



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



CENTRO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS ADMINISTRATIVAS Y SOCIALES

MAESTRÍA EN POLÍTICA Y GESTIÓN DEL CAMBIO TECNOLÓGICO

**“APORTACIONES DE LAS UNIVERSIDADES EN LA INVESTIGACIÓN Y EL
DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LAS CENTRALES NUCLEOELÉCTRICAS EN
MÉXICO, 1990-2010”**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA EN POLÍTICA Y GESTIÓN DEL
CAMBIO TECNOLÓGICO**

PRESENTA

PEDRO RAMÓN CERVANTES PETERSEN

DIRECTORAS DE LA TESIS

DRA. GEORGINA ISUNZA VIZUET

DRA. HORTENSIA GÓMEZ VÍQUEZ

MÉXICO D. F., AGOSTO DE 2012



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México Distrito Federal el día 10 del mes de agosto del año 2012, el que suscribe Pedro Ramón Cervantes Petersen alumno del Programa de Maestría en Política y Gestión del Cambio Tecnológico con número de registro B101201, adscrito a Centro de Investigaciones Económicas Administrativas y Sociales, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la Dra. Georgina Isunza Vizuet y Dra. Hortensia Gómez Víquez y cede los derechos del trabajo intitulado “Aportaciones de las universidades en la investigación y desarrollo tecnológico de las centrales nucleoelectricas en México, 1990-2010”, 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: pcpetersen8@yahoo.com.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Pedro Ramón Cervantes Petersen

Dedico este trabajo

A todas las mujeres y hombres, que a través de la fe, han aportado conocimiento científico y tecnológico.

“El padre Juan Sánchez Baquero, gobernador de los colegios de la Compañía de Jesús, formo parte de la junta señalada por don Luis de Velazco el segundo, cuando, anegada la ciudad por las espantosas inundaciones del año de 1607, se hubieron de tomar inmediatos atributos para remediar aquel mal, en que perecieron miles de indios y la ciudad fue abandonada por más de quince mil familias de españoles. En unión con los padres Pedro Mercado y Bartolomé Santos, con el doctor Villerino y Henríco Martínez, el padre Sánchez Baquero intervino en la solución del desagüe del Valle de México por la parte de la laguna de San Cristóbal Ecatepec, pueblo de Huehuetoca y tajo de Nochistongo”

Francisco González de Cossío

Agradecimientos

AL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, POR SU APOYO ECONÓMICO A TRAVÉS DE LA BECA DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE FORMACIÓN DE INVESTIGADORES

AL CENTRO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS ADMINISTRATIVAS Y SOCIALES POR LA OPORTUNIDAD DE CURSAR LA MAESTRÍA EN ESTA GRAN INSTITUCIÓN

AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, POR LA BECA OTORGADA PARA LA REALIZACIÓN DE ESTOS ESTUDIOS

A LA FUNDACIÓN TELÉFONOS DE MÉXICO, POR SU APOYO ECONÓMICO, COMPUTADORA E IMPRESORA QUE ME OTORGO DURANTE MI ESTANCIA EN LA MAESTRÍA

A MIS MAESTROS, CON SU PROFESIONALISMO Y VOCACIÓN, GUIARON CON LA LUZ DE SU CONOCIMIENTO, HACIA LA CULMINACIÓN DE ESTA TAREA

