Ciencia y Tecnología de 2002). Sus integrantes podrán adscribirse voluntariamente, formando grupos y centros de investigación públicos, sociales y privados, independientes o pertenecientes a las instituciones de educación superior, es decir, actores directos de la actividad de la investigación.

Conforme al artículo 31 de la Ley de Ciencia y Tecnología de 2002, la Conferencia Nacional de Ciencia y Tecnología, es la encargada de la coordinación institucional entre el CONACYT y las dependencias o entidades de los gobiernos de las entidades federativas y estará integrado por los gobernadores de los estados.

El RENIECYT tiene como responsabilidad el llevar a cabo un sistema integrado de información sobre las actividades de CyT y sus actores. La formación de sus integrantes es voluntaria, pero estar registrado es condición para recibir recursos públicos para actividades de CyT.

Según el artículo 29 de la Ley de Ciencia y Tecnología de 2002, el Comité para definir el manejo del estímulo fiscal al desarrollo tecnológico de las empresas está formado por un representante del CONACYT, quien tiene voto de calidad en la autorización de proyectos de CyT, uno de SHCP, uno de la SE y uno de SEP. Tendrá por objeto dar un estímulo fiscal de acuerdo al artículo 219 de la Ley del Impuesto Sobre la Renta, que estipula que se brindará un

estímulo por el 30% de la inversión en I+D, de las empresas, sobre el monto del impuesto sobre la renta.

La nueva organización institucional de esta ley tiene por objetivo principal conducir al país a la globalización mundial a través de sus diferentes instancias, que actuando conjuntamente dotarán de la capacidad necesaria al país para competir mundialmente, por lo cual dentro de esta ley se encuentran como objetivos el vincular la investigación científica y tecnológica con la educación, regular los apoyos del gobierno federal para su impulso, determinar instrumentos mediante los cuales el gobierno federal cumplirá con el apoyo en investigación científica y tecnológica, apoyar a grupos de investigación científica y tecnológica que lleven a cabo las instituciones públicas de educación superior, incrementar la capacidad científica y tecnológica en la formación de investigadores para resolver problemas nacionales fundamentales. Todas las actividades se apegarán a planes establecidos, basados en el mayor beneficio que puedan generar. Se buscará que existan tanto aportes de recursos públicos como privados, para la ejecución de proyectos, buscando con ello la innovación y desarrollo tecnológico en la industria. Se realizarán programas que incentiven al sector público para que realice inversiones y con ello se impulse el desarrollo del país.

A partir de los años noventa se han canalizado, los recursos destinados a la investigación y tecnología, a puntos clave en la economía de manera creciente. En el informe de CONACYT (2002) se señala que, entre 1990 y 2000 los recursos tuvieron un crecimiento del 8.9% anual, rebasando la tasa de crecimiento del PIB que fue del 3.5% y el gasto total del gobierno de 3.8%.

4.2. Recursos públicos destinados a las actividades de ciencia y tecnología

La inversión nacional (pública y privada) en I+DT es una de las áreas con mayor rezago. En cuanto a la proporción de recursos que destina el sector público y el privado las cifras se pueden observar en el **cuadro 3**.

| Cuadro 3 INVERSIÓN NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA, 2004/p | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|
| Por sector de financiamiento | | | | | | | | | | | | | | |
| Millones de pesos corrientes | | | | | | | | | | | | | | |
| Actividad | Sector Público | | | | | | IES | Sector Privado | | | | Total | %del GNCYT | %del PIB |
| | Inversión Federal | | | Estímulo fiscal | Estados ^{1/} | Total | | Inversión de las familias | Sector Productivo | Sector externo | Total | | | |
| | Sectores | CONACYT | Total | | | | | | | | | | | |
| IDE | 15,473.2 | 2,325.5 | 17,798.7 | 1,000.0 | 155.5 | 18,954.2 | 2,554.8 | | 12,929.8 | 248.8 | 13,178.6 | 34,687.6 | 58.6% | 0.45% |
| Posgrado | 3,480.6 | 1,866.3 | 5,346.9 | | 450.0 | 5,796.9 | 1,126.3 | 1,550.0 | 662.1 | | 2,212.1 | 9,135.4 | 15.4% | 0.12% |
| Servicios CyT | 4,030.6 | 514.1 | 4,544.7 | | | 4,544.7 | 1,239.9 | | 9,598.3 | | 9,598.3 | 15,383.0 | 26.0% | 0.20% |
| Total | 22,984.4 | 4,705.9 | 27,690.3 | 1,000 | 605.5 | 29,295.8 | 4,921.1 | 1,550.0 | 23,190.2 | 248.8 | 24,989.0 | 59,205.9 | 100% | 0.78% |
| | 38.8% | 7.9% | 46.8% | 1.7% | 1.0% | 49.5% | 8.3% | 2.6% | 39.2% | 0.4% | 42.2% | 100.0% | | |
| p/ Estimación preliminar. | | | | | | | | | | | | | | |
| 1/ Aportaciones de los Gobiernos Estatales a los Fondos Mixtos y Educación de Posgrado. | | | | | | | | | | | | | | |
| FUENTE: CONACYT. | | | | | | | | | | | | | | |
| PIB = 7,634,926.1 millones de pesos. Fuente: INEGI. | | | | | | | | | | | | | | |

Desde la creación de CONACYT en 1970, se planteaba la urgente necesidad de alcanzar al menos el 1% del PIB en esta materia y utilizar el capital intelectual y la investigación como uno de los ingredientes fundamentales para resolver problemas de interés público e impulsar la competitividad del país. La estructura y las tendencias del gasto en I+D se han visto modificadas a partir de la década de los años noventa. Como ya se mencionó dos hechos importantes resaltan cuando se habla del cambio en la estructura en cuanto al gasto destinado a CyT como lo fueron: 1) la incorporación de México a la OCDE y 2) la firma del TLCAN, se sostiene que ambos eventos en 1994 tuvieron el efecto de mostrar la existencia de grandes brechas entre el desempeño científico tecnológico de México y el de otros países. (Micheli, J. y Oliver, R. 2004:361) Otro hecho importante que marcó en los últimos años un cambio en la estructura de los recursos públicos a este sector fue la creación del ramo 38. A partir de 2002 el CONACYT y los 27 centros de investigación coordinados dejaron de estar sectorizados en la SEP, debido a la instauración del ramo administrativo 38: CONACYT, como lo marca la Ley de Ciencia y Tecnología. Con la creación del ramo 38 los recursos quedan destinados como lo muestra el cuadro 4.

Cuadro 4. Ramo 38 CONACYT: Destino de los recursos fiscales.

| DESTINO | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. CONACYT | |
| a) | Fondos Sectoriales y Mixtos |
| • | Fondos Sectoriales |
| • | Fondos Mixtos |
| b) | Becas |
| c) | S N I |
| d) | Fondos Institucionales |
| e) | Difusión y Administración |
| 2. Centros – CONACYT | |

Fuente: CONACYT, Programa de Trabajo Institucional, 2003.
Ramo 38: CyT.

La importancia de la creación del Ramo 38 consiste en que el sector puede orientar su política de gasto a programas específicos de CyT, sin estar orientado a como anteriormente a través de la SEP. Secretaría a la cual estaba sectorizado su presupuesto, y por lo tanto la orientación en I+DT eran incorporados con una orientación general para propósitos de la misma Secretaría de Estado.

Gasto Federal en Ciencia y Tecnología

El Gasto Federal en Ciencia y Tecnología (GFCyT) es el conjunto de erogaciones que por concepto de gasto corriente, inversión física, inversión financiera, así como pago de pasivos o deuda pública, realizan las Secretarías de Estado y los departamentos administrativos; la Procuraduría General de la República; los organismos públicos autónomos; los organismos descentralizados; las empresas de control presupuestario directo e indirecto; los fideicomisos en los que el fideicomitente sea el Gobierno Federal para el financiamiento de las actividades científicas y tecnológicas, principalmente. Este gasto comprende las tres actividades científicas y tecnológicas: (1) Investigación y desarrollo experimental (IDE), (2) educación y enseñanza científica y técnica (formación de recursos humanos a nivel de posgrado), y (3) servicios científicos y tecnológicos. (CONACYT. 2004:20)

La estructura y las tendencias del gasto en I+D se ve modificada a partir de la década de los años noventa; y como dato notable se tiene que los montos destinados a esta actividad fueron dinámicos en su evolución, comparados con la economía en su conjunto. Estos cambios mencionados tuvieron como marco condicionante una reestructuración económica que dejaba atrás el modelo de desarrollo cerrado y de amplia intervención del Estado; en sus inicios se tuvo que el tema de CyT estuvo influenciado por el contexto de un mundo globalizado, lo que permitió confrontar el desarrollo mexicano en esta materia con las tendencias que se daban en el mundo al respecto de la CyT.

La perspectiva de la OECD ayudó también a dimensionar las diferencias entre México y otros países, e igualmente fomentó el estudio en nuestro país de las tendencias de los sistemas de innovación y las políticas aplicadas a CyT. Gracias a la aplicación del llamado Manual de Frascati fines de los 80, permitió comenzar a definir los componentes del esfuerzo gubernamental en CyT, y dio por resultado una primera reestructuración al respecto, plasmada en el Programa Nacional de Ciencia Tecnología de 1990-1994. Durante los años noventa, la nueva estrategia desarrollada en esta área se caracterizó por sostener prioridades definidas, y por el logro de canalizar recursos crecientes en un contexto macroeconómico de poca estabilidad.

En este nuevo contexto resultó especialmente importante la propagación de los conceptos que se apartaban del modelo de la ciencia y la tecnología, y que dieron pie para entender las formas complejas en que las capacidades tecnológicas eran parte de la actividad económica.

También durante la década de los noventa el gasto público fue creciente en las actividades de CyT, y su dinamismo de 8.9 % anual entre 1990 y 2000 rebasó indicadores macroeconómicos como el de crecimiento del PIB de 3.5 %, y el del mismo gasto total del gobierno de 3.8%.

El GFCyT se integra con los componentes presupuestales de las distintas dependencias estatales que destinan recursos en ese campo. Dicho gasto específico representó en promedio 233% del gasto público total en 1990-2000, y 037 % respecto a la economía nacional. A partir de los datos del cuadro 5. y gráfica 19, se puede observar una tendencia ascendente debido a que en 1990 significaba solamente el 1.74% del gasto del sector público y 0.28% del PIB, y para el año 2000 el porcentaje fue de 2.68% y de 0.41%.

Cuadro 5. Gasto federal ejercido en ciencia y tecnología, 1990-2003.

(Millones de pesos)

| | 1990 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|---|---------|---------|---------|----------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|
| Total* | 2,035.2 | 6,483.7 | 8,839.6 | 13,379.9 | 17,789.1 | 18,788.1 | 22,923 | 23,993.5 | 24,954.1 | 27,425.8 |
| Proporción del gasto programable del sector público | 0.28 | 0.35 | 0.35 | 0.42 | 0.46 | 0.41 | 0.42 | 0.41 | 0.41 | 0.42 |
| Proporción del PIB | 1.74 | 2.23 | 2.19 | 2.53 | 2.96 | 2.64 | 2.68 | 2.56 | 2.42 | 2.53 |

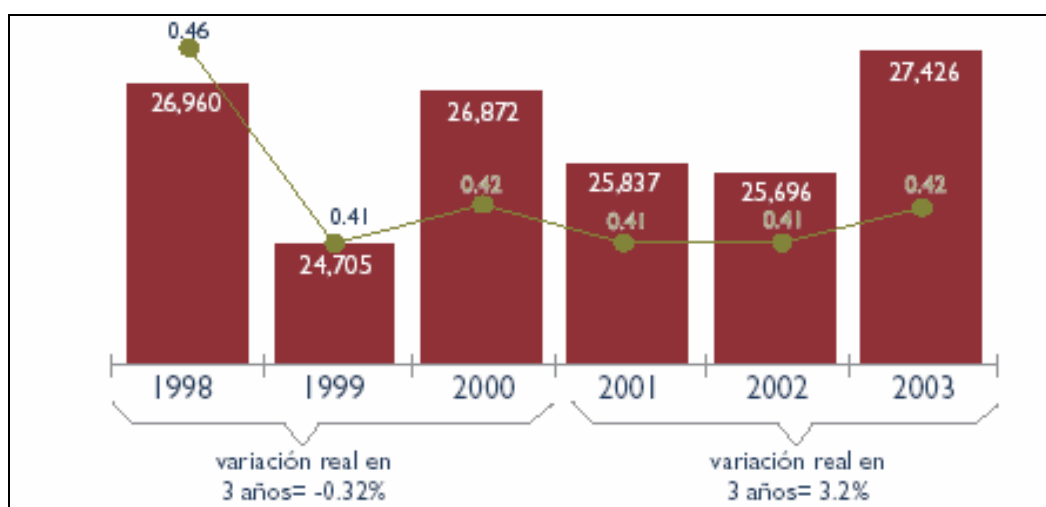
*Precios Corrientes.

Cifras estimadas.

Fuente: Anexo del tercer informe de gobierno 2003.

Gráfica 19. Gasto federal en ciencia y tecnología, 1998-2003.

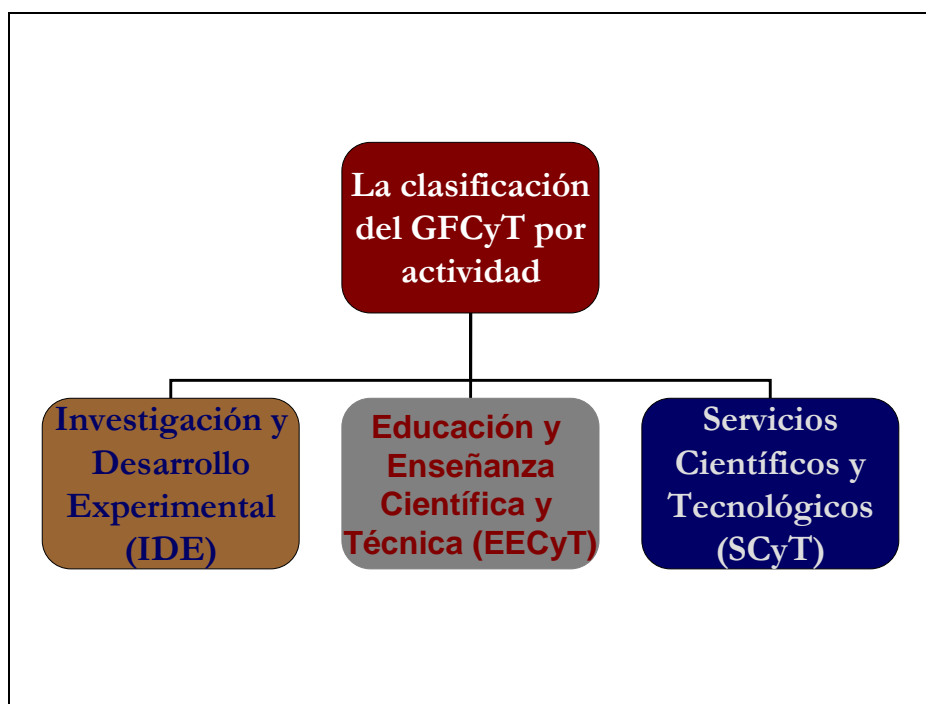
(Millones de pesos y porcentaje del PIB)



Fuente: CONACYT. Informe 2001-2003. Perspectivas para el 2004.

Como se puede ver en el cuadro 6., el GFCyT está compuesto por tres rubros: I+D experimental, gasto en servicios científicos y tecnológicos y el de educación y enseñanza científica y técnica. (CONACYT, 2004:41)

Cuadro 6. Clasificación del gasto federal en ciencia y tecnología.



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las cifras observadas en los tres rubros se tiene lo siguiente en el cuadro 7:

Cuadro 7. Composición del gasto federal en ciencia y tecnología, 1993-1999.

(Porcentajes)

| | PARTICIPACION | CRECIMIENTO ANUAL |
|--|----------------------|--------------------------|
| Gasto en I+D experimental | 58.1 | 7.1 |
| Servicios científicos y tecnológicos | 21.5 | 21.5 |
| Educación y enseñanza científica y técnica | 20.4 | 14.6 |

Fuente: Cálculos elaborados a partir de datos de CONACYT (2000).

Resulta evidente que la I+D es el mayor de los componentes del gasto público en CyT, sin embargo, éste presentó un menor ritmo de crecimiento durante los años 90.

Se advierte que no ha existido cambio alguno en el patrón de comportamiento en la estructura de la fuente del gasto, ya que el gobierno mantuvo su participación mayoritaria y creciente en el origen del mismo. Cabe notar que en un lejano segundo plano, el gasto originado en el sector productivo ha mantenido también una tendencia creciente.

El patrón de comportamiento en cuanto al destino del gasto señala en cambio, una importante modificación con la falta de interés hacia el sector educativo, y el rápido crecimiento del gobierno y del sector productivo. Otorga título de licenciatura, los estudios de posgrado, capacitación y actualización posteriores, así como la formación permanente y organizada de científicos e ingenieros.

En suma, los recursos para la I+D han tenido una reorientación drástica, lo cual significa que los centros de investigación gubernamentales ganen con ello presencia al igual que el sector productivo en menor medida, mientras que las instituciones de educación la han perdido.

Resulta interesante observar el primer ejercicio de presupuestación bajo la nueva modalidad del ramo 38. A partir de 2003, los recursos habilitados para el CONACYT fueron de 8.6 miles de millones de pesos (cuadro 8), lo que significaba 7.8% de incremento anual. Estos recursos representan 30.7% del GFCyT.

Cuadro 8. Estructura del presupuesto de CONACYT, 2003.

(Miles de millones de pesos)

| DESTINO | MONTO | ESTRUCTURA % |
|-----------------------------|--------------|--------------|
| CONACYT | 5,045 | 58.3 |
| Fondos Sectoriales y Mixtos | 675 | 11.2 |
| Becas | 1,619 | 18.7 |
| SNI | 1,062 | 12.3 |
| Otros | 1,389 | 16.0 |
| Centros CONACYT | 3,611* | 41.7 |
| Total | 8,656 | 100.0 |

* Incluye 720 por recursos propios.

Fuente: Elaborado en base a información disponible en:

http://www.conacyt.mx/comunicacion/programa_trabajo-dg.htm Para 2003, el nuevo Ramo

Presupuestario 38: CyT recibió recursos por 8,596.3 millones de pesos, que representan un incremento real de 4.3% sobre los recursos federales asignados en 2002. Este monto incluye el apoyo por 3,555.3 millones de pesos a las 27 entidades del Sistema de Centros de Investigación-CONACYT.

La estructura presupuestaria por objetivos es la siguiente: 58.3% destinada al CONACYT y 41.7% para los centros SEP-CONACYT. Estos, a su vez, generan recursos propios equivalentes a 20% de sus ingresos por vía fiscal. El presupuesto de CONACYT, a su vez, se divide en becas, con 18.7% del total, el SNI con 12.3%, los Fondos Sectoriales y Mixtos con 11.2% y el rubro de Otros, con 16.0%.⁶ Agrupando estos recursos por objetivo funcional, tenemos que para las actividades de I+D podemos contabilizar 52.9% del presupuesto; para la formación de recursos humanos 18.7% y para el sostenimiento de salarios de la masa crítica de investigadores 12.3%.

El enfoque que CONACYT ha dado a la administración de recursos para CyT en los Fondos Sectoriales y Mixtos tiene las siguientes características: a) Recursos concurrentes del CONACYT y de las secretarías y organismos o gobiernos estatales y municipales, b) Convocatorias públicas de carácter nacional, c) Definición de temática y prioridades por Sector, con ayuda de especialistas de cada área, d) Evaluación de propuestas por expertos científicos y tecnólogos, y e) Asignación de recursos a las mejores propuestas a través de procesos competitivos. (CONACYT, 2004:17). Ver cuadro 9.