A MIS COMPAÑEROS, PROCEDENTES DE DIFERENTES DISCIPLINAS CIENTÍFICAS, CREAMOS DEBATE Y ENRIQUECIMOS EL CONOCIMIENTO

A MI FAMILIA, POR SU CONTINUO ALIENTO PARA NO CLAUDICAR

Índice

| Nº | Contenido | Página |
|--------------------|---|--------------|
| | Acta de aceptación de la tesis por el Jurado | <i>ii</i> |
| | Carta cesión de derechos | <i>iii</i> |
| | Dedicatoria | <i>iv</i> |
| | Agradecimientos | <i>v</i> |
| | Índice | <i>vii</i> |
| I | Acrónimos | <i>xi</i> |
| II | Glosario de Términos | <i>xvi</i> |
| III | Resumen/abstract | <i>xvii</i> |
| IV | Introducción | <i>xviii</i> |
| Capítulo 1. | Las perspectivas teóricas de la transferencia de conocimiento de las universidades a la industria. | 1 |
| 1.1 | La complejidad y heterogeneidad de las relaciones IES-industria. | 3 |
| 1.2 | Las IES en la comercialización de la investigación. | 4 |
| 1.3 | El fomento a la creación de <i>Spin-Offs</i> académicos. | 12 |
| 1.4 | Las diferencias de desempeño de los <i>Spin-Offs</i> universitarios y los <i>Spin-Offs</i> corporativos. | 17 |
| 1.5 | Las IES como promotoras de investigación y desarrollo tecnológico | 20 |
| Capítulo 2. | Las aportaciones de las universidades a la investigación y desarrollo de Centrales Nucleoeléctricas. | 28 |
| 2.1 | El sector eléctrico en México en el marco de las políticas públicas. | 30 |
| 2.2 | La trayectoria tecnológica de la energía nuclear | 36 |
| 2.3 | La energía nucleoelectrica como elemento de competitividad de las regiones | 45 |
| 2.4 | Estado del conocimiento sobre los proyectos tecnológicos de las IES en la Investigación y desarrollo de Centrales | 50 |

| | | |
|--------------------|---|---------------|
| | Nucleoeléctricas | |
| 2.5 | El estado del conocimiento de las IES en México respecto a las líneas de investigación internacionales | 68 |
| 2.6 | Producción de artículos científicos publicados de las IES en México | 75 |
| 2.7 | Vinculación con las empresas productoras de Centrales Nucleoeléctricas | 80 |
| 2.8 | Apoyos gubernamentales en investigación nuclear | 81 |
| Capítulo 3. | Los presupuestos asignados a los IES para la investigación y desarrollo de Centrales Nucleoeléctricas. | 104 |
| 3.1 | Los presupuestos asignados para la investigación y desarrollo de CN comparados con otras redes de investigación. | 107 |
| 3.2 | Países y Universidades internacionales que más aportan conocimiento en CN y las tendencias de investigación. | 124 |
| 3.3 | Los avances en I+D en torno al combustible, los desechos nucleares, la seguridad, los costos de instalación y el mantenimiento. | 136 |
| 3.4 | La propuesta de los IES para impulsar la I+D en centrales nucleoeléctricas. | 151 |
| 4 | Conclusiones | <i>xxviii</i> |
| 5 | Bibliografía | <i>xxxiv</i> |
| Anexo A | Guion de la entrevista. | <i>li</i> |
| Anexo B | DVD con entrevistas video grabadas | <i>liv</i> |

I. Acrónimos

| | |
|----------------------------|--|
| AIEA | Agencia Internacional de Energía Atómica |
| ANUIES | Asociación Nacional de Universidades e Instituto de Educación Superior |
| CyT | Producción científica y tecnológica de las IES |
| CECADET | UNAM Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, Universidad Nacional Autónoma de México. |
| CERN | Organización Europea de Investigaciones Nucleares |
| CFE | Comisión Federal de Electricidad |
| CIC | Centro de Investigación en Computación |
| CIE UNAM. | Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México |
| CIIDIR OAX | Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca |
| CINDOC | Laboratorio de Cibermetría del Centro de Información y Documentación Científica de España |
| CIVESTAV-IPN | Centro de Investigaciones Avanzadas del Instituto Politécnico Nacional |
| CNEA | Comisión Nacional de Energía Atómica |
| CNLV | Central Nuclear de Laguna Verde, Veracruz |
| CNSNS | Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguarda |
| CONACYT | Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología |
| DCB UAMAzC | Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. |
| DCBI | División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAM Iztapalapa |
| DCI AIRE UAMIzt | Departamento de Ciencias e Ingeniería, Área de Ingeniería en Recursos Energéticos, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa |
| DF ESFM IPN. | Departamento de Física, Escuela Superior de Física y Matemáticas, Instituto Politécnico Nacional |
| DF UAMIzt | Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa |
| DIPH UAMIzt | Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, Universidad |

| | |
|----------------------------|--|
| | Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. |
| DQ ININ | Departamento de Química, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares |
| DQ UAMIzt | Departamento de Química, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa |
| DS UAMAzc | Departamento de Sistemas, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco |
| DSCM ININ | Departamento de Síntesis y Caracterización de Materiales, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares |
| DSE FI UNAM | Departamento de Sistemas Energéticos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. |
| ESCOM | Escuela Superior de Cómputo |
| ESFM | Escuela Superior de Física Matemática IPN |
| ESIME | Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. |
| GFCyT | Gasto Federal en Ciencia y Tecnología |
| GRIN | Grupo de Ingeniería Nuclear Facultad de Ingeniería UNAM |
| I+D | Investigación y Desarrollo |
| IDE | Investigación y Desarrollo Experimental |
| IES | Instituciones de Educación Superior |
| IF UNAM | Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México. |
| IIE | Instituto de Investigaciones Eléctricas |
| IIM UNAM UAMIzt | Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa |
| IMAS UNAM | Instituto de Matemáticas Aplicadas a los Sistemas, Universidad nacional Autónoma de México |
| IMP | Instituto Mexicano del Petróleo |
| IMPI | Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial |
| INEN | Instituto Nacional de Energía Nuclear. |
| ININ e DQ ITT | Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Departamento de Química, Instituto Tecnológico de Toluca. |
| ININ e ITT | Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares y Instituto |

| | |
|----------------------|--|
| | Tecnológico de Toluca. |
| ININ FC UAEM | Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares y Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México. |
| ININ | Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares |
| IPN | Instituto Politécnico Nacional |
| LAIRN FI UNAM | Laboratorio de Análisis en Ingeniería de Reactores Nucleares, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. |
| LEMA | Laboratorio de Espectrometría de Masas con Aceleradores, del Instituto de Física de la UNAM |
| NRC | Comisión de Regulación Nuclear. Realiza las certificaciones de los reactores nucleares en Estados Unidos de Norteamérica. |
| OCDE | Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico |
| OEIA | Organización Internacional de Energía Atómica |
| OEP | Organización Europea de Patentes |
| OIEA | Organización Internacional de Energía Atómica. |
| OMPI | Organización Mundial de la Propiedad Intelectual |
| ONU | Organización de Naciones Unidas |
| PECYTI | Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2008-2012. |
| PIB | Producto Interno Bruto |
| PIE | Productores Independientes de Energía |
| PND | Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 |
| POISE | Programa de Obras de Inversión del Sector Eléctrico 2011-2025 |
| SEMIP | Secretaría de Minas Industria y Paraestatales |
| SENER | Secretaría de Energía |
| SIN | Sistema Nacional de Innovación |
| SNCYT | Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología |
| SNIIn | Sistema Nacional de Investigadores |
| SNM | Sociedad Nuclear Mexicana |
| UAMIZT | Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa |
| UNAM | Universidad Nacional Autónoma de México |

| | |
|---------------|---|
| UNESCO | Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (en inglés <i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>) |
| UPIBI | Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología |
| UPIITA | Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas |
| URAMEX | Uranio Mexicano, empresa paraestatal de explotación minera de uranio |
| USPTO | <i>United States Patent and Trademark Office's</i> (Oficina de patentes de los Estados Unidos) |
| WANO | Asociación Mundial de Operadores Nucleares |
| WEO | <i>World Energy Organization</i> |
| WNA | <i>World Nuclear Association</i> |
| WNN | <i>World Nuclear News</i> |
| WNU | Universidad Nuclear Mundial de la <i>World Nuclear Association</i> (WNA). |

II. Glosario de Términos

Acelerador de electrones: Es un dispositivo que utiliza campos electromagnéticos para acelerar partículas cargadas a altas velocidades para colisionarlas con otras partículas.