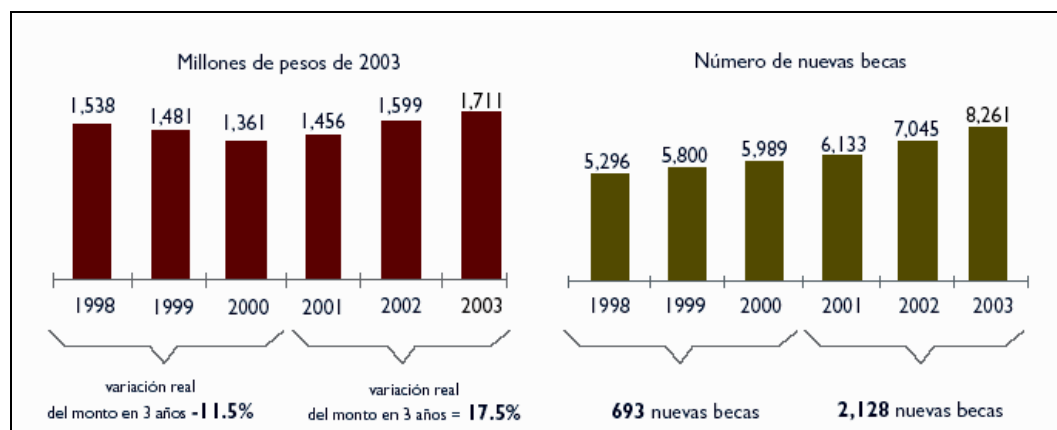
Cuadro 9. Propuestas recibidas y recursos solicitados a Fondos Mixtos y Sectoriales.

| | AÑO | |
|---|-------|--------|
| | 2002 | 2003 |
| Propuestas recibidas | 5,200 | 6,000 |
| Monto solicitado (millones de pesos) | 9,100 | 11,000 |
| Recursos asignados (millones de pesos) | 1,894 | 2,276 |
| Proyectos aprobados | 1,507 | 1,800 |

Fuente: CONACYT. Informe 2001-2003. Perspectivas para el 2004.

En cuanto a becas, en 2003 se otorgaron 8,261 nuevas becas de posgrado (gráfica 20), lo que significa que los recursos financieros destinados a becas registraron un crecimiento real de 17.6% contra una disminución de 11.5% en los períodos antes señalados.

Gráfica 20. Evolución del Programa de Becas de Posgrado 1998-2003.



Fuente: CONACYT. 2004. Informe 2001-2003. Perspectivas. P. 19.

En México existen aproximadamente 28,500 investigadores, de los cuales alrededor de 10,000 se encuentran en instituciones de educación superior, 10,000 en centros públicos de investigación y 8,500 en empresas del sector productivo.

El Sistema Nacional de Investigadores se conforma de científicos y tecnólogos acreditados a través de rigurosos sistemas de evaluación, a los cuales se les otorga un reconocimiento monetario por sus contribuciones científicas y tecnológicas que equivale en números actuales, al 12% del presupuesto del CONACYT.

Al término de 2003, el Sistema Nacional de Investigadores estaba conformado por 10,189 miembros, lo que significa que de 2001 a 2003 se incorporaron 2,723 nuevos investigadores, rebasando, en estos tres años, el crecimiento de 1,598 nuevos investigadores que hubo en todo el sexenio anterior. (CONACYT, 2004:24)

Comparaciones Internacionales

Al analizar la situación de nuestro país con otras naciones, México ocupa un lugar poco favorable en relación con diversos indicadores del gasto en investigación y desarrollo

experimental (GIDE). De esta manera, en el cuadro 10. se muestra que la inversión registrada en territorio nacional representó sólo el 0.40% del PIB en el año 2002, lo cual coloca a nuestro país sólo por arriba de Argentina, que registra una cifra de 0.39%, pero por debajo de otras economías llamadas emergentes, como es el caso de Chile, India, China y Brasil, países con los que México compite por atraer flujos de inversión extranjera directa.

Cuadro10. Participación del gasto en investigación y desarrollo experimental en el producto interno bruto por país, 2002.

(Porcentaje)

| PAÍS | GIDE / PIB % |
|-------------------------------|--------------|
| Argentina | 0.39 |
| México | 0.40 |
| Chile | 0.60 |
| Cuba | 0.62 |
| India (2001) | 0.84 |
| España | 1.03 |
| China | 1.23 |
| Brasil (2000) | 1.04 |
| Canadá | 1.91 |
| Alemania | 2.52 |
| Corea | 2.91 |
| Estados Unidos | 2.67 |
| Japón | 3.12 |
| Finlandia | 3.46 |
| Suecia | 4.27. |
| Promedio OCDE | 2.26 |
| Promedio Unión Europea (2000) | 1.93 |
| Promedio América Latina | 0.64 |

Fuente: CONACYT-INEGI, Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Experimental 2002.

OCDE, Main Science and Technology Indicators 2003-2.

De hecho, nuestro país se ubica por debajo del promedio latinoamericano de 0.64%, situación preocupante debido a que este promedio regional se incrementó respecto al año anterior, cuando se situó en 0.61%, mientras que la relación GIDE/PIB de México se ha estancado en la cifra antes mencionada. (CONACYT, 2004:22)

Por otra parte, aún nos encontramos muy lejos de los porcentajes de PIB destinados a IDE en países desarrollados y aún de nuestros principales socios comerciales, como Canadá (1.91%) y Estados Unidos (2.67%) (ver cuadros 11 y 12).

Cuadro 11. Fuentes de financiamiento del gasto en investigación y desarrollo experimental por país, 2003 (%).

| PAÍS | FUENTE DE FINANCIAMIENTO | | |
|----------------------|--------------------------|-------------|-------------|
| | GOBIERNO | INDUSTRIA | OTROS/1 |
| Alemania | 32.1 | 65.1 | 2.8 |
| Canadá | 34.0 | 44.3 | 21.7 |
| EUA | 31.2 | 63.1 | 5.7 |
| España(2002) | 39.1 | 48.9 | 12.0 |
| Francia (2001) | 36.9 | 54.2 | 8.9 |
| Italia (1999) | 51.1 | 43.9 | 5.0 |
| Japón (2002) | 18.2 | 73.9 | 7.9 |
| México (2001) | 59.1 | 29.8 | 11.1 |
| Reino Unido (2002) | 26.9 | 46.7 | 26.4 |
| Suecia (2001) | 21.0 | 71.9 | 7.1 |

Notas /1 El concepto "otros" corresponde a contribuciones de los sectores educación superior, instituciones privadas no lucrativas y del exterior.

Fuentes: (1) INEGI-CONACYT, Encuesta sobre I+DT, 2002, y (2) OCDE, Main Science and Technology Indicators, 2004/1.

Cuadro 12. Gasto Interno en la investigación y desarrollo y asignación presupuestaria pública para investigación y desarrollo (% del producto interno bruto).

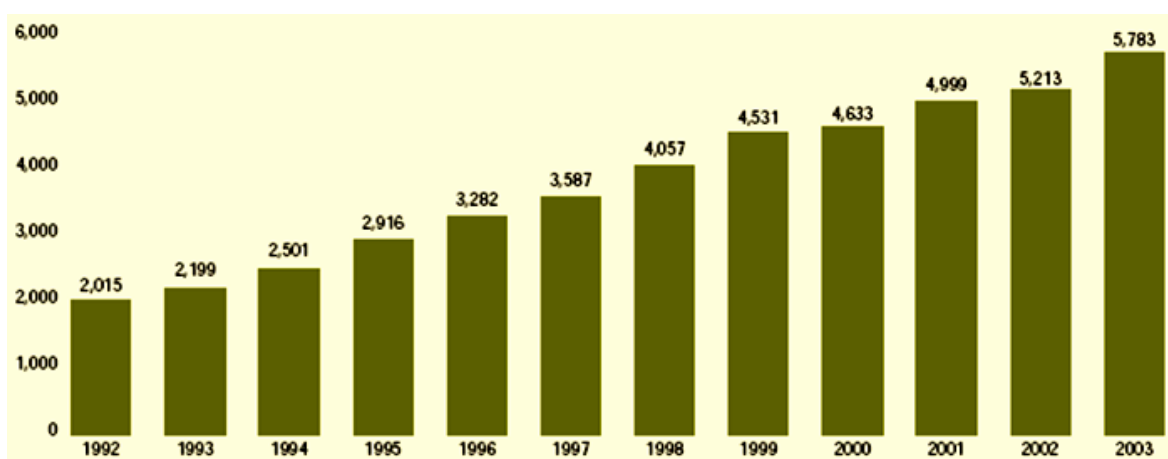
| GASTO INTERNO EN LA I+D (% DEL PIB) | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|----------|--------|-------|--------|-------------|---------|
| CONCEPTO/AÑO | MÉXICO | EUA | CANADÁ | ALEMANIA | ESPAÑA | JAPÓN | ITALIA | REINO UNIDO | FRANCIA |
| 1993 | 0.22 | 2.52.. | 1.63 | 2.35 | 0.91 | 2.88 | 1.13 | 2.12 | 2.40 |
| 1994 | 0.29 | 2.42 | 1.67 | 2.26 | 0.85 | 2.84 | 1.05 | 2.07 | 2.34 |
| 1995 | 0.31 | 2.50 | 1.64 | 2.26 | 0.81 | 2.98 | 1.00 | 1.98 | 2.31 |
| 1996 | 0.31 | 2.55 | 1.69 | 2.26 | 0.83 | 2.77 | 1.01 | 1.88 | 2.30 |
| 1997 | 0.34 | 2.58 | 1.68 | 2.29 | 0.82 | 2.83 | 1.05 | 1.81 | 2.22 |
| 1998 | 0.38 | 2.60 | 1.79 | 2.31 | 0.89 | 2.94 | 1.07 | 1.80 | 2.17 |
| 1999 | 0.43 | 2.25 | 1.81 | 2.44 | 0.88 | 2.9 5 | 1.04 | 1.88 | 2.18 |
| 2000 | 0.37 | 2.72 | 1.85 | 2.49 | 0.94 | 2.98 | 1.07 | 1.85 | 2.18 |
| 2001 | 0.39 | 2.74 | 1.91 | 2.51 | 0.96 | 3.06 | | 1.89 | 2.23 |
| 2002 | 0.40 | 2.67 | 1.82 | 2.51 | | | | | 2.20 |
| 1998 | 0.2 | 0.8 | 0.5 | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 1.0 |
| 1999 | 0.2 | 0.8 | 0.5 | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.7 | 1.0 |
| 2000 | 0.2 | 0.9 | 0.5 | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 1.0 |
| 2001 | 0.2 | 0.9 | | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 1.0 |
| 2002 | 0.2 | 1.0 | | 0.8 | | 0.7 | | 0.7 | 1.0 |

Fuente: Organización para la Cooperación y el Desarrollo (OCDE). Main Science and Technology Indicators, 2003 2º. Semestre.

4.3. Producción científica y tecnológica

El número de artículos científicos publicados en México, ascendió a 5,783 en 2003; con un crecimiento del 10.9%; es el crecimiento más alto desde 1999 (gráfica 21). Los incrementos absolutos más importantes se registraron en las disciplinas con mayor producción, tales como, Plantas y animales, química, ingeniería entre las de mayor producción y con tasas de crecimiento mayores al 10% respecto al 2002. Física, Medicina, Plantas y animales, y Química, se eternizan como las cuatro disciplinas de mayor producción de artículos, constituyendo el 54.2% del total nacional; 3.1 puntos porcentuales menor que en 2002. (CONACYT, 2004:24) Este descenso en su participación, es producto del aumento en otras disciplinas, tales como, Ingeniería y Agricultura que pasaron de una contribución del 6.4 y 3.7% en 2002 a 7.2 y 5.0% en 2003, respectivamente. Otro cambio de tendencia en este último año se dio entre las disciplinas con menor producción de artículos científicos, revirtiéndose el comportamiento negativo al incrementarse el número de artículos producidos en Computación, Economía y Educación, aunque su participación es mínima el crecimiento registrado esta por encima del 30%. El incremento en la producción de artículos incrementó la participación de nuestro país en solo dos centésimas de punto en la producción mundial.

Gráfica 21. Publicaciones de mexicanos incluidas en el Institute for Scientific Information, 1992-2003.



Fuente: Institute for Science Information (ISI), 2004.

México mantiene la segunda posición como productor de artículos (cuadro 13) más importante en Latinoamérica, sólo es superado por Brasil, único país sudamericano, cuya producción sobrepasa el punto porcentual de participación respecto al total mundial con 1.42 en este último quinquenio.

Cuadro 13. Participación en la producción total mundial de artículos de los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

| NO. | PAÍS | PARTICIPACIÓN | | NO. | PAÍS | PARTICIPACIÓN | |
|-----|-------------|---------------|-----------|-----|---------------|---------------|-----------|
| | | 2003 | 1999-2003 | | | 2003 | 1999-2003 |
| 1 | EUA | 33.49 | 34.02 | 16 | Turquía | 1.24 | 0.91 |
| 2 | Japón | 9.38 | 9.50 | 17 | Dinamarca | 1.03 | 1.04 |
| 3 | Reino Unido | 8.67 | 9.16 | 18 | Austria | 1.00 | 0.97 |
| 4 | Alemania | 8.42 | 8.72 | 19 | Finlandia | 0.97 | 0.99 |
| 5 | Francia | 6.09 | 6.28 | 20 | Grecia | 0.76 | 0.69 |
| 6 | Canadá | 4.46 | 4.47 | 21 | México | 0.72 | 0.67 |
| 7 | Italia | 4.41 | 4.20 | 22 | Noruega | 0.66 | 0.67 |
| 8 | España | 3.06 | 3.00 | 23 | Rep. Checa | 0.61 | 0.58 |
| 9 | Australia | 2.85 | 2.86 | 24 | Nueva Zelanda | 0.56 | 0.58 |
| 10 | Holanda | 2.80 | 2.55 | 25 | Hungría | 0.54 | 0.54 |
| 11 | Corea | 2.32 | 1.95 | 26 | Portugal | 0.51 | 0.45 |
| 12 | Suecia | 1.95 | 2.03 | 27 | Irlanda | 0.36 | 0.36 |
| 13 | Suiza | 1.84 | 1.86 | 28 | Rep. Eslovaca | 0.23 | 0.24 |
| 14 | Polonia | 1.45 | 1.34 | 29 | Islandia | 0.05 | 0.05 |
| 15 | Bélgica | 1.40 | 1.36 | 30 | Luxemburgo | 0.02 | 0.01 |

Fuente: Institute for Scientific Information, 2004.

La generación de artículos científicos en México es una producción incipiente en relación a los artículos monitoreados por el ISI, lo cual se refleja en el número de revistas mexicanas que son indizadas por dicho organismo. Conforme al Informe Anual de CONACYT (2004), de un total aproximado de 10,000 revistas, sólo 11 revistas son mexicanas:

1. Revista Historia Mexicana, publicada por el Colegio de México.
2. Revista Investigación Clínica, publicada por el Instituto Nacional de Nutrición.
3. Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica, publicada por la UNAM.
4. Revista Hispanoamericana de Filosofía, publicada por CRÍTICA.
5. Revista Mexicana de Física, publicada por la Sociedad Mexicana de Física.
6. Revista de Salud Mental, publicada por el Instituto Mexicano de Psiquiatría.
7. Revista de Salud Pública de México, publicada por el Instituto Nacional de Salud Pública.

Durante el periodo 1993-2003; la UNAM generó 21,437 artículos y un impacto de 5.2; asimismo durante el quinquenio 99- 03 generó 12,667 artículos y un impacto de 3.1. La producción científica de esta institución es la más variada del país, abarca todas las áreas del conocimiento y genera una gran cantidad de artículos, de los cuales un gran porcentaje se encuentra entre los documentos más citados y por ende entre los más influyentes. Cuenta con centros e institutos de investigación en diversas disciplinas, los cuales desarrollan y fomentan la generación de nuevos conocimientos, tecnologías e innovaciones.

El IPN (incluido el CINVESTAV) es la segunda institución más importante, en este último quinquenio elaboró 5,029 artículos con un impacto del 2.8 seguido por la UAM con 1,922 artículos y 2.4 de impacto. De acuerdo a los datos presentados por el ISI, el sector salud en su conjunto se sitúa como el segundo mejor generador de artículos científicos con más de 6000 artículos. (CONACYT, 2004 p.75)

Patentes

Los indicadores de patentes⁴³, obtenidos a partir de los datos registrados por las oficinas o institutos de patentes nacionales e internacionales, son un eficaz instrumento para identificar las principales características de las actividades de invención en los países, industrias, sociedades y tecnologías, con base en lo cual se pueden analizar los cambios de estructura y la evolución producidos en la dependencia, difusión y penetración de la tecnología. En México, las estadísticas se construyen con base en la información proporcionada por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI).

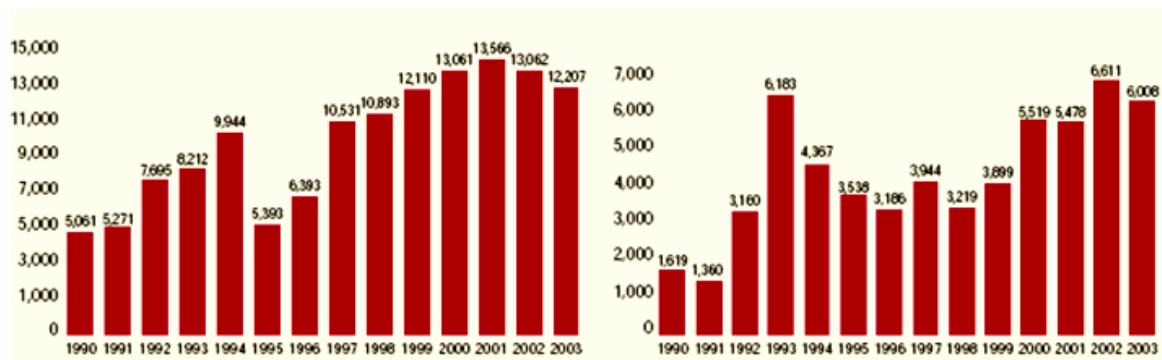
Las descripciones de las patentes permiten conocer la información tecnológica más completa y detallada que difícilmente se encuentra en otra fuente, por lo que resulta un instrumento básico para la transferencia de los conocimientos tecnológicos y científicos. Las estadísticas sobre las patentes facilitan el análisis y estudio de las actividades de difusión de la tecnología. El número de patentes de los residentes de un país y sus características dan una idea de su producción de tecnologías, de su estructura y especialización por áreas de actividad, en tanto que las patentes de extranjeros o no residentes indican la magnitud de la penetración tecnológica en esa economía; la relación de ambos indicadores proporciona una medida

⁴³ La patente es un documento expedido por el IMPI en el que se describe la invención y por el que se crea una situación jurídica por la que la invención patentada, normalmente, sólo puede ser explotada (fabricada, utilizada, vendida, importada) por el titular de la patente o con su autorización. La protección de la invención está limitada en cuanto al tiempo.

aproximada de su dependencia tecnológica. El número total de patentes, de titulares nacionales y extranjeros, muestra el tamaño del mercado de tecnologías de un país.

En el año 2003 (gráfica 22) el IMPI recibió un total de 12,207 solicitudes de patentes en México, cifra inferior en 6.5 por ciento respecto a las 13,062 presentadas en el 2002. Lo anterior significó una nueva baja en el dinamismo de esta actividad, ya que la cifra de 2002 fue inferior en 3.7 por ciento respecto a la cifra de 2001 (13 566 solicitudes). En el 2003 las patentes solicitadas por mexicanos registraron una caída significativa de 11%, reducción mayor a la registrada en las solicitudes realizadas por extranjeros, que fue de 6.4%. Lo anterior, agudizó el hecho de que la gran mayoría del total de solicitudes de patentes en el país son hechas por extranjeros, pues en 2003 éstas representaron el 96.2% del total.

Gráfica 22. Número de patentes solicitadas y concedidas en México, 1990-2003.



Fuente: Informe Anual CONACYT (2004:88)

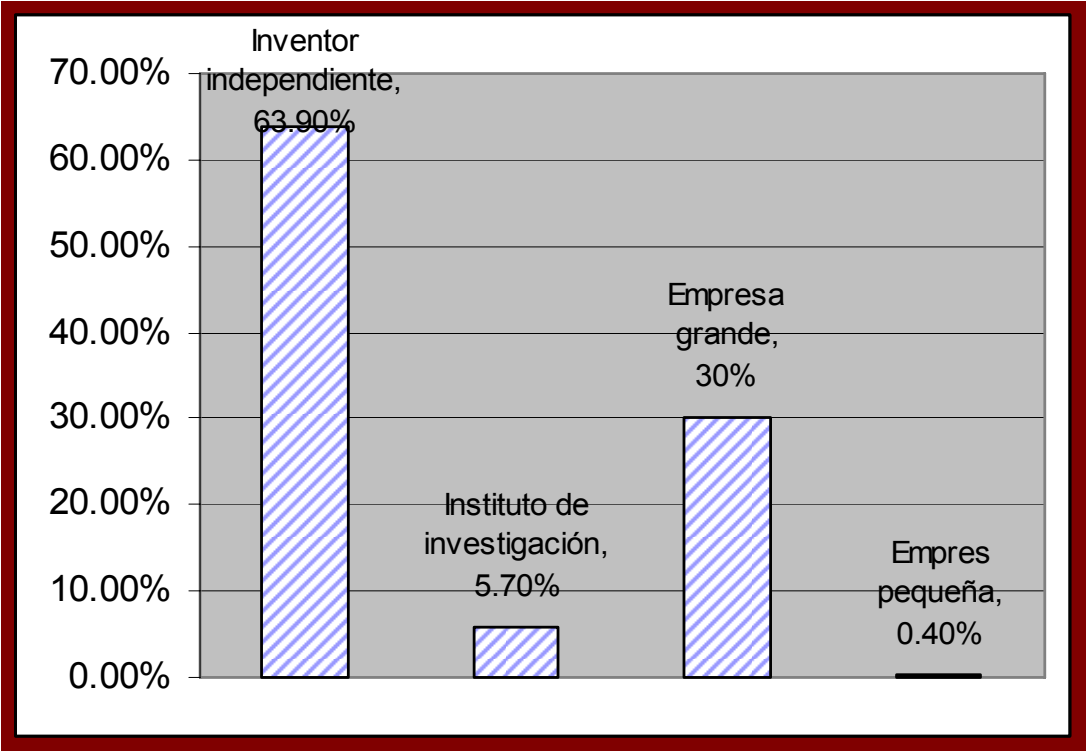
El número total de patentes concedidas en México en el 2003 fue de 6,008, esto es, una reducción de 603 patentes en relación con las otorgadas en 2002; el comportamiento en el 2003 estuvo determinado por un descenso.