Acelerador de iones Tandetrón con una energía de 2MeV en terminal: Acelera protones, partículas alfa y una gran variedad de otros iones, mediante la generación de una elevada diferencia de potencial, hasta 2 Millones de Voltios. Usos: Determinación de plutonio en muestras ambientales. Datación por ^{14}C ; entre otros.

Acelerador de protones Tandem Van de Graaff, 100 nA y 12 MeV de energía máxima: El acelerador lineal de protones acelera los protones a energías de 12 MeV. Son utilizados para producir reacciones nucleares.

Artículo científico: Un artículo científico (a veces también llamado *paper* como anglicismo) es un trabajo breve destinado a la publicación en revistas especializadas.

Aumento de potencia extendida (APE): La máxima potencia térmica producida por el reactor de una central nuclear constituye un límite operativo básico en los que se sustentan los análisis que garantizan la operación segura de la planta.

Carboeléctrica: Son plantas termoeléctricas de vapor, alimentadas por carbón, las cenizas residuales requieren maniobras especiales y amplios espacios para el manejo y confinamiento.

Central nucleoelectrica de Laguna Verde, Veracruz: Es una central nuclear de generación eléctrica, cuenta con 2 unidades generadoras de 682.5 MW eléctricos cada una. Es propiedad de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Hasta ahora, es la única central nuclear en México.

Ciclos económicos: Se denominan ciclos económicos o ciclos comerciales o fluctuaciones cíclicas de la actividad económica a las oscilaciones recurrentes de la economía en las que una fase de expansión va seguida de otra de contracción, seguida a su vez de expansión y así sucesivamente.

Combustible Nuclear MOX: El MOX, abreviatura de *Mixed Oxide* (Mezcla de Óxidos) es un tipo de combustible utilizado en los reactores nucleares de fisión compuesto por una mezcla de óxido de uranio natural, uranio reprocessado o uranio empobrecido, y óxido de plutonio.

Combustible nuclear: Combustible nuclear a todo aquel material que haya sido adaptado para poder ser utilizado en la generación de energía nuclear.

Correcciones radioactivas de los decaimientos de bariones: Los bariones son una familia de partículas subatómicas formadas por tres quarks. Están en el núcleo del átomo junto a los neutrones y protones.

Desarrollo humano sustentable: Es satisfacer las necesidades de las generaciones

presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades.

Desechos nucleares: Los residuos radiactivos son residuos que contienen elementos químicos radiactivos que no tienen un propósito práctico. Entre estos residuos se encuentran el plutonio 240, que tarda aproximadamente 6600 años en desintegrarse; y el neptunio 237, con una vida media de 2.130.000 años.

Detectores de Silicio para partículas cargadas: Es un separador de materia y antimateria, capaz de separar partículas de carga positiva de las de carga negativa a partir de la curvatura de sus trayectorias en el campo magnético.

Diseño de núcleos de reactores nucleares: Para la prevención de accidentes se diseñan mejoras en los procesos de fisión nuclear, ya que cuando el núcleo se fusiona se produce un accidente grave en un reactor nuclear, en el que el combustible cambia de estado sólido a líquido por efecto del calentamiento del combustible, éste puede ser debido a un aumento de potencia o la imposibilidad de ser refrigerado.

Energía nucleoelectrónica: El principio de producción de electricidad de una central nuclear es el movimiento de turbinas a partir de la fuerza del vapor proveniente del agua calentada a partir del proceso de fisión del Uranio 235.