Por lo que respecta a las patentes concedidas a mexicanos en 2003, en total se otorgaron 121, lo que representó una reducción del 12.9% con respecto a las cifras de 2002.

La distribución de dichas patentes indica que el 28.1% correspondió a la sección de artículos de uso y consumo, siguiéndole las correspondientes a técnicas industriales diversas (22.3%) y química y metalurgia (20.7%).

Las patentes también pueden clasificarse con base en la categoría de las instituciones o personas que solicitan las patentes, pudiendo ser estas: empresas grandes, empresas pequeñas, institutos de investigación, universidades o inventores independientes. En el caso de las solicitudes hechas por nacionales, durante el 2003 los inventores independientes son quienes más aportaron, ya que solicitaron 266 patentes de un total de 468. Le siguieron en importancia las empresas grandes con 150 solicitudes y los centros de investigación con 30. En contraste, las solicitudes tramitadas por extranjeros fueron realizadas en su gran mayoría por las empresas grandes, quienes realizaron un total de 11 2654 solicitudes, es decir, el 96% del total tramitado (gráfica 23).

Gráfica 23. Distribución porcentual por tipo de inventor nacional en México, 2002.



Fuente: Informe Anual CONACYT, 2004:90.

Revisando las cifras de las patentes concedidas a nacionales, los inventores independientes obtuvieron la mayor proporción (38%) seguida inmediatamente por la empresa grande (37.2%) siendo 121 patentes el total concedido a nacionales. (ibid. p. 92)

4.4. Área estratégica del conocimiento: Biotecnología y Genómica

El Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006 (pag 107 y 108) denomina áreas estratégicas del conocimiento aquellas que tiene un impacto en varios de los sectores y que cuentan con una alta tasa de cambio o innovación a nivel mundial. CONACYT considera áreas estratégicas del conocimiento las siguientes:

1. Biotecnología y Genómica
2. Nuevos Materiales
3. Tecnologías de Información y Comunicaciones
4. Diseño de Productos de alto valor agregado y procesos avanzados de manufactura
5. Ciencia y Tecnología para la atención de necesidades sociales.

En el Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006 Tomo II (pag. 135) establece que los criterios que se utilizaron para la identificación de las anteriores áreas estratégicas fueron los siguientes:

1. Alta tasa de cambio científico y tecnológico
2. Existencia de investigadores de alto nivel en el país
3. Impacto en el bienestar de la población
4. Impacto del cambio científico y tecnológico en los sectores productivo y social
5. Grado de dependencia tecnológica del exterior
6. Potencial de nuevos avances o desarrollo en el futuro mediano

En relación a Infraestructura, CONACYT define algunas de las entidades que cuentan con equipos de microarreglos, secuenciadores, PCR en tiempo real, RMN y/o alguno otro. Entre las instituciones con potencial para investigación en Genómica, se encuentran los siguientes:

- Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, unidades D.F. e Irapuato;
- Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas y el Centro de Biotecnología Genómica ;
- Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Ciencias Genómicas (antes Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno), Facultades de Medicina y

Química, Institutos de Biología, Biotecnología, Investigaciones Biomédicas, Fisiología Celular y el de Química

- Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
- Centro de Investigación en Química Aplicada
- Coordinación de Investigación en Salud del Instituto Mexicano del Seguro Social
- Instituto Nacional Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán
- Instituto Nacional de Cancerología
- Universidades en los estados como la de Nuevo León (Facultades de Medicina y la de Ciencias Biológicas)

Además acentúa el CONACYT que la mayoría de entidades tienen problemas de espacio y/o recursos para la instalación y operación de los equipos, en algunos casos en los que tienen posibilidades, se dan servicios externos.

Por otra parte y en relación a las estrategias para la I+D de la Genómica que figuran en el PECYT II, se encuentran las siguientes:

- Establecimiento de Laboratorios Nacionales que cuenten con el equipo suficiente, para poder dar apoyo, capacitación y/o servicio a entidades externas, incluyendo empresas. En los casos en los que haya entidades que cuenten con una cantidad de equipo razonable, fortalecerlas para que a partir de sus instalaciones se establezcan los “Laboratorios Nacionales”.
- Integración de redes virtuales para compartir equipos mayores y la experiencia de los investigadores en la secuenciación de organismos de interés nacional, en Genómica, Proteómica, Bioinformática, ceparios, bancos de germoplasma y/o colecciones biológicas.
- Apoyo para la creación de un Centro Nacional de Transferencia de Tecnología, que entre otras funciones, tendría el apoyo para la protección y promoción de la protección de la propiedad intelectual (patentes, derechos de autor, denominaciones de origen, etc.) y promoción y transferencia de tecnología.
- La creación de nueva infraestructura es además una de las estrategias que coadyuvará al desarrollo de estas disciplinas, como la creación del Instituto Nacional de Medicina Genómica “INMEGEN” de la Secretaría de Salud, que tiene como propósito generar

y aplicar el conocimiento derivado del esclarecimiento del genoma humano para mejorar la salud de los mexicanos.

- Asimismo, se requiere apoyar la puesta en marcha del Laboratorio Nacional de Genómica para la Diversidad Vegetal y Microbiana, en las instalaciones del CINVESTAV Unidad Irapuato, cuyos objetivos serán la identificación, caracterización y protección legal de genes de importancia para la producción de especies mejoradas; proporcionar servicio de secuenciación y análisis genómico a nivel nacional, entre otros (Torres, 2005).

Cabe destacar que el CONACYT financió al Instituto Potosina de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT) 8 proyectos por un monto superior a los cuatro millones de pesos, ver Cuadro 14. El IPICYT fue fundado el 24 de Noviembre del año 2000, y es actualmente es un Centro Público de investigación del CONACYT. Con la finalidad de impulsar en forma definitiva la actividad científica en San Luis Potosí, el Gobierno del Estado promovió su creación.

Cuadro 14. Proyectos de investigación y desarrollo en Medicina Genómica, financiados por CONACYT

| Línea de investigación | Nombre del proyecto | Instituto | Monto total (pesos) | Duración del proyecto | Programa de CONACYT | Área | Impacto |
|---|---|--|---------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Biomatemáticas, • física teórica • Investigación Básica. | Modelación matemática de sistemas biológicos complejos: cerebro humano y regulación transcripcional genética | Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. | \$413.329 | 3 años | Fondo Sectorial | Medicina Genómica | Genera nuevo conocimiento sobre fenómenos de interés biológico, desde un enfoque teórico físico y matemático. Aplicación de métodos de control de redes genéticas, se elaboró un modelo de epilepsia. 1 tesis de maestría terminada, 1 tesis de maestría y 3 de doctorado en proceso, 1 artículo publicado. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Biomedicina Molecular, • Biotecnología Moderna • Investigación Aplicada | Escrutinio de compuestos con potencial anticancerígeno presentes en especies mexicanas de muérdago aplicables al tratamiento del cáncer cervicouterino. | Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. | \$706.195 | 2 años | Fondo Sectorial | Medicina Genómica | El Muérdago es una planta que daña especies de interés forestal y se trata de encontrar algún producto biológico de alto valor de una planta que es plaga. Se ha encontrado actividad citotóxica para células de cáncer cérvico-uterino humano en extractos crudos de 3 especies de muérdago. Se elaboró 1 tesis de maestría. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Biomedicina Molecular, • Biotecnología Moderna. • Investigación Básica | Mecanismos de acción de capsaicinoides y neuropéptidos amidados: Dos nuevos inhibidores de la diferenciación adiposa | Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. | \$572.500 | 3 años | Fondo Sectorial | Medicina Genómica | Generación de nuevo conocimiento en torno a los mecanismos moleculares que regulan el desarrollo del tejido adiposo. Sus aplicaciones permitirán plantear alternativas a ciertos casos de obesidad. Están en proceso 2 tesis de doctorado. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Biomedicina Molecular, • Biotecnología Moderna. • Investigación Básica y Aplicada | Producción de proteínas terapéuticas utilizadas en el tratamiento de enfermedades crónicas degenerativas en el estado de San Luis Potosí | Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. | \$654.000 | 2 años | Fondo Mixto | Medicina Genómica | Además de Investigación se han desarrollado nuevos productos tecnológicos. Se tienen a 3 estudiantes de doctorado en proceso y un artículo de investigación. |

| | | | | | | | |
|--|--|--|-------------|---------|-------------|-------------------|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Biomedicina Molecular, • Biotecnología Moderna. • Investigación Básica y Aplicada | Genotipificación del virus del papiloma humano y determinación de marcadores moleculares para el diagnóstico temprano de cáncer cérvicouterino | Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. | \$608.000 | 2 años | Fondo Mixto | Medicina Genómica | (Proyecto complementario al No. 32). Por primera vez se identificaron y caracterizaron los virus de alto riesgo de papiloma humano que circulan en la región de SLP y Guanajuato. Este virus es el factor causal del Cáncer Cérvico Uterino con mortalidad más alta en México y segundo en el mundo. Se produjeron 4 tesis de maestría y 2 trabajos en congresos. La empresa MERCK buscó al líder del proyecto para establecer un grupo de investigación clínica de excelencia de nivel internacional y para hacer estudios de sus vacunas de segunda generación. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Biomedicina Molecular, • Biotecnología Moderna. • Investigación Básica y Aplicada. | Genotipificación de Papilomavirus Humanos y Búsqueda de Nuevos Marcadores Moleculares en el Cáncer Cervicouterino | Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. | \$570.000 | 2 años | Fondo Mixto | Medicina Genómica | (Proyecto complementario al No. 28). Por primera vez se identificaron y caracterizaron los virus de alto riesgo de papiloma humano que circulan en la región de SLP y Guanajuato. Este virus es el factor causal del Cáncer Cérvico Uterino con mortalidad más alta en México y segundo en el mundo. Se produjeron 4 tesis de maestría y 2 trabajos en congresos. La empresa MERCK buscó al líder del proyecto para establecer un grupo de investigación clínica de excelencia de nivel internacional y para hacer estudios de sus vacunas de segunda generación. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Biomedicina Molecular, • Biotecnología. • Investigación Básica y Aplicada | Unidad Regional de Referencia e Investigación de Leucemias | Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. | \$1.000.000 | 1 año | CPI's | Medicina Genómica | Colaboración de la División de Biología Molecular con los Servicios de Salud de SLP para la implementación de una unidad de investigación y en leucemias. |
| <ul style="list-style-type: none"> • Biomedicina Molecular, • Biotecnología • Investigación Básica y Aplicada | Hospital Central 2005 | Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. | \$45.000 | 8 meses | CPI's | Medicina Genómica | Se aplicaron técnicas de biología molecular para la detección temprana de enfermedades en recién nacidos. |

Fuente: A partir de bases de datos del CONACYT

En relación al presupuesto federal en ciencia y tecnológica del 2006, y concretamente el presupuesto asignado al Instituto Nacional de Medicina Genómica es de \$127,527,304 pesos, lo cual significa un monto considerable en esta prioritaria área de desarrollo.

4.5. Recomendaciones de política para el desarrollo científico y tecnológico en Medicina Genómica

La hipótesis de investigación demostrada en el capítulo tres, se basa en la necesidad de consolidar el campo emergente de la Medicina Genómica en México, y establece que habrá que ingresar tan temprano como sea posible a la dinámica mundial de evolución de la Medicina Genómica, logrando en consecuencia un mayor y más rápido progreso de capacidades tecnocientíficas que contribuirán al crecimiento y desarrollo de éste tipo de actividad científico productiva y, a mejorar la competitividad de la Medicina Genómica nacional, y a reforzar la simbiosis adjunto al nuevo campo industrial de la biotecnología.

En este sentido, se supone que la existencia de una sólida base científica es necesaria para que las empresas puedan asimilar esos nuevos conocimientos y convertirlos en ventajas competitivas. También supone que la innovación como proceso de "destrucción creador" de un sistema productivo debe permear, además de en el ámbito económico, también en las políticas públicas y en las instituciones nacionales, tanto públicas como privadas, no-gubernamentales y filantrópicas

Sin embargo, los sistemas de ciencia-tecnología-empresa evolucionan no solo en base a su dinámica interna, sino también en relación con la evolución de su entorno. Por este motivo, en la formulación de estrategias de política de Investigación y Desarrollo se debe tomar en consideración la eficaz gestión de la actuación de los diferentes componentes que integran el Sistema de Innovación Nacional en forma endógena y exógena. Además, las políticas de I+D no pueden ser ajenas al objetivo global que persiguen todas las políticas públicas, que no es otro que contribuir a la cohesión social y al desarrollo regional. Por ello, las estrategias de política deben satisfacer también este objetivo general y servir de enlace con otras políticas públicas.

El diseño de estrategias de política científica y tecnológica para el desarrollo de la Medicina Genómica requiere de la formulación de un conjunto de objetivos estratégicos que deben tener en cuenta las condiciones emergentes de nuevos avances de la ciencia y tecnología por su calidad competitiva. De acuerdo con ello, se pueden establecer un conjunto de objetivos estratégicos en el campo de estudios, y que se pueden agrupar en función de su finalidad:

- Impulsar y apoyar la coordinación del Sistema Mexicano de la Ciencia Genómica-Tecnología-Empresa.
- Apoyar la competitividad empresarial.

Para el cumplimiento de los objetivos estratégicos anteriormente descritos necesita que la estructura de estrategias de política se habiliten de diversas maneras para facilitar su consecución. Por estructura se entiende el conjunto formado por las áreas prioritarias, los programas nacionales en los que se desarrollan las actividades, las modalidades de participación que se aplicarán para promover la participación de los potenciales agentes públicos y privados, los instrumentos de financiación asociados a dichas modalidades de participación, así como los mecanismos de seguimiento, evaluación y gestión que se utilizarán en el desarrollo de las diversas actuaciones.

4.5.1. Estrategia de política en Medicina Genómica

Ámbito de Estrategias

El objeto fundamental de la investigación en salud es profundizar en el conocimiento de los mecanismos moleculares, bioquímicos, celulares, genéticos, fisiopatológicos y epidemiológicos de las enfermedades y problemas de salud, y establecer estrategias para su prevención y tratamiento. La biología, la bioquímica, la biología molecular, la genética y otras disciplinas relacionadas convergen para resolver problemas de salud del ser humano y ampliar el conocimiento sobre su fisiología y desarrollo armónico. Esta área incluye, además, las propias disciplinas clínicas, la investigación en nuevos fármacos y desarrollos terapéuticos, la salud pública y servicios de salud, donde la epidemiología, la sociología y la economía se aplican conjuntamente. La investigación en Medicina Genómica constituye un instrumento clave para incrementar el bienestar social y mejorar la calidad y expectativa de vida de los ciudadanos.

La viabilidad de inversión pública en investigación de la Medicina Genómica hay que contemplarla en el seno de un escenario globalizado, altamente competitivo, que requiere de perspectiva holística en el abordaje de temáticas integrales, capaces de ejecutar programas coordinados de investigación que incluyan grupos de investigación básica, investigación clínica, investigación en salud pública y compañías biotecnológicas, farmacéuticas y de telemedicina. Como ejemplos de este nuevo marco en el que se sitúa la investigación de la Medicina Genómica, la información generada con la secuencia del genoma humano y de otros organismos, y la expansión de las tecnologías para el análisis de proteínas, expresión de genes y sus variantes posibilitan redefinir la organización de los sistemas biológicos y profundizar en los mecanismos implicados en el desarrollo de la enfermedad.

Los conocimientos básicos alcanzados por la Medicina Genómica abren oportunidades para su traslación en la mejora del diagnóstico y caracterización de los pacientes, y en el planteamiento de nuevas terapéuticas. Otra área de investigación especialmente activa es el reconocimiento de la plasticidad de las células madre para la regeneración y diferenciación, que posibilita su uso en medicina reparadora. Estos avances en el conocimiento fundamental sólo se traducirán en calidad de vida y en bienestar para las personas cuando puedan ser aplicados para mejorar la prevención, el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades, lo cual supone la necesidad de coordinar a los sectores implicados y los Institutos de Salud (InSalud) con el sector industrial. Ello requiere, entre otras medidas, la creación de centros integrados, que den cabida a un número suficiente de investigadores biomédicos básicos y clínicos.

De esta forma, para afrontar los nuevos retos de la investigación en salud y propiciar la adaptación del sistema de investigación a estos nuevos escenarios se establecen los objetivos siguientes:

- Profundizar en el conocimiento de los mecanismos moleculares, bioquímicos y celulares implicados en la etiopatogenia de las enfermedades.
- Promover la investigación clínica, el desarrollo de nuevas modalidades de diagnóstico y tratamiento, y el estudio de la salud pública y de los sistemas de salud.
- Implantar herramientas terapéuticas y diagnósticas racionales, capaces de paliar la patología y la sintomatología asociada.

Justificación de políticas en Medicina Genómica

La investigación en Medicina Genómica es una actividad necesaria para el éxito futuro de cualquier estrategia que se proponga mejorar la salud de los mexicanos. La integración de la investigación con la práctica clínica favorece una mayor calidad de los servicios de salud y una mejor y más rápida implantación de los avances científicos en la prevención, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades, así como un cuidado más ético y eficiente de los pacientes. Además, las políticas de salud, la organización del sistema, y los servicios de salud pública estarán mejor fundamentados y orientados a responder a las necesidades y demandas de los ciudadanos.

La atención de salud con calidad constituye una demanda social prioritaria. Un instrumento fundamental para conseguirla es mediante la inversión en infraestructura física y humana, y en investigación en Genómica. El sector de la salud, como consecuencia de la aparición de nuevas enfermedades y tratamientos, la aparición de las necesidades relacionadas con la mayor esperanza y calidad de vida de la población, y la prestación de servicios que todo ello supone, es un área tecnológica en alza, en la que se prevé un fuerte crecimiento en los próximos años. Además, es preciso tener en cuenta la progresiva emergencia de epidemias globales, para las que se requieren nuevos escenarios de organización, es decir, una adaptación de los sistemas de investigación similares al de países desarrollados.

Los problemas de salud y enfermedades responsables de gran morbilidad, mortalidad y pérdida potencial de años de vida productiva, o de gran repercusión social y económica deben ser objeto de interés especial y de la dedicación subsiguiente de recursos para investigación.

Estructura y objetivos

Una mejor posición de México en el área de la Medicina Genómica solo vendrá determinada por la posibilidad de ofrecer líneas de investigación (globales, multidisciplinarias e integradas) de alta calidad, con colaboración entre investigadores y equipos básicos y clínicos, próximos a la realidad asistencial y clínica, orientados a la resolución de problemas.

Bajo este esquema se establecen prioridades en torno a problemas de salud que contemplen una visión amplia, desde las bases moleculares, genéticas y fisiopatológicas hasta las fases

clínicas de diagnóstico, tratamiento, aspectos comunitarios y evaluación de servicios sanitarios, preferentemente de aquellos grupos de entidades cuyo interés social y sanitario es más relevante, teniendo en cuenta los estudios de carga de enfermedad. La investigación que hay que potenciar y financiar, independientemente de cualquier otro criterio, debe asegurar su calidad y la capacidad de alcanzar resultados válidos.

Las líneas de investigación se agrupan en torno a tres directrices, que deben estar perfectamente coordinadas, independientemente de donde se realice su gestión estratégica:

1. Investigación básica en mecanismos de enfermedad y nuevas estrategias y modelos terapéuticos en:

- Diabetes
- Cáncer.
- Enfermedades cardiovasculares.
- Enfermedades del sistema nervioso y enfermedades mentales.
- Enfermedades infecciosas y SIDA.
- Enfermedades genéticas, modelos de enfermedad y terapia.
- Enfermedades respiratorias.
- Otras enfermedades crónicas e inflamación.
- Investigación farmacéutica.

2. Investigación clínica en enfermedades, ensayos clínicos, epidemiología, salud pública y servicios de salud en:

- Diabetes
- Cáncer.
- Enfermedades cardiovasculares.
- Enfermedades del sistema nervioso y enfermedades mentales.
- Enfermedades infecciosas y SIDA.
- Enfermedades genéticas, modelos de enfermedad y terapia.
- Enfermedades respiratorias.
- Otras enfermedades crónicas e inflamación.
- Investigación farmacéutica.