Enriquecimiento isotópico: El enriquecimiento isotópico del uranio es una fase intermedia en el ciclo del combustible nuclear. Forma parte de la serie de pasos que conduce a fabricar los elementos combustibles que se introducen en la mayor parte de los reactores nucleares.

Energía Eólica: Energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas.

Estado del arte de la tecnología: *State of the art*, muy utilizado en el inglés, su origen se le atribuye a Aristóteles en su libro de Metafísica. Hace referencia al nivel más alto de desarrollo conseguido en un momento determinado sobre cualquier aparato, técnica o campo científico plural.

EUREKA: Es un programa de cooperación tecnológica entre las naciones europeas, abierto también a países no comunitarios, como México.

Fenomenología de interacciones electrodébiles: El modelo electrodébil es una teoría física que unifica la interacción débil y el electromagnetismo, dos de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza. A su vez, este modelo se halla incluido en la Teoría de Gran Unificación (GUT), que une la interacción electrodébil con la interacción nuclear fuerte.

Física de Altas Energías: La física de altas energías o física de partículas, es la rama de la física que estudia los componentes elementales de la materia y las interacciones entre ellos. Las partículas fundamentales se subdividen en bosones y fermiones, que son las responsables de transmitir las fuerzas fundamentales de la naturaleza. A estas partículas se

las puede ver sólo en grandes colisiones provocadas en los aceleradores de partículas.

Fisión nuclear: La fisión ocurre cuando un núcleo pesado se divide en dos o más núcleos pequeños, además de algunos subproductos como neutrones libres, fotones (generalmente rayos gamma) y otros fragmentos del núcleo como partículas alfa (núcleos de helio) y beta (electrones y positrones de alta energía).

Flujos multifásicos: El flujo multifásico se define como el movimiento de un torrente gases libres y líquidos a través de tuberías, que es el caso del sistema hidráulico de una central nucleoelectrónica, midiendo su densidad, viscosidad y compresibilidad.

Fluorescencia de Rayos X: La fluorescencia de rayos X (FRX) es una técnica espectroscópica que utiliza la emisión secundaria o fluorescente de radiación X generada al excitar una muestra con una fuente de radiación X.

Gases de Efecto Invernadero (GEI): Se denominan gases de efecto invernadero (GEI) o gases de invernadero a los gases cuya presencia en la atmósfera contribuyen al efecto invernadero; gases, como el CO₂.

Geotermia: La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el hombre mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. Es una fuente renovable para producir energía eléctrica, sin destrucción del medio ambiente, que han sido investigadas y desarrolladas en las últimas décadas.

Hidráulica: La energía hidráulica es aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua, saltos de agua o mareas.

Hidrocarburo: Los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno.

Indicadores bibliométricos: La bibliometría es una parte de la cienciometría que aplica métodos matemáticos y estadísticos a toda la literatura de carácter científico y a los autores que la producen, con el objetivo de estudiar y analizar la actividad científica.

Indicadores cienciométricos: Los indicadores científicos surgen de la medición de los insumos y de los resultados de la institución científica, elabora metodologías para formular esos indicadores con técnicas interdisciplinarias de la economía, la estadística, la administración y la documentación.

Instituto de Educación Superior (IES): Las instituciones de Educación Superior tienden a la técnica y su aplicación, basan sus planes de estudio a las políticas empresariales de contratación. La Universidad y el Instituto tienen campos estrictamente diferenciados. Los institutos o escuelas técnicas surgen en contextos de saturación del mercado laboral y de excesos en la formación universitaria, como es el caso de un teorismo, sin praxis, y del primado de la ideología particular por encima de las ciencias y las filosofías.

Mecánica cuántica supersimétrica: El comprender las consecuencias de la supersimetría ha demostrado ser matemáticamente desalentador, y así mismo, ha sido difícil desarrollar teorías que pudiesen dar cuenta de la ruptura espontánea de simetría, es decir, la falta de observación de partículas pareja de masa igual.