- Salud pública.
 - Investigación en servicios de salud.
3. Investigación farmacéutica en descubrimiento, desarrollo y evaluación de medicamentos en:
- Diabetes.
 - Cáncer.
 - Enfermedades cardiovasculares.
 - Enfermedades del sistema nervioso y enfermedades mentales.
 - Enfermedades infecciosas y SIDA.
 - Enfermedades genéticas, modelos de enfermedad y terapia.
 - Enfermedades respiratorias.
 - Otras enfermedades crónicas e inflamación.
 - Investigación farmacéutica.
 - Investigación en servicios de salud.

Instituciones e instalaciones de tamaño medio y grande

Con el objeto de situar la investigación en Medicina Genómica en México a nivel competitivo internacional es necesario disponer de servicios generales especializados que sean unidades de referencia tecnológica para los diversos institutos y centros nacionales de investigación. Deberían priorizarse un número reducido de centros de recursos científicos y desarrollo tecnológico evitando redundancias en determinadas áreas científicas.

En muchos casos se trata de identificar bajo criterios de excelencia científica los grupos e infraestructuras existentes y establecer entre ellos una coordinación adecuada. En otros casos será necesario crear nuevas infraestructuras en los lugares en los que exista suficiente masa crítica de investigadores de demostrada solvencia científica en un área priorizada y con capacidad demostrada para su liderazgo y gestión. En todos los casos la positiva evaluación e información de científicos de experiencia y acreditación demostrada en el área debe ser un filtro determinante de la actuación.

A su vez, cualquier política de grandes instalaciones científicas y de infraestructuras par la investigación en salud debe tener en consideración aquellos intereses de la industria

sanitaria radicada en México que realiza investigación, desarrollo e innovación, de forma que estamos ante otra oportunidad para el establecimiento de consorcios de investigación entre el sector público y el privado. Estas actuaciones pueden atraer nuevas inversiones en el campo de investigación biomédica en México, potenciando, entre otros el modelo de parques científicos.

Se consideran prioritarias las siguientes áreas:

- Genotipación molecular.
- Genómica y proteómica.
- Bioinformática.
- FarmacoGenómica y Farmacogenética
- Modelos de enfermedades.
- Bancos de tejidos y líneas celulares.
- Centros de análisis de imagen.
- Terapia génica y celular.

Actuaciones horizontales asociadas

Es necesario que las políticas de investigación se basen en las necesidades de salud y a su vez que las políticas de salud se basen en los resultados de la investigación. La integración de la investigación con la práctica clínica garantiza una mayor calidad de los servicios de salud y una mejor y más rápida implantación de los avances científicos en la prevención, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades, y un cuidado más ético y eficiente de los pacientes.

Estratégicamente los objetivos organizativos en esta área deben orientarse a:

- Considerar la investigación de excelencia como un todo, desde sus aspectos más básicos a los más poblacionales.
- Promover y fomentar la investigación trasnacional, orientando la investigación básica a la práctica clínica y a la demanda industrial.
- Considerar la investigación desde los centros del Sistema Nacional de Salud (hospitales, atención primaria y otras instituciones sanitarias) como un producto fundamental de su actividad.

- Los InSalud deben ser considerados como instituciones de investigación, siempre que cuenten con la suficiente masa crítica y sitúen la investigación biomédica como una prioridad.
- Fomentar una cultura de alianzas entre diferentes centros, administraciones y sectores industriales, con el fin de compartir objetivos de investigación, infraestructuras científicas e incrementar la masa crítica.

Para ello se resaltan las siguientes acciones concretas:

- Promoción de Institutos de Investigación
- como asociaciones de centros de investigación, multidisciplinares y multi-institucionales, con el fin de desarrollar e integrar armónicamente la investigación básica, clínica y de salud pública como un todo, potenciando la investigación trasnacional con una mejor transferencia de los avances científicos obtenidos en la prevención y tratamiento de los problemas de salud más prevalentes en el país. Esta integración de los distintos tipos de investigación permitirá acortar el intervalo transcurrido entre la producción de un nuevo conocimiento (eficacia) y su transferencia y aplicabilidad real (efectividad y eficiencia) en la práctica médica.
- Consolidar el modelo de redes temáticas de investigación cooperativa.
- Promover instrumentos de financiación para las líneas de grupos de investigación consolidados.
- Fomentar la movilidad de los investigadores.
- Regulación y desarrollo de una carrera profesional en el Sistema Nacional de Salud.
- Potenciación de la evaluación post-financiación.

4.5.2. Estrategia de política en Genómica y Biotecnología

Ámbito de estrategia

El paradigma del genoma humano enmarca la entrada plena a la era postGenómica, caracterizada por la implementación de las tecnologías de la Genómica y la Proteómica, que permiten obtener grandes cantidades de información, y de la Bioinformática, que permite analizar esa información. De esta manera, el énfasis se está desplazando hacia el uso inteligente de estas herramientas para la generación de nuevo conocimiento a partir de dicha información.

La correlación entre la capacidad de innovar y emprender nuevos tipos de actividades, y la creación de empleo y el crecimiento económico es especialmente pertinente bajo el enfoque evolutivo de *paradigmas tecnoeconómicos*, el de Genómica, paradigma de mayor impacto previsto en el desarrollo económico del siglo XXI.

La información derivada de fases de la revolución Genómica ha de repercutir en el desarrollo de tecnologías y procesos. Uno de los objetivos fundamentales debe ser integrar las herramientas Genómicas con las tecnologías más tradicionales (por ejemplo, ingeniería genética y de proteínas o biotransformaciones) y las nuevas áreas emergentes como la Bionanotecnología. Asimismo, una de las características esenciales de cualesquier estrategia de ciencia en Genómica es la multidisciplinariedad, ya que la realización de muchos desarrollos genotecnológicos precisa la interacción de diversas tecnologías.

Es evidente que las aplicaciones más novedosas siempre surgen en un contexto auténtico de investigación y, por ello, para incrementar el grado de aplicabilidad de los proyectos de la Genómica, será necesario incorporar estímulos de todo tipo, incluyendo un énfasis especial en el establecimiento de vías eficientes de colaboración entre el sector público y las empresas.

Estrategias de política en Genómica

La Genómica es el ámbito natural de desarrollo de la investigación en la era postGenómica, siendo el hilo conductor que permite explotar la información derivada a partir de los proyectos genómicos. Paralelamente, el desarrollo de las herramientas biotecnológicas debe ser un motor generador de conocimiento y aplicaciones que alimente futuros avances en la era postGenómica. La ciencia del nuevo milenio se caracterizará por la investigación transnacional en la que se producirá una integración de metodologías diferentes y una imbricación entre investigación básica y sectores de aplicación. En este escenario, el papel de la Genómica es crucial. La implementación de estrategias nacionales en el ámbito de ciencia y tecnología, tiene como uno de sus elementos diferenciadores la estrecha relación entre la generación de conocimiento científico y técnico y su aplicación.

El carácter horizontal y multidisciplinar de la Genómica la convierte en un motor de innovación que afecta a amplios sectores. Entre otros, el farmacéutico, veterinario, cosmético, agroalimentario, bioprocesos, medioambiental, nuevos materiales, instrumentación y robótica.

La Genómica no solo genera directamente riqueza en el marco de nuevas empresas centradas en sectores emergentes, sino que actúa como catalizador para que sectores maduros puedan dotar de valor añadido a sus tecnologías, productos y servicios.

La Genómica ha de ser entendida como un sistema de actividades diversas. En las diferentes fases del proceso (I+D, innovación, producción, comercialización) participan, directa o indirectamente, una gran variedad de actores: diferentes tipos de empresas, centros de investigación públicos y privados, entidades financieras, administraciones públicas, consumidores, y el sistema de salud mediante la SSA. Promover el desarrollo de la Genómica implica, por tanto, interactuar con un sistema dinámico, donde la situación de las empresas tendrá mucho que ver con cuestiones tan diversas como la capacidad de los investigadores para participar en proyectos internacionales, el acceso a fuentes de financiación para proyectos de I+D o la habilidad de incorporar los avances científicos como un instrumento de generación de negocio.

Estructura de políticas en Genómica

La Genómica se estructura en torno a cuatro grandes prioridades temáticas:

- Genoma de microorganismos y bioprocesos.
- Genoma y Biotecnología de plantas.
- Genoma humano y animal.
- Desarrollos tecnológicos horizontales.

Genómica de microorganismos y procesos

A pesar de los avances realizados en las últimas décadas, las enfermedades generadas por microorganismos en el hombre, animales y plantas siguen constituyendo hoy día un problema importante. La lucha contra la continua aparición de cepas resistente a distintos agentes antimicrobianos requiere un mejor entendimiento de las bases moleculares de los mecanismos de resistencia, tanto en aislados clínicos como en los microorganismos productores de antibióticos. Esto permitirá el diseño de nuevos compuestos antimicrobianos. Del mismo modo, un mejor entendimiento de las bases moleculares de los mecanismos de patogenicidad y virulencia microbiana, así como de las relaciones de interacción patógeno-huésped, también contribuirá al diseño de nuevos compuestos frente a microorganismos patógenos.

Por otro lado, algunos microorganismos poseen gran potencial como fuente de productos naturales con aplicaciones farmacéuticas. La ingeniería genética ofrece la posibilidad de generar cepas recombinantes con dotaciones génicas que permitan generar nuevos compuestos bioactivos difíciles de obtener mediante síntesis química. La reciente acumulación de información generada a partir de la secuenciación de genomas microbianos debe permitir abrir nuevos caminos tanto para el diseño de fármacos frente a nuevas dianas, como para entender mejor los procesos de patogénesis y resistencia a antibióticos.

Los microorganismos son capaces de asimilar una gran variedad de compuestos químicos. Esto lleva a que jueguen un papel fundamental en el reciclado de la materia orgánica y en la conservación del medio ambiente. Sin embargo, muchos compuestos, tanto naturales como de síntesis industrial, se biodegradan muy mal. El análisis de las rutas de biodegradación existentes en la naturaleza y de las comunidades microbianas que participan en el proceso, aporta una información muy valiosa para afrontar los problemas de contaminación del medio ambiente. La identificación de los aspectos limitantes que dificultan la biodegradación ofrece vías para mejorar procesos de descontaminación. La biodegradación de muchos compuestos tóxicos requiere la participación de comunidades microbianas formadas por bacterias de diversas especies, cada una de las cuales realiza una función en el proceso. La interacción entre ellas, y la respuesta de cada una a cambios en el medio ambiente, sigue pautas complejas que se comprenden mal, y que es necesario elucidar en detalle. El conocimiento de estos procesos está dificultado por el hecho de que sólo pueden cultivarse en el laboratorio menos de un 10% de las especies microbianas existentes en la naturaleza. El aislamiento y caracterización de genes con actividades útiles en procesos biotecnológicos, pero que pertenecen a microorganismos no cultivables en el laboratorio, puede lograrse aislando el DNA directamente de muestras de suelo, agua, etc., sin necesidad de cultivar los microorganismos implicados (metaGenómica).

Los microorganismos tienen muchas aplicaciones en la síntesis de determinados compuestos químicos por biotransformación. Estos procesos son importantes como método alternativo a la química orgánica en sectores como la química fina o la industria farmacéutica. Existen muchos subproductos de carácter orgánico, generados principalmente por empresas del sector agroalimentario, que pueden valorizarse a través de procesos biotecnológicos (procesos enzimáticos, de fermentación, o de biotransformación con microorganismos) para obtener productos de valor añadido utilizables en el campo alimentario, cosmético, nutracéutico o de química fina. La manipulación mediante

ingeniería genética de los sistemas enzimáticos que intervienen puede aumentar la eficiencia de estas biotransformaciones o modificar su especificidad. Para esto es importante la elucidación de la estructura y función de los enzimas de interés, porque permite diseñar cambios en esta estructura que modifiquen la actividad en la dirección deseada (mayor estabilidad, distinta especificidad, funcionamiento a temperaturas extremas, etc.).

Los microorganismos tienen un papel relevante en el sector agroalimentario. Distintos grupos microbianos intervienen como iniciadores en la elaboración de muchos alimentos y bebidas fermentadas, y también en la producción de aditivos y coadyuvantes alimentarios. Durante años se ha analizado la biodiversidad microbiana para buscar nuevos microorganismos capaces de mejorar estos procesos. Más recientemente se ha comenzado a usar técnicas de ingeniería genética para mejorar las propiedades de los mismos, dando lugar a nuevos alimentos y metabolitos de interés agroalimentario. Resulta por lo tanto de especial interés aplicar técnicas de ingeniería metabólica que generen nuevos iniciadores capaces de incrementar o modificar las propiedades organolépticas y nutricionales de alimentos y bebidas, o producir metabolitos con mayor potencial tecnológico. Por otro lado, algunos microorganismos son patógenos para plantas cultivables y animales de interés en ganadería y acuicultura, y algunos virus infectan cultivos iniciadores industriales generando grandes pérdidas económicas. El diseño racional de futuras estrategias de protección requiere un conocimiento molecular detallado de las interacciones huésped-patógeno.

Las líneas de actuación en Genómica de microorganismos y bioprocesos son las siguientes:

- Caracterización de nuevas dianas microbianas para el diseño de nuevos antibióticos y otros productos antimicrobianos.
- Aplicaciones de la ingeniería genética a la mejora y generación de nuevos compuestos bioactivos.
- Estudio de las bases moleculares de los mecanismos de resistencia a antibióticos y a otros compuestos antimicrobianos.
- Caracterización molecular de los mecanismos de patogenicidad y/o simbiosis de microorganismos en humanos, animales y plantas.
- Identificación de nuevas actividades microbianas de interés biotecnológico mediante técnicas de alto rendimiento y de metaGenómica.

- Biotransformaciones e ingeniería de estos procesos. Utilización y diseño de microorganismos y enzimas para la obtención de moléculas y productos de interés industrial, con especial énfasis en métodos que implique modificaciones genéticas. Ingeniería metabólica mediante ingeniería genética de microorganismos.
- Ingeniería genética de proteínas dirigida a la mejora enzimática y biocatálisis

Genómica y Biotecnología de plantas

Durante los últimos años la aplicación de la Biotecnología en el mundo vegetal ha resultado fundamental en la obtención de mejoras en el rendimiento y producción de los productos agrícolas de manera más rápida, precisa y predecible que en el caso del cultivo convencional de plantas. También ha contribuido de manera esencial a la obtención de resistencias a plagas y microorganismos que hubieran sido largas y tediosas y a veces imposibles de conseguir mediante las técnicas tradicionales de cruzamiento. Estas líneas de actuación, si bien muy importantes, han incidido básicamente en la cadena primaria de producción (por ejemplo: empresas productoras de semillas) y por tanto la percepción de su utilidad por parte del consumidor ha sido mas bien escasa. Una línea de actuación más reciente de la Biotecnología Vegetal ha sido la modificación del genoma de las plantas para conseguir un valor añadido al producto final como puede ser el caso del aumento de los niveles de vitaminas y minerales en determinados cultivos y la producción de nutracéuticos y fármacos. La obvia aplicación en salud humana de estas nuevas aproximaciones está cambiando de manera importante la percepción pública de la transgénesis en plantas.

Un paso esencial, aunque no excluyente, en la aplicación de la Biotecnología en plantas radica en la disponibilidad de métodos de transformación genética de las especies de interés. Aunque en muchos casos se ha realizado un progreso importante en la estandarización de los métodos de transformación es evidente que todavía existen especies y variedades de interés agrícola recalcitrantes a la misma. Se deben recoger propuestas que o bien desarrollen técnicas de transformación para este tipo de variedades o que introduzcan elementos de novedad significativos, más compatibles con los requerimientos actuales. En este sentido se englobarían los vectores de transformación que hacen uso de promotores inducibles o no constitutivos, el uso de metabolitos secundarios como marcadores de seguimiento alternativos a los antibióticos o la incorporación del transgen en cloroplastos que conlleva una herencia materna y evita por tanto el posible escape de genes del cultivo transgénico a través del polen.

Se atenderá de manera importante al diseño de plantas transgénicas como empresas de generación de energía y de productos del metabolismo primario o secundario con un interés aplicado, o productoras de nuevas moléculas de interés alimentario, industrial o terapéutico. En este contexto, se contemplarán no solo aquellos diseños que conlleven una sobreproducción de los productos, sino también que faciliten su posterior fraccionamiento y purificación.

Una línea adicional de actuación de la Genómica vegetal reside en conseguir cambios en el transcriptoma y/o proteína de un determinado cultivo sin necesidad de incorporar genes heterólogos procedentes de otros organismos o plantas. El estudio de las rutas y elementos de regulación constituye pues una línea prioritaria de actuación ya que permitirá controlar con gran precisión la expresión de genes con una función clave en el proceso de interés, y en consecuencia aumentar o disminuir los niveles de acumulación del producto correspondiente, o controlar su acumulación en un nuevo tejido, ajuste éste último altamente específico y prácticamente imposible de conseguir con los métodos convencionales de cultivos de plantas.

En los últimos años se ha puesto de manifiesto claramente que determinadas plantas son capaces de acumular metales contaminantes tales como arsénico, cadmio, mercurio, cobre y zinc. Estos metales habitualmente no pueden ser convertidos a formas no tóxicas por medios químicos por lo que su eliminación del suelo implica necesariamente la excavación del mismo y su almacenamiento confinado en lugares apropiados. Este procedimiento es caro y muy perjudicial para el medio ambiente. Las plantas pueden utilizarse como fitorremediadoras al concentrar los metales contaminantes en sus hojas o tallos, pudiendo fácilmente cosecharse e incinerarse de manera relativamente barata. Se contemplan aproximaciones que mediante la introducción de genes bacterianos o la modificación del genoma de la planta optimicen la acumulación de los citados metales contaminantes o los procesos posteriores para su eliminación. En esta misma línea, se incluyen aproximaciones que, mediante la modificación genética de la planta, generen nuevas variedades capaces de incorporar sub-productos sin interés comercial y metabolizarlos en productos aprovechables por sí mismos, o como intermediarios útiles en procesos anabólicos o de síntesis.

En líneas generales, el área de la Genómica y Biotecnología vegetal comprende dos líneas de actuación de diferente percepción temporal y temática. Por un lado, debe sustentar

aproximaciones a la generación de conocimiento básico encaminadas a la clarificación de los procesos de desarrollo de las plantas y su adaptación a procesos que perturban un normal desarrollo de éstas (estreses de tipo biótico y abiótico) incluyendo las rutas de señalización que median ambos procesos. Esta generación de conocimiento debe ir ligado a una previsión razonable de posible transferencia al sector agroalimentario. Por otro lado, debe contemplarse la modificación genética de las plantas, así como la optimización de los procesos ligados a dicha modificación, a fin de conseguir un aprovechamiento más adecuado y más o menos inmediato de los recursos que se generen. Es obvio que muchos organismos vegetales ofrecen una gran cantidad de recursos inexplorados y que por tanto no están siendo aprovechados en la actualidad. En consecuencia, como complemento a esta directriz, se sustentará la explotación mediante aproximaciones Genómicas de la variabilidad natural vegetal, con la finalidad de definir nuevas fuentes naturales de caracteres con un posible interés biotecnológico.

A pesar de que la línea de actuación del programa debe ir dirigida a impulsar la utilización de una aproximación basada fundamentalmente en la Biotecnología y modificación genética para el desarrollo de nuevas variedades de interés aplicado, la situación de la Biotecnología de plantas es particularmente complicada debido a la dificultad actual en el uso de organismos modificados genéticamente por parte de las empresas. A fin de no excluir las iniciativas empresariales de este programa se contemplará una línea de actuación especialmente dirigida a las empresas que dará cabida a estrategias de generación de variedades de interés agrícola y forestal en la que solo parte de estas estrategias incluyan la modificación genética.

Las líneas de actuación en Biotecnología vegetal son las siguientes:

- Diseño y generación de organismos modificados genéticamente como modelos experimentales y/o de interés agrícola y forestal.
- Desarrollo de nuevos vectores y métodos de transformación en especies de interés agrícola y forestal.
- Desarrollo y utilización de diferentes herramientas de carácter biotecnológico, especialmente la transgénesis, para la obtención de nuevas especies y variedades no susceptibles de ser obtenidas mediante métodos convencionales.
- Análisis funcional de los procesos de desarrollo y adaptación medioambiental de las plantas, susceptibles de ser explotados tecnológicamente.