Megawatts: Un Megawatts equivale a un millón de watts. Un kilowatts (kW) equivale a 1000 watts. Un kW equivale a 1,35984 caballos de vapor.

Onda senoidal: En matemáticas, se llama senoide la curva que representa gráficamente la función seno y también a dicha función.

Patent Integration: Es una base de datos de más de 20 millones de patentes, publicadas en Japón, EE.UU., Europa, China y Taiwán, además de un servicio de búsqueda y análisis de patentes integrado basado en un programa cliente específico que permite acceder a dicha base de datos, cubre 103 millones de registros de citas.

Patente: Una patente es la certificación que el Gobierno de nuestro país otorga, tanto a personas físicas como morales, la cual les permite explotar exclusivamente invenciones que consistan en nuevos productos o procesos durante un plazo improrrogable de 20 años contados a partir de la presentación de la solicitud correspondiente.

Reactor nuclear: Un reactor nuclear es un dispositivo en donde se produce una reacción nuclear controlada. Una central nuclear puede tener varios reactores.

Reactor nuclear de agua hirviente (BWR): Un reactor de agua en ebullición (BWR) (inglés: *Boiling Water Reactor*), es un tipo de reactor nuclear de agua ligera (LWR en inglés), diseñado por General Electric. Son los que tiene México en su central nucleoelectrónica de Laguna Verde.

Reactor nuclear de agua ligera (LWR): Reactores LWR (*Light Water Reactors*), utilizan como refrigerante y moderador el agua ligera, son los más utilizados en la actualidad para generar electricidad.

Reactor Nuclear subcrítico: Es un reactor de fisión nuclear que en lugar de mantener una reacción en cadena, utiliza neutrones adicionales provenientes de un reactor acoplado a un acelerador de partículas para su producción y se denomina "*Accelerator-Driven System*" (ADS).

Redes de Difracción: Las redes de difracción son una herramienta muy útil para la medición de la longitud de onda de la luz. Consiste en un gran número de rayas o rendijas igualmente espaciadas y marcadas o grabadas sobre una superficie plana.

Resonancia Paramagnética Electrónica: La Resonancia paramagnética electrónica (RPE) o resonancia de espín electrónico (REE) es una técnica espectroscópica sensible a electrones desapareados. Esto es, generalmente, un radical libre, para moléculas orgánicas o un ion de un metal de transición, si es un compuesto inorgánico.

ScienceDirect: Es una de las principales bases de datos científicas de texto completo, ofrece artículos de más de 2500 revistas y capítulos de más de 11000 libros.

Seguridad nuclear: La seguridad nuclear cubre las acciones tomadas para prevenir los accidentes nucleares y radiológicos o para limitar sus consecuencias.

Spin-Off académico: Un *Spin-Off* académico es una empresa que nace en el seno de centros universitarios o de un instituto de investigación, transfiere directamente el conocimiento producto de la investigación a la empresa y lo transforma en aplicaciones

prácticas.

Spin-Off corporativo: Estas empresas surgen de otra empresa, apoyados desde el sector público.

Start-up: Empresas académicas fuera del campus universitario.

Superconductividad: Se denomina superconductividad a la capacidad intrínseca que poseen ciertos materiales para conducir corriente eléctrica sin resistencia ni pérdida de energía en determinadas condiciones.

Torio: Es un elemento radiactivo más abundante en la naturaleza que el uranio. Es fértil y no fisionable, y puede ser usado como combustible nuclear en conjunción con el material fisible, al generar uranio-233.

Transdisciplina: La transdisciplinariedad comprende una familia de métodos para relacionar el conocimiento científico, la experiencia extra-científica y la práctica de la resolución de problemas.

Tsunami: Tsunami es una palabra japonesa que se refiere a maremoto.

Universidad: La Universidad es el lugar en que se enseña el conocimiento universal. La Universidad moderna tiene cuatro funciones principales: investigación, enseñanza, educación profesional y la transmisión de una clase particular de cultura.

III. Resumen

Partiendo de fundamentos teóricos de la vinculación Estado, universidad y empresa, esta tesis analiza las aportaciones de las Instituciones de Educación Superior a la investigación y desarrollo de la central nucleoelectrica en México. El análisis teórico y empírico de los modelos de vinculación, se realizaron a partir de los indicadores cientométricos, de patentes y del gasto federal en investigación y desarrollo experimental para comparar la producción científica y tecnológica de estas instituciones con el estado del conocimiento en otros países. La inversión del gasto federal se contrastó con el de los países que cuentan con el mayor número de nucleoelectricas. Los hallazgos han sido alentadores, porque la central nucleoelectrica de Laguna Verde, Veracruz, ha capitalizado capacidades operativas derivadas de la investigación científica y tecnológica y han promovido la vinculación. Con ello se demuestra que México tiene potencial para operar centrales nucleoelectricas, bajo las normas internacionales, con parámetros de seguridad, calidad y eficiencia.

Abstract

Based on theoretical foundations of the link state, university and business, this thesis analyzes the contributions of higher education institutions for research and development of nuclear power plant in Mexico. The theoretical and empirical analysis of the linkage models were made from scientometric indicators, patents and federal spending on research and experimental development to compare the scientific and technological production of these institutions with the state of knowledge in other countries. The federal investment spending was compared with that of the countries with the largest number of nuclear power. The findings are encouraging, because the Laguna Verde nuclear power plant, Veracruz, has capitalized operational capabilities resulting from scientific and technological research and promoted bonding. This shows that Mexico has the potential to operate nuclear power plants under international standards, with parameters of safety, quality and efficiency.

IV. Introducción

El sector energético enfrenta retos sin precedentes debido a la tendencia al agotamiento de los hidrocarburos frente al acelerado crecimiento de la demanda de combustibles en prácticamente todas las naciones, así como a la preocupación por frenar los impactos del calentamiento global derivados del uso de los combustibles fósiles. Ello ha favorecido la emergencia de un nuevo paradigma energético en el que la innovación juega un papel central.

México debe afrontar el reto de seguridad y sustentabilidad energéticas y justamente hacia estos fines se orienta la estrategia nacional de energía, buscando una economía más competitiva, con un mayor nivel de desarrollo humano sustentable, que propicie el crecimiento económico y la generación de empleos.

Las políticas públicas asumen como premisa básica la búsqueda del Desarrollo Humano Sustentable como un proceso permanente de ampliación de capacidades y libertades que permita a todos los mexicanos tener una vida digna sin comprometer el patrimonio de las generaciones futuras. Este trabajo explora el desarrollo de las centrales nucleoelectricas como una oferta tecnológica alternativa; como fuente generadora de energía limpia, por su baja emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y con ciclos tecnológicos que aseguran su rentabilidad y eficiencia.

Apostarle a la energía nuclear es difícil porque se tiene la percepción social en contra, especialmente debido al temor provocado por el Tsunami que azotó al pueblo de Japón, el 11 de marzo de 2011 y que puso en riesgo la central nuclear de Fukushima, acontecimiento que causó polémica en torno a la seguridad de las centrales nucleoelectricas. En un informe preliminar de la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA), insta a todos los países que cuenten con este tipo de instalaciones a evaluar a fondo los dispositivos de seguridad para prevenir un incidente similar al de Fukushima (ONU, 2011). Ello, lejos de implicar el abandono de los proyectos de energía nuclear, ha permitido ampliar las fronteras del conocimiento nuclear fomentando la transdisciplina que involucra más campos de la ciencia, entre los que destaca la gestión tecnológica.