- Utilización de plantas y/o sistemas celulares como empresas de generación de energía y de producción de sustancias de interés agroalimentario, industrial y terapéutico. Implementación de su producción mediante modificación genética así como la optimización de los métodos de purificación de las mismas.
- Optimización mediante modificación genética de las plantas como organismos biorremediadores de ambientes contaminados. Caracterización molecular de los mecanismos implicados en el potencial descontaminante en especies con alta capacidad biorremediadora.
- Identificación de genes y circuitos reguladores susceptibles de aplicación tecnológica. Análisis de los procesos de interacción simbiótica y patogénica entre microorganismos y plantas.
- Utilización de técnicas de alto rendimiento para el estudio del metabolismo primario y secundario de plantas como fuente potencial de nuevas sustancias con interés industrial, alimentario y terapéutico.
- Explotación de la variabilidad natural vegetal mediante aproximaciones Genómicas como fuente de nuevos caracteres de interés biotecnológico.

Genómica humana y animal

En el momento presente, la Biotecnología y la Genómica, basándose en la generación y aplicación de conocimiento científico se ha convertido en un sector industrial de gran importancia tanto en el área de salud humana y animal como en la de mejora de la producción animal (ganadera y acuícola).

El área de diseño de nuevos modelos animales prioriza el desarrollo u optimización de métodos y tecnologías, con énfasis en tecnologías de alto rendimiento, con objeto de desarrollar, de un modo más rápido y eficaz, modelos animales de utilidad en las mencionadas áreas de salud humana y animal y producción ganadera y acuícola. Entre los métodos posibles, aunque de modo no restrictivo, se incluyen nuevas metodologías (utilización de vectores virales, RNAs de interferencia, nuevas recombinaciones e integrasas, mejoras en los métodos de clonación, etc.) para la obtención de animales transgénicos, *knock-out*, *knock-in* o de alto valor añadido.

El área de modelos animales para salud humana comprende la generación de nuevos modelos de patologías humanas, modelos útiles para la validación de terapéuticas para el

desarrollo de nuevos fármacos y para el diseño de nuevos abordajes terapéuticos. También se incluyen la obtención y uso de animales portadores de tejidos humanos con fines similares a los descritos.

El apartado de modelos animales de aplicación en salud y producción animal engloba el diseño de animales, tanto modelo como de interés industrial, como sistemas de producción, de utilidad, por ejemplo para el estudio de patologías animales y el ensayo de nuevos tratamientos, o que mejoren la productividad de los sectores ganadero y acuícola. Por otra parte, las nuevas tecnologías genómicas, proteómicas y bioinformáticas abren nuevas posibilidades de estudiar los mecanismos que permitan mejorar la resistencia a enfermedades o el rendimiento de la producción animal.

Los recientes avances en biología molecular y celular están permitiendo una mejora en los tratamientos, utilizando terapias celulares, regeneración o reconstitución de tejidos y órganos, por lo que el desarrollo de tecnologías capaces de facilitar estas terapias, tendrán un importante valor en el futuro.

La corrección de defectos genéticos mediante la transferencia de genes, terapia génica, es una alternativa clave que permitirá solucionar tanto enfermedades congénitas como patologías adquiridas en humanos. Dada la diversidad de las características tanto de los diferentes tipos de células o tejidos como de las patologías a corregir y las limitaciones de los vectores existentes, es necesario desarrollar tanto nuevos tipos de vectores como optimizar los existentes, incrementando su especificidad celular y tisular y su nivel de expresión, así como desarrollar sistemas de expresión controlable. Además, a la vista de los casos aparecidos recientemente de generación de tumores potencialmente achacables a mutagénesis insercional, es necesario diseñar técnicas que permitan controlar el sitio de inserción en el genoma de los vectores integradores.

Existe un interés creciente en el desarrollo de métodos de detección capaces de dar respuestas rápidas, estandarizadas y fiables, para el diagnóstico y pronóstico de enfermedades humanas y animales. En los próximos años es esperable el desarrollo de nuevos métodos de diagnóstico basado en aplicaciones genómicas, proteómicas y bioinformáticas, que jugarán un papel importante en el desarrollo, optimización y abaratamiento de la determinación de factores como la susceptibilidad individual, la detección precoz y la respuesta individual a fármacos, contribuyendo, así, de modo sustantivo a la mejora de la salud.

La secuenciación del genoma humano, así como la de otras especies del reino animal, está introduciendo cambios de paradigma profundos en la forma de entender y abordar soluciones a problemas planteados en el campo de la salud humana. Por una parte, se relacionará la variabilidad de secuencias al nivel génico entre individuos con su capacidad adaptativa, su susceptibilidad o resistencia a enfermedades y su respuesta a tratamientos. Por otra parte se avanzará en el entendimiento de la relación entre la alteración de los genes y sus patrones de expresión y un número creciente de enfermedades o de caracteres explotables tecnológicamente.

La existencia de enfermedades de relevancia nacional, y la aplicación a esta área de las nuevas herramientas genómicas y proteómicas permitirán el desarrollo de nuevos agentes más eficaces y seguros para la prevención y el control de enfermedades humanas y animales. Como reiteradamente se ha manifestado se contemplará el tratamiento a través de medicinas individualizadas, así como un más rápido control de las patologías emergentes. Dichos desarrollos, junto con la explotación de la variabilidad natural, permitirán comprender con más detalle los determinantes genéticos y su instrumentalización para tratar nuevas aproximaciones tecnológicas que mejoren la salud humana.

Las líneas de actuación de la Genómica son:

- Desarrollo de tecnologías innovadoras para el diseño y obtención de nuevos modelos en salud humana. Uso de tecnologías genómicas y proteómicas.
- Diseño, desarrollo y mejora de tecnologías para terapia celular e ingeniería de tejidos. Células madre y células somáticas para terapia celular. Optimización de condiciones de cultivo y amplificación ex vivo. Producción de tejidos y órganos humanos (autólogos y alogénicos). Diseño de materiales sintéticos que contengan biomoléculas o células para su aplicación en reparación y regeneración tisular.
- Transferencia y modificación genética. Desarrollo de nuevos vectores virales y no virales. Optimización de nuevas rutas de administración. Nuevas tecnologías para la modificación del tropismo celular y tisular. Desarrollo de nuevos sistemas de control de la expresión génica. Desarrollo de sistemas que permitan controlar el sitio de integración de vectores integradores.
- Desarrollo de nuevos métodos genómicos, proteómicos, metabolómicos y Bioinformáticas de detección. Aplicación para el diagnóstico molecular, el pronóstico de enfermedades y la respuesta individual a fármacos. Desarrollo de

métodos no invasivos de detección precoz y seguimiento de disfunciones y patologías.

- Desarrollo de agentes terapéuticos de base biotecnológica. Nuevos métodos para la identificación de dianas terapéuticas. RNAs de interferencia, anticuerpos monoclonales y proteínas recombinantes. Sistemas de transporte y liberación de moléculas bioactivas.
- Vacunas preventivas y terapéuticas: vacunas recombinantes, basadas en subunidades protéicas, microorganismos modificados o ácidos nucleicos. Nuevos vectores vacunales.
- Farmacogenética, Farmacogenómica y Nutrigenómica.

Centros e instalaciones de tamaño medio y grande

Se propone la generación de plataformas tecnológicas, que se definen como servicios altamente especializados que albergan infraestructuras de equipamiento medio y grande, abiertas tanto a la investigación pública como privada, con un claro protocolo de acceso, con una dotación de personal técnico de alto nivel en continua formación, y que sirva de soporte de infraestructura a proyectos de investigación de calidad que requieran para su uso del asesoramiento individualizado del personal técnico.

Por otra parte, estas plataformas estarán sometidas a evaluación y seguimiento que permita su puesta al día permanente y la actualización de sus recursos instrumentales y humanos. Estas plataformas, especialmente si adquieren un carácter interinstitucional, racionalizarían la inversión en equipos instrumentales costosos y garantizarían el acceso a las nuevas metodologías en un régimen de servicio y/o proyecto de investigación conjunto. Un aspecto fundamental en estas plataformas sería su coordinación para evitar la repetición de adquisición de recursos, etc. Entre las plataformas tecnológicas se podrán contemplar unidades de Genómica, Proteómica, Metabolómica, análisis de estructuras, Biocomputación e instalaciones de alta seguridad biológica.

Es necesaria la dotación de una serie de infraestructuras que son imprescindibles para la realización de proyectos. Se requiere que se consideren la dotación y equipamiento de laboratorios, adecuación de instalaciones para la producción, mantenimiento y experimentación, así como nuevas infraestructuras para la producción de vectores virales.

Todas estas infraestructuras deben ubicarse en entornos académicos y empresariales donde se genere una necesidad real de las mismas.

El número de plataformas debe estar definido por la necesidad de los usuarios y la adecuada disponibilidad presupuestaria para su funcionamiento. El acceso a cualquier investigador público y privado a estas plataformas tecnológicas que desarrolle su investigación debe de quedar garantizado mediante los adecuados protocolos de acceso y funcionamiento.

Actuaciones horizontales asociadas a la estrategia

1. Desarrollo de recursos humanos. La dotación de recursos humanos es un aspecto de importancia capital. Se debe de contemplar con la máxima prioridad la contratación de técnicos (de grado medio y superior) en nuevas tecnologías, así como flexibilización de las medidas de contratación tanto para los proyectos como para las entidades gestoras de las plataformas tecnológicas. En segundo lugar, se deben incentivar, en entidades públicas y privadas, las acciones de contratación de personal pre y postdoctoral.

Por otra parte, se requiere la estabilización de un programa de contratación a medio plazo de personal investigador para dotar de la suficiente proyección y continuidad a los proyectos de investigación.

Es necesario apoyar iniciativas relacionadas con acciones de formación dirigidas a:

- Formación de emprendedores que combinen conocimientos científicos en Genómica, de ingeniería y de gestión empresarial.
 - Especialización profesional en Bioinformática, bioingeniería, bioprocesos, etc.
2. Apoyo a la creación de empresas. El apoyo a la creación de empresas tiene como objetivo aprovechar el crecimiento exponencial del conocimiento científico en el área de las ciencias de la vida, e incorporar masiva y aceleradamente las tecnologías transversales que ofrece la revolución genómica en los tres grandes sectores socioeconómicos que dependen de ella: salud, agroalimentación y medio ambiente. Todo ello a través de acciones referidas al diseño e implantación de instrumentos

específicos favorecedores de la generación de empresas y de la creación de incubadoras.

Dado el carácter de aplicabilidad y transferibilidad (a un plazo corto, medio y largo) de los resultados de los proyectos que se presenten en el programa es natural que se plantee una fuerte necesidad de mecanismos que potencien esta transferibilidad. En concreto, es necesario contar con servicios capaces de analizar de una forma continua los resultados de la investigación, por ejemplo a iniciar estudios de viabilidad de posibles patentes, como de una búsqueda proactiva dentro y fuera de México de empresas susceptibles de interesarse en el uso de los resultados obtenidos. En el apartado de producción de patentes debe quedar claro que el objetivo no es en sí mismo la presentación de patentes sino iniciar todos los trámites asociados a una petición de patente cuando se haya realizado un estudio previo de su viabilidad, de forma que existan fundadas posibilidades de que dichas patentes puedan ser licenciadas. Asimismo, se considera especialmente importante apoyar esta aplicabilidad y transferibilidad mediante un adecuado soporte a medidas de formación de bioemprendedores y de creación de bioempresas.

Hay que resaltar el importante papel de los centros tecnológicos en la transferencia y valorización de la I+D por parte de las empresas, dada su cercanía a ellas, su conocimiento de las mismas y su facilidad de comunicación. Se potenciará su participación activa en la difusión de resultados y la transferencia tecnológica. Se promoverán acciones destinadas a coordinar los estudios desde perspectivas socioeconómicas en la evaluación del impacto de los proyectos de I+D, desarrollo tecnológico e innovación.

3. Cooperación internacional. Una posible acción de internacionalización puede realizarse en la coordinación con otros países de la actividad de los tipos de plataformas tecnológicas, tanto en su vertiente de actividad productiva como de actividad de formación.

Otro aspecto a considerar es la generación de mecanismos de activación rápida de actuaciones de cooperación nacional y transnacional ante situaciones de emergencia o crisis.

4. Fomento a la cultura científica y tecnológica. Para una rentabilización óptima de la I+D genómica, en términos económicos y sociales, es esencial promocionar la explotación de nuevos resultados y la innovación en las industrias usuarias y, a la vez, proporcionar a los consumidores finales información sobre los beneficios potenciales de estos avances, mediante la mejora de la percepción pública de los asuntos científicos y tecnológicos y la implicación de los ciudadanos en el progreso de la ciencia, para lo cual es esencial coordinar los esfuerzos de científicos, divulgadores, educadores y empresarios en la difusión y comprensión de las oportunidades que ofrece la Genómica. Estos estudios son fundamentales para definir las estrategias de investigación y desarrollo de acuerdo con los intereses últimos de los ciudadanos, y comprender las dificultades de normalización que afectan a ciertas aplicaciones tecnológicas.

La biología fundamental es el origen del avance tecnológico y conceptual que han supuesto la Genómica y las disciplinas que han emergido a partir de ella, como la Proteómica o la Transcriptómica. Ha significado también el origen de las nuevas tecnologías como secuenciación automática, análisis de alto rendimiento, Bioinformática, ingeniería de proteínas, micromatrices (*microarrays*), que están permitiendo el análisis integrado tanto de los seres vivos como de sus procesos biológicos fundamentales. Los estudios de las llamadas empresas celulares serán de capital importancia en el futuro inmediato porque permitirán la identificación de genes clave y el diseño de nuevos fármacos dirigidos *ad hoc* al paciente, para converger con estudios biomédicos en la denominada Medicina Genómica. Todas estas nuevas aproximaciones no serán posibles sin los descubrimientos de la biología fundamental.

Diferentes sectores industriales, como el farmacéutico y el agroalimentario, se benefician muy directamente de los descubrimientos de la biología fundamental: Existen actualmente en el mercado, derivados de la ingeniería genética y los datos obtenidos de la Genómica funcional y estructural están abriendo el diseño de nuevos fármacos personalizados.

5. Promoción de la ciencia básica de calidad. Se trata de un programa de investigación básica no orientada en el ámbito de la biología. Su finalidad es contribuir a la obtención de nuevos conocimientos científicos en biología fundamental, sin olvidar

el consiguiente desarrollo tecnológico que ello lleva asociado. Asimismo, el programa persigue que el país contribuya de manera relevante y se beneficie a su vez de los avances de la biología en el contexto internacional, que en los últimos años están constituyendo una verdadera revolución científica y tecnológica de enorme calado para el desarrollo económico y el bienestar social.

Uno de los objetivos estratégicos de política es la incorporación de los desarrollos conceptuales y tecnológicos propios de la era postGenómica en la que nos encontramos, para lo que se estimulará el uso de las herramientas de la Genómica y la Proteómica para la disección de problemas biológicos. Se apostará igualmente por los enfoques interdisciplinarios para la mejor comprensión de los problemas y la interacción con otras ciencias.

6. Contribución a la formación de investigadores. La formación continuada de investigadores y su posterior integración en cualquier ámbito científico, ya sea de carácter público o privado, es imprescindible para impulsar la innovación y el desarrollo científico del país. Dado el carácter básico no orientado de este programa, la formación de investigadores en ámbitos y áreas diferentes que exigen una variada base conceptual y tecnológica, debe contribuir a vertebrar en el país un tejido investigador competitivo capaz de hacer frente a los retos científicos y tecnológicos presentes y futuros.
7. Desarrollo de infraestructuras científicas y tecnológicas. Se persigue impulsar el desarrollo de infraestructuras que permitan alcanzar y sostener un nivel de desarrollo científico y tecnológico en consonancia con las necesidades de la investigación contemporánea en biología y en línea con otros indicadores de desarrollo económico del país. Se deberán optimizar y rentabilizar las instalaciones y equipamientos ya adquiridos, por lo que el programa promoverá el uso compartido y el acceso a infraestructuras o equipamientos de alto coste o mantenimiento, potenciando la oferta de servicios por parte de aquellos grupos que dispongan de dichos recursos.

Se recomienda estructurar un plan basado en dos competencias nacionales y una acción estratégica, lo que permitirá un desglose más nítido de los objetivos científicos, se divide en:

- a. Biología molecular y celular.

- b. Biología integradora y fisiología.
- c. Red de plataformas tecnológicas.

Biología molecular y celular. Su objetivo primordial es la investigación de las bases moleculares, estructurales y funcionales que conduzcan a una mejor comprensión de los seres vivos, en particular de la estructura y función de las macromoléculas biológicas en el contexto celular y de organismo. Las investigaciones podrán ser realizadas en cualquier tipo de organismos, con preferencia en los sistemas modelo, empleando enfoque multidisciplinarios y nuevas tecnologías. En función de los niveles organizativos, los objetivos de este subprograma incluyen:

- Estructuras de las macromoléculas biológicas: Resolución de estructuras de proteínas, ácidos nucleicos, y otras macromoléculas. Estructuras de virus. Genómica Estructural. Biofísica de macromoléculas. Estructura, dinámica y energética de las interacciones macromoleculares.
- Bases estructurales y funcionales de los procesos moleculares: Empaquetamiento, estabilidad y dinámica de los genomas. Expresión génica. Metabolismo del RNA. Síntesis y procesamiento de proteínas. Bioquímica de procesos metabólicos. Transformación celular de la energía. Microbiología molecular.
- Bases celulares de los procesos biológicos: Orgánulos y compartimientos celulares. Citoesqueleto. Tráfico celular y transporte. Transducción de señales. Ciclo, división y muerte celular. Comunicación celular. Redes génicas. Mecanismos de señalización.
- Bases moleculares y celulares del desarrollo y la diferenciación. Control genético del desarrollo. Patrones espaciales y temporales de expresión. Comunicación y organización celular en el desarrollo. Diferenciación celular. Morfogénesis.
- Herencia y evolución: Meiosis. Transferencia genética horizontal. Evolución molecular.

Biología integradora y fisiología. Su objetivo primordial será la investigación encaminada a lograr un mayor conocimiento de cómo las interacciones entre las macromoléculas y componentes celulares conducen al desarrollo de órganos y

sistemas, y a la integración funcional del organismo. Serán objeto de estudio los microorganismos, las plantas, los animales y el ser humano, incluyendo:

- Biología del desarrollo. Aspectos embriológicos, morfológicos y funcionales del desarrollo. Anatomía celular. Fisiología celular. Organogénesis.
- Bases morfológicas y fisiológicas de las estructuras de soporte y movimiento. Biomecánica. Bases morfológicas y funcionales de la actividad física.
- Bases morfológicas y funcionales de la comunicación, control e integración. Desarrollo, estructura, función y procesos integrativos del sistema nervioso y del sistema endocrino.
- Bases morfológicas y funcionales de los sistemas de transporte, defensa, respiración, nutrición y excreción.
- Bases morfológicas y funcionales de la reproducción, del desarrollo postnatal y del envejecimiento. Aspectos moleculares, estructurales y fisiológicos relacionados con la reproducción, el crecimiento, la senescencia y el envejecimiento de plantas, de animales y del ser humano.
- Biología de sistemas. Biología de las interacciones moleculares, celulares y orgánicas que permiten la integración estructural y funcional del organismo. Sistemas modelo. Estrés y cambios ambientales. Genómica funcional.

Red de Plataformas Tecnológicas. Se considera necesario dotar al Sistema Mexicano de I+D de las tecnologías e infraestructuras necesarias para que pueda desarrollar su actividad investigadora en condiciones competitivas con los países más avanzados. Uno de los objetivos prioritarios y estratégicos del programa será la creación de una red de plataformas tecnológicas y unidades de servicios para el desarrollo de herramientas, recursos o tecnologías de interés general y asegurar el acceso a las mismas a la comunidad científica y tecnológica. La creación de esta red, que puede ser coordinada a nivel estatal y participada por los centros de investigación, contribuirá a la formación de personal técnico cualificado y podría contribuir a generar nuevos sectores de mercado tecnológico.

La red de plataformas tecnológicas y unidades de servicios propuesta por este programa de Biología es también de interés para los programas nacionales de Biotecnología y Biomedicina que coinciden con la identificación de la necesidad de

estas unidades tecnológicas, en algunos casos con las mismas misiones de actividad. Su creación deberá llevarse a cabo mediante una acción estratégica que dotará a las instalaciones de nueva creación o a las ya existentes con los medios necesarios (fundamentalmente equipamiento y personal científico y técnico especializado) para responder a las demandas de la comunidad científica y asegurar su mantenimiento.

El programa contemplará, entre otras acciones que pudiesen identificarse a lo largo de la duración del Plan Nacional, la creación o consolidación de las siguientes plataformas tecnológicas y unidades de servicio:

- Genómica y Proteómica.
- Resonancia Magnética Nuclear de alto campo.
- Generación y fenotipado de animales modificados genéticamente.
- Técnicas de imagen cerebral “in vivo”.

Actuaciones horizontales asociadas al Programa

1. Desarrollo de recursos humanos. Se fomentarán los programas de ayuda para la formación de personal investigador tanto predoctoral como postdoctoral, que contribuyan a estabilizar y sacar el máximo rendimiento del potencial investigador del país, así como de personal técnico de apoyo. Se estimulará la movilidad de los investigadores, principalmente en su etapa postdoctoral, mediante su incorporación a grupos de investigación tanto extranjeros como mexicanos, siempre que se garantice una adecuada movilidad entre distintos laboratorios.

El objetivo global es la definición de una carrera científica que contemple los diferentes niveles de personal, sus características, y unos procedimientos estables de acceso y promoción. Los jóvenes licenciados e ingenieros deben poder vislumbrar la posibilidad real de una carrera como científicos, con evaluaciones sucesivas rigurosas, pero con una clara planificación a largo plazo. La carrera científica debe hacerse atractiva a los mejores estudiantes y para ello se deben combinar el rigor en la selección con la existencia de un horizonte definido.

2. Apoyo a la competitividad empresarial. La investigación en biología molecular ha roto los esquemas tradicionales entre la investigación básica, la aplicada y el desarrollo tecnológico, al ofrecer la posibilidad de comercializar directamente

muchos resultados de la investigación básica. No es en absoluto excepcional que sean investigadores básicos quienes generen empresas para explotar sus descubrimientos, o que patenten sus hallazgos como productos comercializables a muy corto plazo. Por tanto, y de manera muy especial, en el programa de Biología se precisa una acción horizontal con el doble objetivo de favorecer la transferencia de resultados a las empresas activas en este ramo, y facilitar la creación de las que se ha dado en llamar empresas spin-off. En relación con esta última actividad, es importante el apoyo a los parques científicos y tecnológicos ligados estrechamente a los centros de investigación, que pueden convertirse en viveros de empresas.

Tanto para contribuir a la actividad empresarial como a la investigación en biología es preciso utilizar pasarelas profesionales entre los centros de investigación públicos y la industria: se precisa utilizar mecanismos para que científicos de los centros públicos de investigación puedan trasladarse durante unos años a laboratorios de empresas, y viceversa. Las administraciones pueden estimular estos movimientos y destinar fondos específicos para acoger en los laboratorios de centros públicos a los científicos y tecnólogos procedentes de la empresa privada.

3. Cooperación internacional. Dentro de este ámbito resulta de gran interés estimular la participación en proyectos internacionales y atraer a titulados superiores iberoamericanos mediante el aumento del número de becas/contratos dirigidos a estos estudiantes y la adecuada difusión de la convocatoria de estas becas en los países de origen de los eventuales becarios.
4. Fomento de la cultura científica y tecnológica. Existen diversas razones que hacen de la divulgación científica y tecnológica un objetivo importante de los programas nacionales de investigación:
 - El conocimiento científico es un bien cultural de primer orden, que debe hacerse llegar de una u otra manera a todos los ciudadanos.
 - Los contribuyentes tienen derecho a conocer el destino de sus aportaciones tributarias al sistema de ciencia y tecnología, especialmente cuando existen connotaciones éticas, como ocurre a veces en la biología.
 - Un grupo muy especial de ciudadanos, los legisladores, comprenden los resultados de la investigación científica que constituyen claves imprescindibles del mundo contemporáneo, para adaptar las regulaciones pertinentes.

Conclusiones

Cumplimiento del objetivo de la investigación

Respecto al objetivo planteado al inicio de la investigación se puede concluir que se cumplió en forma satisfactoria mediante las propuestas de política de ciencia y tecnología que permitan emular la evolución de la Medicina Genómica en México, en base a los ámbitos de la dinámica innovadora mundial.

Se identificaron 1580 organizaciones involucradas en investigación y desarrollo e innovación en Medicina Genómica a nivel mundial, y un total de 7857 investigadores en su mayoría de origen chino, japonés, estadounidense, francés, inglés y alemán. Evidenciando el hecho estilizado en torno al flujo de la transferencia tecnológica que va de los países centrales a los periféricos (de los ricos a los pobres). Por ejemplo no se identificó patente alguna de empresa organización mexicana.

Los hallazgos en torno al análisis sobre la producción científica y tecnológica empleando el enfoque bibliométrico, condujo a la caracterización empírica, de al menos tres importantes trayectorias tecnocientíficas siguientes:

- 1) Genómica Estructural
- 2) Genómica Funcional
- 3) Bioinformática

Desde el punto de vista metodológico, partimos del supuesto que este análisis se realiza sobre la base de búsquedas bibliográficas, con medios automatizados, en CD-ROM o en línea. No obstante fue necesario llevar la información a soportes magnéticos para su ulterior tratamiento.

En relación a la cadena de tratamiento que se selecciona ha sido de vital importancia, de ahí el significado de una adecuada selección de los campos tecnológicos sobre biotecnología humana, y un enfoque preciso en torno a la Medicina Genómica.

Un instrumento imprescindible para lograr lo anterior fueron los sistemas de gestión de información bibliográfica que se utilizaron, y que permitieron obtener listas autorizadas de elementos en los campos, así como posibilidades de realizar cambios globales en los diferentes campos sustituyendo o eliminando elementos. Una vez realizado lo anterior, la base de datos normalizada estuvo lista para su tratamiento estadístico (bibliométrico).

Adicionalmente, conviene señalar que el empleo de la bibliometría para abordar problemas de las ciencias sociales es relativamente nuevo en México, y existen pocos estudios en donde se aplique esta metodología. No obstante no existe estudio alguno para el caso de la Medicina Genómica en México con esta propuesta de enfoque evidentemente estratégico por la calidad de la información suscitada para la toma de decisión en materia de política pública.

Verificación de la hipótesis

El estudio de la productividad científica y tecnológica de la Medicina Genómica mundial, mediante la determinación de indicadores bibliométricos nos permitió comprobar que es posible el desenvolvimiento tecnológico y la generación de oportunidades futuras a través del reconocimiento de señales tempranas, por lo que alcanzar el desarrollo en etapa embrionaria en torno a conocimiento novedoso significa poder incrementar la capacidad científica productiva en sectores potencialmente prolíficos como lo es mercado de la salud.

Para México, y en razón a sus escasos recursos, el mayor desafío consiste en invertir en pocas áreas científicas y tecnológicas en rápido desarrollo, que posibilite nuevos productos y nuevos mercados en el futuro. Es fundamental por lo tanto estar atento a las señales tempranas, pero en función de las capacidades previamente acumuladas.

Y si bien las oportunidades dependen de otros tantos determinantes como lo es mercado, no obstante la presente investigación enfatiza en estrategias que en materia política científica y tecnológica, incentiven la creación de nueva riqueza en torno a nuevo conocimiento científico tecnológico. La red virtuosa de la innovación en México que conlleva al desarrollo y crecimiento depende en gran manera de la producción de decisiones y acciones hacia la construcción y materialización de conocimiento novedoso.

Política científica y tecnológica de la Medicina Genómica en México y sus instrumentos

En lo que se refiere a la importancia de una política de ciencia y tecnología para el país, las propuestas planteadas, se basan en fundamentos teóricos económicos y evolutivos. Es decir que el desarrollo económico es un proceso vinculado a la innovación tecnológica. La tecnología, a medida que evoluciona dentro de los paradigmas dominantes en cada período histórico, hace surgir nuevas formas de producción que se difunden más o menos extensamente sobre las actividades de obtención de bienes y servicios, propicia además la aparición de productos a partir de los cuales emergen nuevos mercados, modifica asimismo el modo de utilización del trabajo humano y de los recursos de la naturaleza, y favorece en fin la ampliación y diversificación del sistema productivo.- Todo ello, más allá de los cambios que puedan advertirse en la vida social, tiene su reflejo en las ganancias de productividad sobre las que se asienta la progresión del bienestar de la población y, por ende, en el crecimiento del producto por habitante⁴⁴.

Sin embargo, la evolución de la ciencia y la tecnología y el consecuente cambio de paradigmas de competencia entre los países, no ha ido acompañado por las respuestas pertinentes durante todas las etapas refiriéndonos en especial a la región de los países de América Latina. Como se ha visto al paso del tiempo se han aplicado distintas visiones para poder hacer frente al cambio permanente en el contexto mundial de desarrollo de CyT. En el caso de México y de algunos países de la región se debe tomar en cuenta el aspecto histórico-económico de dependencia que ha determinado sus avatares recientes en lo que respecta a la creación de tecnología.

Y como se analiza en el capítulo dos, actualmente la ciencia y tecnología mexicana presentan condiciones que no van acorde con las exigencias del caso de estudio que nos ocupa: Medicina Genómica. En este contexto coexiste una disparidad entre la demanda de recursos humanos y la oferta que demandan los proyectos de I+D en este campo de conocimiento. Sin embargo la existencia de científicos mexicanos con competitividad internacional viene a demostrar que ha existido un impulso a la investigación científica preponderantemente en las áreas de biotecnología y su posterior devenir a actividades de

⁴⁴ El PIB per cápita es el indicador más relevante de la economía, mediante el que se puede observar como es que ha ido mejorando o empeorando, según sea el caso, el desarrollo del país en cuestión.

investigación en genómica, aunque no suficiente para aprovechar y expandir el potencial científico al sector de la salud.

México requiere de una nueva política que además de generar conocimiento, se dirija a elevar la productividad en los servicios de salud y consecuentemente a mejorar la economía nacional, en el marco de un plan integral de desarrollo que articule la industria nacional con los centros e institutos de I+DT, así como con las instituciones de educación superior, con el fin de que puedan desarrollar de manera sistemática y continua proyectos de vinculación en Medicina Genómica.

Por su parte es recomendable que el sector farmacéutico nacional, así como el sector hospitalario (privado y público) y en general las firmas dedicadas a los servicios de salud, impulsen programas de inversión, además de diseñar e implementar las condiciones para la competitividad y para el fortalecimiento del mercado interno en nuestro país.

El Estado debe redefinir la política en materia de incentivos fiscales de manera altamente selectiva, tal es el caso de las empresas (nacionales como internacionales) que inviertan en I+D de la Medicina Genómica nacional, así como fortalecer los programas que apoyen el acceso a créditos blandos y la creación de instrumentos de capital de riesgo.

El Estado también debe encabezar la planeación y la puesta en marcha de políticas públicas que fomenten y fortalezcan el desarrollo en infraestructura física y humana, así como los instrumentos de la bioética para resolver y regular con base en principios de equidad los posible problemas que se susciten por la utilización comercial del mapa del genoma de los mexicanos; y asegurar la participación y regulación de los sectores social y productivo; así como la opinión de la comunidad científica de las disciplinas y áreas del conocimiento que puedan aportar a la consolidación de un marco ético y legal.

El incentivo económico que promete la Medicina Genómica, dirigidos a resolver los complejos problemas de salud nacional, constituye nichos de oportunidad para la actividad científica y tecnológica. La conformación de clusters tecnológicos del sector salud fundamentados en actividades científicas y tecnológicas es una tarea impostergable, encaminada a crear y fortalecer polos de desarrollo científico y tecnológico, que generen conocimiento y capacidades para la solución de problemas de salud a nivel local y regional. El gobierno mexicano junto con empresarios debe impulsar la creación de parques

industriales, clusters y nuevas empresas farmacéuticas, que sean competitivos y que generen nuevos mercados y empleos.

Por su parte las políticas y los programas de las instituciones de educación superior e investigación en ingeniería genética y medicina, deben responder a las necesidades de formación de recursos humanos capaces de generar conocimiento y de ayudar a resolver los problemas de salud.

La articulación con otros campos de la CyT, debe estar encaminada a las necesidades de salud del país y orientadas hacia la prospección de su futuro. Es decir se requiere de la formación y fortalecimiento de redes de apoyo públicas y privadas de carácter financiero y tecnológico para la innovación médica que vinculen al sector farmacéutico y hospitalario en la producción y aplicación del conocimiento de la Medicina Genómica, para mejorar la calidad de vida de los individuos y la sociedad.

Una problemática que existe en el marco jurídico mexicano que deprime la realización de investigaciones novedosas (aunque no limitativo si evidente en el campo de la Biotecnología y la Genómica) es la Ley de la Propiedad Industrial, sus lineamientos y la falta de seguridad, reducen la confiabilidad por parte de los investigadores, lo que ocasiona que prefieran vender sus inventos a empresarios extranjeros que buscar inversionistas mexicanos que lleven a cabo el proyecto y que con ello se beneficie el país en general.

Entre los mecanismos que podrían contribuir en la consolidación de este campo emergente en México, figuran:

- Establecer convenios de colaboración entre la industria nacional y extranjera con la academia;
- Fomentar el desarrollo tecnológico de las pequeñas y medianas empresas farmacéuticas nacionales;
- Destinar recursos federales a áreas estratégicas en campos emergentes de nuevo conocimiento entre Genómica, Nanotecnología, medicina e ingeniería
- Diseñar, implementar y consolidar un marco legal en materia de bioética
- Crear mecanismos de protección más eficientes de los derechos de propiedad sobre desarrollos tecnológicos y patentes; y
- Abrir espacios de divulgación científica en el país.

- Apoyo financiero sostenido, es decir, la inversión necesaria para establecer, desarrollar y consolidar una plataforma sólida de Medicina Genómica en México.
- Infraestructura: laboratorios de investigación enfocados a distintas áreas de la Medicina Genómica, áreas de enseñanza con unidades de alta tecnología e investigación clínica que sirva para los programas internos y externos.
- Disponibilidad de recursos humanos suficientes.
- Programas científicos internos y externos de vinculación que ofrezcan: (i) investigación biomédica de alto nivel y unidades de alta tecnología; y (ii) colaboración nacional e internacional, que contemple la realización de proyectos de investigación científica con otras instituciones en México y el extranjero, las aplicaciones médicas en vinculación con otros institutos nacionales de salud y hospitales en todo el país, y vinculación con el sector industrial, especialmente con la industria farmacéutica a fin de aumentar la producción de fármacos y pruebas de diagnóstico derivadas de actividades en investigación genómica. Esta desvinculación proveerá una estrategia integral para abordar problemas de salud a nivel regional, nacional y mundial.
- Asimismo, se observa que es necesario crear nuevas instituciones, o modificar las existentes a fin de vincular provechosamente a los científicos con la industria y con los creadores de política científica y tecnológica de la Genómica en México, así como generar estrategias dirigidas a la conformación de redes de innovadores de la Medicina Genómica, a nivel nacional y mundial e invertir en infraestructura y en desarrollar cuadros profesionales altamente capacitados.
- Desarrollar aprendizaje organizacional mediante redes de innovadores:
 - El enfoque de redes permite incorporar diversas partes complementarias y de reciente desarrollo de análisis y aspectos de innovación.
 - Las redes son una forma privilegiada de innovar. Sí la innovación consiste en nuevas combinaciones tecnológicas, las redes proporcionan la flexibilidad con la cual explotar las oportunidades para la recombinación de varios componentes.
 - Las redes inter-empresa proporcionan un medio de recombinación que da ventajas diferentes a las ventajas de las empresas individuales.
 - Las redes son una forma necesaria para garantizar el éxito de una innovación. El enfoque de redes permite generar conocimiento colectivo para establecer normas públicas y estándares de nuevos mercados

- Las redes inter-empresa son intensivas en transacciones. Cierta tipo de vínculos inter-organizacionales también se apropian de transacciones tecnológicas, en particular de las innovaciones ya desarrolladas.
- Las redes pueden involucrar relaciones formales y explícitas contractuales, pero no pueden reducirse a contratos de cláusulas de contingencia debido a que la contingencia es impredecible.

Bibliografía

A

AAGE, T. 2001. External relations and industrial districts. Papers and abstracts produced for the Danish Research Unit for Industrial Dynamics (DRUID) Nelson and Winter Conference in Aalborg, Denmark, 1-28 pp. [documento en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://www.druid.dk/conferences/nw/paper1/aage.pdf>> [con acceso en 2005]

ABERNATHY, W. y Clark, K. 1985. Innovation mapping the winds of creative destruction. *Research Policy*, 14(1): 3-22.

ALMQUIST, G., Norgren, L. y Strandell, A. C. 1998. Clusters and Cluster Policy in Sweden. NUTEK, The Swedish National Board for Industrial and Technical Development. [documento en línea]. Disponible desde Internet en: <http://www.oecd.org/dsti/sti/s_t/inte/nis/Clusters/clusters.htm> [con acceso en 2005]

ALTENBURG, T. y Meyer-Stammer, J. 1999. How to promote clusters: Policy experiences from Latin America. *World Development*, 27(9):1693-1713.

ANDERSEN E. S. 1991. Tecno-economic paradigms as typical interfaces between producers and users. *Journal Evolutionary Economics*, 1(2): 119-144.

ARANGUREN, M. J. 1998. Creación de empresas: Factores determinantes. La industria de la CAPV. Universidad de Deusto-ESTE, San Sebastián.

ARCANGELI, F. 1993. The economics of learning to learn: An introduction. European International Business Association, 19th Annual Conference, Lisboa.

ARNOLD, E. y Thuriaux, B. 1997. Developing firms' technological capabilities. Working paper, Technopolis Ltd. Brighton.

ARROW, K. 1979. El Bienestar económico y la asignación de recursos para la invención. En Rosenberg, N. (ed.), *Economía del cambio tecnológico*, Lecturas No. 31, Ed. Fondo de Cultura Económica: México.

ARTHUR, W. B. 1988. Competing technologies: An overview. En Dosi, G. et al. (eds.), *Technical change and economic theory*. Pinter Publisher: Londres.

AUDTRETSCHEK, D. B. 1992. La política industrial: Algunos ejemplos internacionales. En *Política Industrial teoría y práctica*. Ed. Colegio de Economistas de Madrid: España.

B

BALASSA, B. 1988. Los países de industrialización reciente en la economía mundial. Ed. Fondo de Cultura Económica, México, 567 pp.

BAPTISTA, R. 1998. Clusters, innovation and growth: A survey of the literature. En Swann, G.M.P., Prevezer, M. y Stout, D. (eds.), *The dynamics of industrial clustering. International comparisons in computing and biotechnology*, pp. 13-51. Oxford University Press: Oxford.

BELL, M. y Albu, M. 1999. Knowledge systems and technological dynamism in industrial clusters in developing countries. *World Development*, 27(9): 1715-1734.

BELL, M. y Pavitt, K. 1993. Technological accumulation and industrial growth: Contrasts between development and developing countries. *Industrial and Corporate Change*, 2: 157-210.

BIAMCHI, P. y Bellini, N. 1991. Public policies for local networks of innovators. *Research Policy*, 20: 487-497.

BLAAS, E. y Nijkamp, P. 1994. New technology and regional development in the European snowbelt towards a new emerging network?. En Johansson, B., Karlsson, Ch. y Westin, L. (eds), *Patterns of a network economy*, pp. 275-291. Springer: Berlín.

BOLÍVAR, F. 2002. Biotecnología moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI:

Retos y Oportunidades. CONACYT-Fondo de Cultura Económica, México, 339 pp.

BOGAN C. y English M. 1994. Benchmarking for best practices: Winning through innovative adoption. McGraw Hill, New York, NY, 342 pp.

BRAÑA, J., Buesa, M. y Molero, J. 1984. El Estado y el cambio tecnológico en la industrialización tardía. Un análisis del caso español. Ed. Fondo de Cultura Económica, España, 383 pp.

BUESA, M. 1999. I+D e Innovación tecnológica en las regiones españolas. Documentos de trabajo publicados por el Instituto de Análisis Económico y Financiero. Universidad Complutense, España.

BUESA, M. y Molero, J. 1992. Patrones del cambio tecnológico y política industrial: Un estudio de las empresas innovadoras madrileñas. Ed. Civitas. Madrid, España, 176 pp.

----- y Molero, J. 1996. Patterns of technological change among spanish innovative firms: The case of Madrid region. *Research Policy*, 25(4): 647-663.

----- y Molero, J. 1996. Tamaño empresarial e innovación tecnológica en la economía española. Documento de Trabajo No. 1. del Instituto de Análisis Industrial y Financiero (IAIF) de la Universidad Complutense de Madrid. [documento en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://www.ucm.es/BUCEM/cee/iaif/001/001.htm>> [con acceso en 2006]

----- y Zubiaurre, A. 1999. Patrones tecnológicos y competitividad: Un análisis de las empresas innovadoras en el País Vasco. *Economías, Revista Vasca de Economía*, II(44): 208-237.

C

CÁMARA DE DIPUTADOS, Comisión de Ciencia y Tecnología. [web en línea].

Disponible desde Internet en:

<http://www.diputados.gob.mx/comisiones59legislatura/ciencia_tecnologia/web/somos.ht> [con acceso el 12 de enero de 2005]

CAPELLO, R. 1995. Network externalities: Towards a taxonomy of the concept and a theory of their effects on the performance of firms and regions. En Bertuglia, C. S., Fischer, M. M. y Preto, G. (eds.), Technological change, economic development and space, pp. 208-237. Springer: Berlín.

CARLSSON, B. 1994. Technological systems and economic performance. En Dodgson, M. y Rothwell, R. (eds.), The handbook of industrial innovation, pp. 13-24. Edward Elgar: Aldershot.

CARLSSON, B. 1995. Technological systems and economic performance: The case of factory automation. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 512 pp.

----- y Jacobsson, S. 1995. Factory automation and government policy. En Carlsson, B. (ed.), Technological systems and economic performance: The case of factory automation, pp. 417- 440. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht-Boston-London.

----- y Stankiewicz, R. 1995. On the nature, function and composition of technological systems. En Carlsson, B. (ed.), Technological systems and economic performance: The case of factory automation, pp. 21-56. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht-Boston-London.

CARROLL, G.R. y Hannan, M.T. 1995. Organizations in industry: strategy, structure and selection. Oxford University Press, New York.

CASARES, R. J. 2002. El pensamiento en la política económica. Esic Editorial, Madrid, 238 pp.

CBG-IPN. 2005. [web en línea]. Disponible desde Internet en:

<<http://www.ipn.mx/index.cfm?varURL=buscador.cfm>> [con acceso el 12 de enero de 2005].

CENTRO DE BIOTECNOLOGÍA GENÓMICA (CBG-IPN). [web en línea].

Disponible desde Internet en: <<http://www.cbg.ipn.mx/impacto.htm>> [con acceso de 2004 a 2006]

CENTRO DE DESARROLLO DE PRODUCTOS BIÓTICOS (CEPROBI-IPN). [web en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://www.ceprobi.ipn.mx/>> [con acceso de

2004 a 2006]

CENTRO DE INCUBACIÓN DE EMPRESAS DE BASE TECNOLÓGICA (CIEBT-IPN). [web en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://www.ciebt.ipn.mx/>> [con acceso de 2004 a 2006]

CHRISTENSEN P., Eskelin, H., Forström, B., Lindmark, L. y Vatne, E. 1990. Firms in networks. Concepts, spatial impacts and policy implications. En Illeris, S. y Jakobsen, L. (eds.), *Networks and regional development*, pp. 11-58. Akademisk Verlag University Press: Copenhagen.

CHISOLM, R. F. 1996. On the meaning of networks. *Group & Organization Management*, 21: 216-235.

CIMOLI, M. 1992. Tecnología y desarrollo. Algunas consideraciones sobre los recientes avances de la economía de la innovación. En *El cambio tecnológico hacia el milenio*, pp. 21-64. Ed. Economía Crítica: España.

----- y Dossi, G. 1992. Tecnología y desarrollo: algunas consideraciones sobre los recientes avances en la economía de la innovación. En Gómez, M., Sánchez, M. y de La puerta, E. (Compiladores). *El cambio tecnológico hacia el nuevo milenio. Debates y nuevas teorías*. Economía crítica: Madrid.

----- y Dosi, G. 1994. De los paradigmas tecnológicos a los sistemas nacionales de producción e innovación. *Revista Comercio Exterior*, agosto: 669-682.

----- y Dosi, G. 1996. Technological paradigms, patterns of learning and development: an introductory roadmap. En Dopfer, K. (ed.), *The global dimension of economic evolution. Knowledge variety and diffusion in economic growth and development*, pp. 63-88. Physica-Verlag: Heidelberg.

CLASSEN, D. C., Pestotnik, S. L., Evans, R. S., Lloyd, J. F. y Burke, J. O. 1997. Adverse Drug Reaction in Hospitalised Patients, Excess Length of Stay, Extra Costs, and Attributable Mortality. *The Journal of the American Medical Association*, 126:608-614.

CLAVIJO, F. y Valdivieso, S. 1994. La política industrial de México, 1988-1994. En Clavijo, F. y Casar, J. I. (Comp), *La industria mexicana en el mercado mundial*. Elementos

para una política industrial, Colección El Trimestre Económico No. 80, Ed. Fondo de Cultura Económica: México.

COASE, R. H. 1937. The nature of the firm. *Economía*, 4: 386-405.

COHEN, W. y Levinthal, D. A. 1990. Absorptive capacity. A new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35: 128-152.

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT). [web en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://www.conacyt.mx/>> [con acceso de 2004-2006]

CONACYT. 2003. Programa de trabajo institucional. Ramo 38: Ciencia y tecnología.

----- 2004. Informe 2001-2003. Perspectivas.

----- 2004. Indicadores de actividades científicas y tecnológicas. Edición de bolsillo.

----- 2005. Indicadores de actividades científicas y tecnológicas. Edición de bolsillo, México, 104 pp.

CONTI, S. 1993. The network perspective in industrial geography: Towards a model. *Geografiska Annaler*, 75B: 115-130.

COOKE, P. 1998. Introduction: Origins of the concept. En Braczyk, H.J. Cooke, P. y Heidenreich, M. (eds.), *Regional innovations systems. The role of governances in a globalized world*, pp. 2-25. UCL Press: London-Pensilvania.

----- y Morgan, K. 1994. The creative milieu: A regional perspective on innovation. En Dodgson, M. y Rothwell, R. (eds.), *The handbook of industrial innovation*, pp. 25-32. Edward Elgar: Aldershot.

----- y Morgan, K. 1998. *The associational economy. Firms, regions, and innovation*. Oxford University Press, Oxford.

COOMBS, R., Richards, A., Paolo, P. y Walsh, V. 1996. Introduction: technological collaboration and networks of alliance in the innovation process. En Coombs, R., Richards, A., Paolo, P. y Walsh, V. (eds.), *Technological collaboration: The dynamics of cooperation*

in industrial innovation, pp. 1-17. Edward Elgar: Cheltenham.

CORIAT, B. 1992. Pensar al revés. Trabajo y organización en la empresa japonesa. Siglo Veintiuno Editores, México, 168 pp.

COWAN, R. y Foray, D. 1997. The Economics of codification and the diffusion of knowledge. *Industrial and Corporate Change*, 6: 595-622.

CROOKE, S. T. 1998. Optimizing the Impact of Genomics on Drug Discovery and Development. *Nature Biotechnology*. 16:29-30.

D

DAHL, M. S. 2001. What is the essence of geographic clustering. Paper presented in the DRUID Nelson & Winter Conference, 12-15 June, in Aalborg, Denmark.

DAVID, P. A. 1985. Clio and the Economics of QWERTY. En *American Economic Review*, 75, (mayo): 332-337.

DALUM, B., Johnson, B. y Lundvall, B. A. 1992. Public policy in the learning society. En Lundvall, B.A. (ed.), National systems of innovation. Towards a theory of innovation and interactive learning, pp. 296-317. Pinter Pub Ltd: London-New York.

DEBRESSON, C. y Amesse, F. 1991. Networks of innovators: A review and introduction to the issue. *Research Policy*, 20(5): 363-379.

----- y Andersen E. 1996. Economic interdependence and innovative activity: An input-output analysis. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, 438 pp.

----- y Hu, X. 1999. Techniques to identify clusters of innovative activity: A new approach and a toolbox. En Boosting innovation: The cluster approach, OCDE, Paris.

DOMRÖS, C. 1994. Innovationen und Institutionen. Eine transaktionskostenökonomische Analyse unter besonderer Berücksichtigung strategischer Allianzen, Berlín, Dunc-ker & Humblot.

DOSI, G. 1982. Technical paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of

the determinants of technical change, *Research Policy*, 2(3), 147-162.

DOSI, G. 1984. Technical change and industrial transformation. Ed. Macmillan, Londres, 338 pp.

DOSI, G. 1988. Sources, procedures and microeconomics effects of innovation. *Journal of Economic Literature*, 26: 1126-1171.

DOSI, G. 1991. Una reconsideración de las condiciones y los modelos del desarrollo. Una perspectiva “evolucionista” de la innovación, el comercio y el crecimiento. *Revista Pensamiento Iberoamericano*, núm. 20, julio-diciembre.

----- y Soete, L. 1988. Technical change and economic theory. Ed. Printer Publisher, London-New York.

-----, Pavitt, K. y Soete, L. 1993. La economía del cambio técnico y el comercio internacional. CONACYT-SECOFI, México.

DUSSAUGE, P., Hart, S. y Ramanantsoa, B. 1992. *Strategic technology management*. Ed. John Wiley & Sons, 228 pp.

E

EDQUIST, C. 1997. Systems of innovation: Institutions and organizations. Routledge, London-New York, 320 pp.

ENRÍQUEZ, J. 2004. Mientras el futuro te alcanza: Cómo la Genómica y otras tecnologías están cambiando tu vida, trabajo, salud y riqueza. Ed. Círculo Cultural Azteca, México, 259 pp.

ESCOBAR, G. G. 2003. Conceptualizaciones y definiciones de la política en la administración pública ¿cuáles son sus dilemas? Documento de trabajo de la UNAM, No. 6. [documento en línea]. Disponible desde Internet en:
<<http://www.politicas.unam.mx/publi/publicp/razoncinica/RC68.htm>> [con acceso en 2005]

F

FAJNZYLBBER, F. 1988. Competitividad internacional: Evolución y lecciones. *Revista de la CEPAL*, 56 (diciembre): 7-24.

FONFRÍA, A. 1997. Factores tecnológicos y estructurales explicativos de la internacionalización de las empresas innovadoras. Documento de trabajo No. 4.

[documento en línea]. Disponible desde Internet en:

<<http://arcos.inf.uc3m.es/~juange/Iro/0001/grupos/mirror/www.ucm.es/BUCM/cee/iainf/050501.htm>> [con acceso en 2005]

-----, 2000. Patrones de innovación y sus manifestaciones hacia la internacionalización: El caso de las empresas innovadoras españolas. En Molero, J. (ed.). *Competencia global y cambio tecnológico. Un desafío para la economía española*, pp. 289-323. Ed. Pirámide: Madrid.

-----, Heijis, K., Jiménez, F., Zofío, J. L. y Presmanes, B. 1998. La política científica y tecnológica en las regiones españolas. Documento de trabajo No. 10. [documento en línea]. Disponible desde Internet en:

<<http://arcos.inf.uc3m.es/~juange/Iro/0001/grupos/mirror/www.ucm.es/BUCM/cee/iainf/050501.htm>> [con acceso en 2005]

FORAY, D. 1991. Repères pour une économie des organisations de R&D, *Revue d'Economie Politique*, 101(5): 780-808.

FORAY, D. 1997. The dynamic implications of increasing returns: Technological change and path dependent inefficiency, *International Journal of Industrial Organization*, 15(6): 733-752.

FORAY, D. y Lundvall, B. A. 1996. The knowledge-based economy: from the economics of knowledge to the learning economy. En *Organization for Economic Cooperation and Development, Employment and Growth in the Knowledge-based Economy*, pp. 11-32. OECD: París.

FREEMAN, C. 1975. *La teoría económica de la innovación industrial*. Alianza Editorial, Madrid, 403 pp.

FREEMAN, C. 1988. Japan: A new national system of innovation? Technical change and economic theory. Pinter Publishers, London-New York.

FREEMAN, C. 1991. Networks of innovators: A synthesis of research issue. *Research Policy* 20(5): 499-514.

FREEMAN, C. 1994. Innovation and growth. En Dogson M. y Rothwell, R. (eds.), The handbook of industrial innovation, pp. 78-93. Elgar: Aldershot.

FREEMAN, C. 1995. The “national system of innovation” in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*, 19: 5-24.

FREEMAN, C. 1997. The ‘national system of innovation’ in historical perspective. En Archibugi, D. y Michie, J. (eds.), Technology, globalisation and economic performance, pp. 24-49. Ed. Cambridge University Press: Cambridge.

-----, Clark, J. y Soete, L. 1985. La teoría Schumpeteriana del ciclo económico y la innovación. En Desempleo e innovación tecnológica. Un estudio de las ondas largas y el desarrollo económico, pp 39-68. Ed. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social: Madrid.

----- y Louca, F. 2001. As time goes by: from the industrial revolutions to the information revolution. Oxford University Press, Oxford, Reino Unido, 407 pp.

FRENK, J. 2004. Mensaje del Doctor Julio Frenk Mora, Secretario de Salud, en la firma del Decreto de Creación del Instituto Nacional de Medicina Genómica. [documento en línea] Disponible desde Internet en: <http://www.inmegen.org.mx/pdfs/Mensaje_Frenk.pdf> [con acceso en 2005]

FRITSCH, M. 2001. Innovation by networking: An economic perspective. En Koschatzky, K., Kulicke, M. y Zenker, A. (eds.), Innovation networks: Concepts and challenges in the European Perspective, pp. 25-34. Physica-Verlag: Heidelberg.

G

GELSING, L. 1992. Innovation and the development of industrial networks. En Lundvall, B.A. (ed.), National systems of innovation. Towards a theory of innovation and interactive

learning, pp. 116-128. Pinter Pub Ltd: London-New York.

GRABHER, G. 1993. The weakness of strong ties: The lock-in of regional development in the Ruhr area. En Grabher, G. (ed.), *The embedded firm. On the socioeconomics of industrial networks*, pp. 255-277. Routledge: Londres.

H

HÅKANSSON, H. 1987. *Industrial technological development: A network approach*. Routledge, Londres.

HANNAN, M. y Freeman, C. 1984. Structural inertia and organizational change, *American Sociological Review*, 49: 149-164.

HAUKNES, J. 1999. Norwegian input-output clusters and innovation patterns. En OECD, *Boosting innovation: The cluster approach*. OCDE: París.

HENDRY, C., Brown, J., DeFillipi, R. y Hassink, R. 1999. Industry clusters as commercial knowledge and institutional networks. Opto-electronics in six regions in the UK, USA and Germany. En Grandori, A. (ed.), *Interfirm networks. Organization and industrial competitiveness*. Routledge: London-New York.

HIDALGO, A., Silva, I., Barrientos, E., et al. 2006. Proyecto Mapa Genómico de los mexicanos. *Ciencia y Desarrollo*, 32 (191):32-52. [publicación en línea]. Disponible desde Internet en:

<<http://www.inmegen.gob.mx/mambo/images/stories/publicaciones/pdf/cienciaydesarr.pdf>> [con acceso en 2006]

HOEN, A. 1999. Three variations on identifying clusters. [documento en línea]. Disponible desde Internet en: <http://www.oecd.org/dsti/sti/s_t/inte/nis/Clusters/clusters.htm> [con acceso en 2006]

HOUNIE, A., Pittaluga, L., Porcile, G., y Scatolin, F. 1999. La CEPAL y las nueva teorías del crecimiento. *Revista de la CEPAL*, 68:7-33.

HOUSMAN, D. y Ledley, F. D. 1998. Why Pharmacogenomics? Why Now. *Nature*

Biotechnology. 16:492-493.

I

INFORME ANUAL DE CONACYT. 2004.

INFORMES DEL GOBIERNO DE COAHUILA SOBRE COMPETITIVIDAD.

INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA (IBT-UNAM). [web en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://www.ibt.unam.mx/>> [con acceso de 2004 a 2006]

INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL (IMPI). [web en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://www.impi.gob.mx/impi/jsp/indice.jsp>> [con acceso de 2004 a 2006]

INSTITUTO NACIONAL DE MEDICINA GENÓMICA. [web en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://www.ibt.unam.mx/>> [con acceso de 2004-2006]

INSTITUTO NACIONAL DE MEDICINA GENÓMICA. 2006. Palabras del Presidente Vicente Fox Quezada durante la ceremonia de creación del Instituto Nacional de Medicina Genómica, que tuvo lugar el lunes 19 de julio de 2004 en el salón Adolfo López Mateos de la residencia oficial de los Pinos. [publicación en línea]. Disponible desde Internet en: <http://www.inmegen.gob.mx/mambo/images/stories/noticias/2004/pdf/vfq_190704.pdf#search=%22Palabras%20del%20Presidente%20Vicente%20Fox%20Quezada%20durante%20la%20ceremonia%20de%20creaci%C3%B3n%20del%20Instituto%20Nacional%20de%20Medicina%20Gen%C3%B3mica%22> [con acceso en 2004]

J

JIMÉNEZ, G. 2003. Desarrollo de una plataforma para la medicina genómica en México, *Science* 300(5617):295-296. [publicación en línea]. Disponible desde Internet en: <http://www.funsalud.org.mx/documentos/gjs_science_esp.pdf> [con acceso el 13 de septiembre de 2004]

JIMÉNEZ, G. 2004. Ceremonia de creación del Instituto Nacional de Medicina Genómica: Discurso del Dr. Gerardo Jiménez Sánchez en la firma del Decreto de Creación del Instituto Nacional de Medicina Genómica. [publicación en línea]. Disponible desde Internet en:

<http://www.inmegen.gob.mx/mambo/images/stories/noticias/2004/pdf/gjs_190704.pdf#search=%22jim%C3%A9nez%20Ceremonia%20de%20creaci%C3%B3n%20del%20Instituto%20Nacional%20de%20Medicina%20Gen%C3%B3mica%22> [con acceso el 13 de septiembre de 2004]

JIMÉNEZ, G. 2005. El genoma y la Ética. *Revista de la Universidad de México*, 17:21-26. [publicación en línea]. Disponible desde Internet en:

<http://www.inmegen.gob.mx/mambo/images/stories/publicaciones/pdf/revista_univ_mexico.pdf> [con acceso en 2005]

-----, Valdés, J. C. y Soberón, G. 2002a. Desarrollo de la Medicina Genómica en México. *Este País*, octubre: 17-23. [publicación en línea]. Disponible desde Internet en: <http://www.funsalud.org.mx/documentos/ensayo_jvs2.pdf> [con acceso el 13 de septiembre de 2004]

-----, Valdés, J. C. y Soberón, G. 2002b. El Instituto Nacional de Medicina Genómica. *Este país*, diciembre: 50-56. [publicación en línea]. Disponible desde Internet en: <http://www.funsalud.org.mx/documentos/ensayo_jvs3.pdf> [con acceso el 13 de septiembre de 2004]

-----, Valdés, J. C. y Soberón, G. 2002c. En el umbral de la Medicina Genómica. *Este país*: Septiembre:21-30. [publicación en línea]. Disponible desde Internet en:

<http://www.funsalud.org.mx/documentos/ensayo_jvs.pdf> [con acceso el 13 de septiembre de 2004]

-----, Valdés, J. C. y Soberón, G. 2002d. Nueva dimensión en el cuidado de la salud: El Instituto Nacional de Medicina Genómica, una alianza pública, académica y privada *Caleidoscopio de la Salud*, 255-262. [publicación en línea]. Disponible desde Internet en:

<<http://www.funsalud.org.mx/casesalud/caleidoscopio/18%20NuevaDimension.pdf#search=%22jim%C3%A9nez%20En%20el%20umbral%20de%20la%20medicina%20gen%C3%B3mica%22>> [con acceso el 13 de septiembre de 2004]

JOHANSSON, I., Lundqist, E., Bertilsson, L., Dahl, ML., Sjoqist, F. y Ingelmann-Sundberg M. 1993. Inherited amplification of an active gene in the Cytochrome P450 CYP2D locus as a cause of ultrarapid metabolism of debrisoquine. *Proc. Natl. Acad. Sci*, 90:11825-11829.

JOHNSON, B. 1992. Institutional learning. En Lundvall, B. A. (ed.), *National systems of innovations*. Printer Publishers: London.

K

KARLSSON, C. y Westin, L. 1994. Patterns of a network economy: An introduction. En Johansson, B., Karlsson, C. y Westin, L. (eds.), *Patterns of a Network Economy*, pp. 1-12. Springer: Berlín.

KATZ, M. L. y Shapiro C. 1985. Network externalities, competition, and compatibility. *American Economic Review* 75: 424-440.

KEEBLE, D. Wilkinson, F. 1999. Collective learning and knowledge development in the evolution of regional clusters of high technology SMEs in Europe. *Regional Studies*, 33:295-303.

KEEBLE, D. 1997. Small firms, innovation and regional development in Britain in the 1990s, *Regional Studies*, 31:281-293.

KEYNES, J. M. 1936. *Teoría general de la ocupación, el interés y el dinero*. Ed. Fondo de Cultura Económica, México, 334 pp.

KOGUT, B., Shan, W. y Walker, G. 1993. Knowledge in the network and the network as knowledge: The structuring of new industries. En Grabher, G. (ed.), *The embedded firm on the socioeconomics of industrial networks*, pp. 67-94. Routledge: Londres.

KOSCHATZKY, K. 1998. Firm innovation and region: The role of space in innovation processes. *International Journal of Innovation Management*, 2:383-408.

KOSCHATZKY, K. 2002. Fundamentos de la economía de redes. Especial enfoque a la innovación. *Economía Industrial*, 346: 15-26.

KOUTSOYIANNIS, A. 1985. Microeconomía moderna. Amorrortu editores, Buenos Aires, 656 pp.

KRUGMAN, P. 1992a. Geografía y comercio. Antoni Bosch Editor, Barcelona, 160 pp.

KRUGMAN, P. 1992b. Motivos y dificultades en la política industrial. Política industrial: Teoría y práctica. Colegio de Economistas de Madrid (edit.), España.

KRUGMAN, P. 1995. Development, geography and economic theory. The MIT Press, Cambridge-Massachusetts, 128 pp.

KUHN, T. S. 1962. La estructura de las revoluciones científicas. Fondo de Cultura Económica, México.

KUZNETS, S. 1998. El crecimiento económico moderno, hallazgos y reflexiones. En Los Premios Nobel de Economía, 1969-1977. Ed. Fondo de Cultura Económica, México, 399 pp.

L

LALL, S. 1996. Las capacidades tecnológicas. En Jean-Jacques, S., Sagasti, F. y Sachs, C. (Comps), Una búsqueda incierta. Ciencia, tecnología y desarrollo. Ed. de la Universidad de las Naciones Unidas, CIDE, Fondo de Cultura Económica, México.

LARREA, M. 2000. Sistemas productivos locales en la C. A. del País Vasco. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco (edit.), Vitoria-Gasteiz, 421 pp.

LAWSON, C. y Lorenz, E. 1999. Collective learning, tacit knowledge and regional innovative capacity. *Regional Studies*, 33:305-317.

LAZAROU, J., Pomeranz, B. H., Corey, P. N. 1998. Incidence of Adverse Drug Reactions in Hospitalized Patients - A Meta-analysis of Prospective Studies. *The Journal of the American Medical Association*, 279(15 Abril):1200.

LE BARS, A., Mangematin, V. y Nesta, L. 1998. Innovation in SMEs: The missing link. En High-Technology small firms conference: The 6th Annual International Conference at the University of Twente, the Netherlands. Proceedings, 1:307-324. University of Twente:

Twente.

LIN, K. M., Poland, R. E., Wan, W. Y., Smith, M. W. y Lesser, I. M. 1996. The Evolving Science of Pharmacogenetics: Clinical and Ethnic Perspectives. *Psychopharmacol.* 32:205-217.

LOMELÍ, J. 1987. Perspectivas de la Química Inorgánica a nivel internacional. En La reconversión industrial en América Latina, X: Minería y Siderurgia. Ed. Fondo de Cultura Económica, México.

LUNDVALL, B. 1988. Innovation as an interactive process: From user-producer interaction to the national system of innovation. En Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G. y Soete, L.L.G. (eds), *Technical change and economic theory*, pp. 349-369. Printer Publisher: Londres.

LUNDVALL, B. A. 1992a. National systems of innovation: Towards a theory of innovation and interactive learning. Printer Publishers Ltd, Londres, 342 pp.

LUNDVALL, B. A. 1992b. User-producer relationships, national systems of innovation and internationalisation. En Lundvall, B.A. (ed.), *National systems of innovation: Towards a theory of innovation and interactive learning*, pp. 45-67. Printer: London-New York.

LUNDVALL, B. A. 2000. Technology policy in the learning economy. En Archibugi, D., Howells, J. y Michie, J. (eds.), *Innovation policy in a global economy*, pp.19-33. Cambridge University Press: Londres.

----- y Borrás, S. 1997. The globalising learning economy: Implications for innovation policy. En Borrás, S. (ed.), *Report based on contributions from seven projects under the Targeted Socio-Economic Research (TSER) programme*, Commission of the European Union (DG XII), Bruselas.

----- y Johnson, B. 1992. Introduction. En Lundvall, B. (ed.), *National system of innovation*. Pinter Publisher, London.

-----, Johnson, B., Andersen, E. S. y Dalum, B. 2002. National systems of production, innovation and competence building. *Research Policy*, 31(2): 213-231.

M

MALERBA, F. Orsenigo, L. 1995. Schumpeterian patterns of innovation. *Cambridge Journal of Economics*, 19(1): 47-65.

MARCEAU, J. 1994. Clusters, chains and complexes: Three approaches to innovation with a public policy perspective. En Dodgson, M. y Rothwell, R. (eds.), *The handbook of industrial innovation*, pp. 3-12. Edward Elgar Publishing: Aldershot.

MARSHALL, A. 1963. *Principios de economía*. Madrid: Aguilar.

MARTÍN, C. 1992. La Política industrial un debate permanente. En *Política industrial, teoría y práctica*, Ed. Colegio de Economistas, Madrid.

MASKELL, P. 2001. Growth and the territorial configuration of economic activity. Papers and abstracts produced for the Danish Research Unit for Industrial Dynamics (DRUID) Nelson and Winter Conference in Aalborg, Denmark, 1-24 pp. [publicación en línea].

Disponible desde Internet en:

<<http://www.druid.dk/conferences/nw/paper1/maskell.pdf>> [con acceso en 2005]

MCCORMICK, D. 1999. African enterprise clusters and industrialization. Theory and reality. *World Development*, 27(9): 1531-1551.

MERAZ, R. 2005. Biomedicina Genómica a la medida de cada Paciente. *Ciencia y Desarrollo*, 30(180): 16-19.

MEYER-KRAHMER, F. 1985. Innovation behaviour and regional indigenous potential, *Regional Studies*, 19:523-534.

MICHELI, J. 1996. Technology policy for a weak market. En Randall L. (ed.), *Changing structure of Mexico. Political, social and economic prospects*. Ed. M. E. Sharpe: London, England.

MICHELI, J. y Oliver, R. 2004. La política de la ciencia y tecnología en México, sus avances y limitaciones. Ed. Eón, México.

MOLERO, J. 1994. Desarrollos actuales de la teoría del cambio tecnológico: Tipologías y modelos organizativos. *Información Comercial Española*, 726: 7-22.

MOLERO, J. y Buesa, M. 1996. Innovación y cambio tecnológico. En García Delgado, J. L. (Dir), pp. 135-157. *Lecciones de Economía Española*. Civitas: Madrid.

MOWERY, D. y Nelson, R. 1999. The sources of industrial leadership. Ed. Cambridge University Press, Cambridge, 401 pp.

MYRO, R. 1994. La política industrial activa. *Revista Economía Aplicada*, II(6): 171-182.

MYTELCA, L. y Smith, K. 2002. Policy learning and innovation theory: An interactive and co-envolving Process. *Research Policy*, 31(8-9): 1467-1479.

N

NAVARRO, M. 2001. Los sistemas nacionales de innovación: Una revisión de la literatura. Documento de trabajo núm. 26, del Instituto de Análisis Industrial y Financiero (IAIF) de la Universidad Complutense de Madrid, España.

NELSON, R. 1988. Institutions supporting technical change in the United States. En Dosi, G. et al. (eds.), *Technical change and economic theory*. Printer Publishers, Londres.

NELSON, R. 1993. *National innovation systems: A comparative analysis*. University Press, Oxford-New York, 560 pp.

NELSON, R. 2002. Special issue: Bringing institutions into evolutionary growth theory. *Journal of Evolutionary Economics*, 12(1): 17-28.

----- y Nelson, K. 2002. Technology, institutions, and innovation systems. *Research Policy*, 31(2): 265-272.

----- y Winter, S. 1977. In search of useful theory of innovation. *Research Policy*, 6(1): 36-76.

----- y Winter, S. 1982. *An evolutionary theory of economic change*. Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Mass.

NIETO, A. M. 2001. Bases para el estudio del proceso de innovación tecnológica en la empresa. Universidad de León, León, 265 pp.

NIOSI, J. 2002. National systems of innovations are “x-efficient” (and x-effective): Why some are slow learners. *Research Policy*, 31(2): 291-302.

----- y Bellon, B. 1994. The global interdependence of national innovation systems, *Technology in Society*, 16(2):173-197.

-----, Saviotti, P., Bellon, B. y Crow, M. 1993. National Systems of Innovation: In search of a workable concept. *Technology in Society*, 15(3): 201-227.

NONEKA, I y Takeuchi, H. 1995. The knowledge-creating company. How Japanese companies create the dynamics of innovation. Oxford University Press, Nueva York.

NORTH, D. C. 1990. Institutions, institutional change and economic performance. Cambridge University Press, Cambridge.

NORTH, D. C. 1993. Instituciones, cambio institucional y desempeño económico. Ed. Fondo de Cultura Económica/Economía Contemporánea, México, 190 pp.

NOSNIK, A. 2002. El análisis de los sistemas de comunicación en las organizaciones: 10 años Después. En La comunicación en las organizaciones. Ed. Trillas: México.

O

OECD. 1997. National Innovation Systems. [documento en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://www.oecd.org/dsti/sti/>> [con acceso en 2004]

OECD. 1999. Managing national innovation systems. OECD, París.

OECD PROCEEDINGS. 1999. Boosting innovation: The cluster approach. OECD Publication Services, París, 427pp. [documento en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://www.edisonproject.info/files/BoostingInnovation.pdf#search=%22Roelandt%20Den%20Hertog%201998%20Cluster%20Analysis%20%26%20Cluster-based%20Policy%20in%20OECD%20countries%20Various%20approaches%20early%20results%20%26%20policy%20implications%20Draft%20synthesis%20report%20on%20ph>>

[ase%201%20OECD-](#)

[Focus%20Group%20on%20industrial%20clusters%20The%20Hague%20Utrecht%22>](#)

[con acceso en 2006]

OECD. 2004. Science, technology and industry: Outlook 2004. OECD, París.

P

PENEDER, M. (1995). Cluster techniques as a method to analyze industrial competitiveness. *IAER International Advances in Economic Research*, 1(3): 295-303.

PENEDER, M. 1997. Creating a coherent design for cluster analysis and related policies. Documento presentado en OECD Workshop on cluster analysis and cluster based policies, 10-11 de octubre, en Amsterdam.

PÉREZ, C. 2001. El cambio tecnológico y las oportunidades de desarrollo como blanco móvil. *Revista de la CEPAL*, 75 (diciembre):

PÉREZ, C. 2002. Technological revolutions and finance capital: The dynamic of bubbles and golden ages. Edwar Elgar, Chentenhalm, Reino Unido, 198 pp.

PÉREZ-TAMAYO, R. (1996). "Ciencia y Cultura en México". *México, ciencia y tecnología en el umbral del siglo XXI*, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología., México.

PORTER, M. E. 1990. The competitive advantage of nations. Free Press, New York, 896 pp.

PORTER, M. E. 1998. Cúmulos y competencia. Nuevos objetivos para empresas, Estados e instituciones. En Porter, M. E. Ser competitivos. Nuevas aportaciones y conclusiones, pp. 203-288. Ediciones Deusto: Bilbao.

POSTE, G. 1998. Molecular Medicine and Information-based Targeted Healthcare. *Nature Biotechnology*, 16:19-21.

POWELL, W. 1990. Neither market nor hierarchy. networks forms of organization. En Cummings, L. L. y Staw, B. M. (eds.), *Research in Organizational Behavior*, pp. 295-336. JAI Press, Greenwich, Con.

PREBISCH, R. 1979. Las teorías neoclásicas del liberalismo económico. *Revista de la CEPAL*, núm.7 (abril): 171-192.

PRITCHARD, A. 1969. Statiscal bibliography or Bibliometrics. *Journal of Documentation*, 25(4): 348-369.

PROGRAMA NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA 2000 - 2006 - Capítulo II. 2005. [documento en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://www.conacyt.mx/dap/pecyt/index.html>> [con acceso el 12 de enero de 2005].

PROGRAMA UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN EN SALUD (PUIS). [web en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://www.puis.unam.mx/>> [con acceso de 2004 a 2006]

PROYECTO UNIVERSITARIO SOBRE EL GENOMA HUMANO (PUGH). [web en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://www.unam.mx/genoma/>> [con acceso de 2004-2006]

PROWS, D. R. y Prows, C. A., 1998. Optimization Drug Therapies Based on Genetic Differences: Implications for the Clinical Setting. *AACN Clinical Issues*. 9(4):499-512.

R

REID, S. y Garnsey, E. 1998. How do small companies learn? Organisational learning & knowledge management in the high-tech small firm. En High-Technology Small Firms Conference, The 6th Annual International Conference at the University of Twente, the Netherlands. Proceedings, 1:391-401. University of Twente, Twente.

RIVERA, M. A. 2000. México en la economía global. tecnología, espacio e instituciones. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 212 pp.

ROELANDT, Th.J.A. y Den Hertog, P. (ed.) 1998. Cluster Analysis & Cluster-based Policy in OECD countries. Various approaches, early results & policy implications. Draft synthesis report on phase 1, OECD-Focus Group on industrial clusters, The Hague/Utrecht. [documento en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://www.oecd.org/dsti/sti/s t/inte/nis/Clusters/clusters.htm>> [con acceso en 2005]

ROELANDT, T. J. A., Den Hertog, P., Van Sinderen, J. y Van den Hove, N. 1999. Cluster analysis and cluster policy in the Netherlands. En *Boosting innovation: The cluster approach*, OCDE: París.

ROSENBERG, N. 1982. *Inside the black box: Technology and economics*. Cambridge University Press, Cambridge.

ROTHWELL, R., 1972. Factors for success in industrial innovations from Project SAPPHO: A comparative study of success and failure in industrial innovation. SPRU, Brighton.

ROTHWELL, R. 1991. External networking and innovation in small and medium-sized manufacturing firms in Europe. *Technovation*, 11: 93-112.

RUTTAN, V. 1979. Usher y Schumpeter en la invención, la innovación y el cambio tecnológico. En Rosenberg, N., *Economía del cambio tecnológico*. Ed. Fondo de Cultura Económica: México.

S

SAGASTI, F. R. 1981. El factor tecnológico en la teoría del desarrollo económico. El Colegio de México, México, 152 pp.

SAMUELSON, P. 1969. *Curso de economía moderna. Una descripción analítica de la realidad económica*. Ed. Aguilar, Madrid.

SAVIOTTI, P. P. 1998. On the dynamics of appropriability, of tacit and of codified knowledge. *Research Policy*, 26:843-856.

SCIENCE AND TECHNOLOGY INDICATORS AT A GLANCE. 2004. México.

SCHIBANY, A., Hämäläinen, T. y Schienstock, G. 2000. Innovation networks. En OECD, *Science, technology and industry outlook 2000*, pp.201-215. OECD: París.

SCHMITZ, H. 1995. Collective efficiency: Growth path for small-scale industry. *Journal of Development Studies*, 31(4): 529-566.

----- y Nadvi, K. 1999. Clustering and industrialization: Introduction. *World Development*, 27(9): 1503-1514.

SCHUMPETER, J. A. 1939. Business cycles: A theoretical, historical, and statistical analysis of the capitalist process. McGraw-Hill, New York-London.

SCHUMPETER, J.A., (1967). Teoría del desenvolvimiento económico, Ed. FCE, México.

SCHUMPETER, J. A. 1968. Capitalismo y democracia, Ed. Aguilar, Madrid.

SCHUMPETER, J. A. 1974. La Dinámica de la competencia y el monopolio. En Hunter, A. monopolio y competencia. Ed. Tecnos.

SCHUMPETER, J. A. 1978. Teoría del desenvolvimiento económico: Una investigación sobre ganancias, capital, crédito, interés y ciclo económico. Ed. Fondo de Cultura Económica, México, 256 pp.

SECRETARÍA DE SALUD, 2000a. Acuerdo por el que se crea la Comisión Nacional para el genoma humano. Diario Oficial de la Federación, 23 de octubre: 72-73.

SECRETARÍA DE SALUD, 2000b. Acuerdo por el que se crea con carácter permanente la Comisión Nacional de Bioética. Diario Oficial de la Federación, 23 de octubre: 73-74.

SEGURA, J. 1992. La política industrial un debate permanente. En Política industrial, teoría y práctica, Ed. Colegio de Economistas, Madrid.

SCHMIDT, K. 1998. Just for you. *New Scientist*, 14:32-36.

SMITH, H. L., Dickson, K. y Smith, S. L. 1991. There are two sides to every story: Innovation and collaboration within networks of large and small firms, *Research Policy*, 20:457-468.

SOCIEDAD MEXICANA DE MEDICINA GENÓMICA (SOMEGEN). [web en línea]. Disponible desde Internet en: <<http://www.somegen.org.mx/lasomegen.htm>> [con acceso de 2004 a 2006]

SOLOW, R. M. 1957. Technical change and aggregate production function. *Review of Economics and Statistics*. 39(3, Ago): pp. 312-320.

SONI, M. (compilador) 1995. Compilación de tratados en materia de Propiedad Intelectual y poderes aplicables a los países del continente Americano: Asociación Interamericana de Propiedad Industrial (ASIPI). Asociación Interamericana de Propiedad Industrial.

SPENCER, J. C. 1996. Making knowledge the basis of a dynamic theory of the firm. *Strategic Management Journal*, 17:45-62.

STABER, U. 1996a. Networks and regional development: Perspectives and unresolved issues. En Staber, U. H., Schaefer, N. V. y Sharma, B. (eds.), *Business networks: Prospects for regional development*, pp. 1-148. Walter de Gruyter: Berlín.

STABER, U. 1996b. The social embeddedness of industrial district networks. En Staber, U. H., SCHAEFER, N. V. y Sharma, B. (eds.), *Business networks: Prospects for regional development*, pp. 148-174. Walter de Gruyter: Berlín.

STIGLITZ, J. E. 1995. La economía del sector público. Ed. Antoni Bosch, Barcelona, 756 pp.

STIX, G. 1998. Personal Pills. *Scientific American*, 10.

STONEMAN, P. 1995. Handbook of the economics of innovation and technological change. Ed. Blackwell, Oxford UK - Cambridge USA, 608 pp.

STORPER, M. 1995. The resurgence of regional economies, ten years later: The region as a nexus of untraded interdependencies. *European Urban and Regional Studies*, 2:191-221.

STORPER, M. 1996. Innovation as collective action: Conventions, products and technologies, *Industrial and Corporate Change*, 5:761-790.

STORPER, M. 1997. The regional world territorial development in a global economy. Guilford Press, Nueva York.

SWANN, G. M. P. 1998. Towards a model of clustering in high-technology industries. En Swann, G.M.P., Prevezer, M. y Stout, D. (eds.), *The dynamics of industrial clustering. International comparisons in computing and Biotechnology*, pp. 52-76. Oxford University Press: Oxford.

----- y Prevezer, M. 1998. Introduction. En Swann, G.M.P., Prevezer, M. y Stout, D. (eds.), *The dynamics of industrial clustering. International comparisons in computing and Biotechnology*, pp. 1-12. Oxford University Press: Oxford.

T

TEECE, D. 1988. Technological change and the nature of the firm. En Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G. y Soete, L. (eds.), *Technical change and economic theory*, pp. 256-66. Pinter Publishers: London.

TEMPLE, P. 1998. Clusters and competitiveness: A policy perspective. En Swann, G.M.P., Prevezer, M. y Stout, D. (eds.), *The dynamics of industrial clustering. International comparisons in computing and Biotechnology*, pp. 256-297. Oxford University Press: Oxford.

TIJSSSEN, R. J. W. 1998. Quantitative assessment of large heterogenous R&D networks: The case of process engineering in the Netherland, *Research Policy*, 26:791-809.

TÖDTLING, F. 1994. Regional networks of high-technology firms-the case of the greater Boston area. *Technovation*, 14:323-343.

V

VAESSE, P. Keeble, D. 1995. Growth-oriented SMEs in unfavourable regional environments. *Regional Studies*, 29:489-505.

VENCE D. X. 1995. Economía de la innovación y del cambio tecnológico. Ed. Siglo XXI de España Editores, S. A. 496 pp.

VERBEEK, H. 1999. Innovative Clusters. Identification of value-adding production chains and their networks of innovation, an international studies. Tesis de doctorado, Universidad Erasmus de Rotterdam. [documento en línea]. Disponible desde Internet en: <http://www.oecd.org/dsti/sti/s_t/inte/nis/Clusters/clusters.htm> [con acceso en 2005]

W

WALRAS, L. 1987. Elementos de economía pura o teoría de la riqueza social. Ed. Alianza Universidad, Madrid.

WEICK, K. E. 1976. Educational organizations as loosely coupled systems. *Administrative Science Quarterly*, 21:1-19.

WILLIAMSON, O. E. 1981. The economics of organization: The transaction cost approach. *American Journal of Sociology*, 87:548-577.

WILLIAMSON, O. E. 1989. Transaction cost economics. En Schmalensee, R. y Willig, R. D. (eds.), *Handbook of Industrial Organisation*, pp. 135-182. Elsevier: Amsterdam.

WIONCZEK, M. 1980. ¿Es viable una política de ciencia y tecnología en México? *Foro Internacional*, 21(81): 1-23.

Z

ZUBIAURRE, A. 2000. La innovación en las empresas de la CAPV. Tesis doctoral. ESTE, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Deusto, San Sebastián.

ZYSMAN, J., y Tyson, L. (1983), *American industry in international competition: Government policies and corporate strategies*. Cornell University Press, Ithaca, New York.