Ahora bien, ¿en qué se fundamenta este interés en la investigación y desarrollo de las centrales nucleoelectricas? Primero, el aprendizaje acumulado desde que inició de operaciones en 1990, la central nucleoelectrica de Laguna Verde, Veracruz, ha capitalizado capacidades operativas derivadas de la investigación científica y tecnológica, permitiéndole obtener reconocimientos internacionales durante su administración. Es decir, la experiencia obtenida durante los veinte años de operación de la primera unidad de Laguna Verde (y quince de la segunda unidad), han demostrado que México es capaz de operar centrales nucleoelectricas, con parámetros de seguridad, calidad y economía, comparables a los de las mejores plantas del mundo lo que eventualmente podría facilitar la transferencia tecnológica de nuevas centrales nucleares.

Por otro lado, la experiencia acumulada se relaciona estrechamente con la vinculación de las Instituciones de Educación Superior (IES)¹: la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (UAMIZT), son un soporte de conocimiento y recursos humanos que fortalecen la investigación y desarrollo en torno a la central nucleoelectrica. En ellas se sustenta gran parte del estudio aquí presentado.

En segundo lugar, México tiene la oportunidad de incursionar en el mercado tecnológico produciendo bienes de alta tecnología ya que las grandes compañías han desarrollado y difundido las tecnologías nucleares a nivel global, propiciando la competitividad en el mercado mundial con el fin de crear nuevos reactores nucleares con tecnologías innovadoras. La *World Nuclear Association* (WNA, 2011) asegura que para el desarrollo de una nueva generación de reactores nucleares, se requiere que varios países inviertan grandes cantidades de recursos financieros para la investigación y desarrollo, como es el caso de los proveedores de reactores de agua ligera *AREVA NP*, *General Electric Energy* y *Westinghouse*, asociados básicamente con las compañías japonesas *Hitachi*, *Toshiba* y *Mitsubishi*.

¹ Las IES son aquellas instituciones que realizan esfuerzos de desarrollo científico y tecnológico y comprenden tanto universidades como institutos, de acuerdo con la Asociación Nacional de Universidades e Instituto de Educación Superior (ANUIES). En el caso de esta investigación se consideraron la UNAM, el IPN y UAM. Cuando se mencione universidades se refiere especialmente al contexto internacional.

Existen en el mundo 455 reactores nucleares en operación en 32 países y están en construcción 64 más. Las centrales nucleoelectricas se ubican en los países más desarrollados y en desarrollo, como un elemento de competitividad de las regiones. La energía es un factor de la competitividad, definida por la productividad y eficiencia con la que un país utiliza sus recursos humanos, económicos y naturales.

En tercer lugar, destaca la importancia de la energía nuclear por sus múltiples aplicaciones. Algunas de las líneas de investigación y desarrollo para esta tecnología se centran en actividades como: investigación básica en la fisión nuclear; en los materiales estructurales de las nucleoelectricas; contenedores de los materiales nucleares; diseño y construcción de los reactores; diseño de los sistemas de seguridad; técnicas de análisis probabilístico; el enriquecimiento isotópico de los materiales que es utilizado en la fisión; el diseño y fabricación de combustible nuclear; el control de los desechos nucleares; el transporte; entre otras. Estas investigaciones, de manera genérica, funcionan tanto para reactores de pequeña y mediana escala como para los de mayor capacidad. Además complementan a las que se realizan en la física médica para aplicaciones en tratamientos de la salud.

Por último, en el marco del Sistema Nacional de Innovación (SNI), destaca el papel de las políticas gubernamentales, ya que las instituciones realizan esfuerzos en investigación y desarrollo, lo que revela una dinámica entre iniciativa privada, la universidad y el gobierno. Aprovechar las actividades de investigación del sector energético es uno de los ejes centrales de las políticas públicas de México, fortaleciendo a los institutos de investigación del sector, orientando sus programas, entre otros, hacia el desarrollo de las fuentes con eficiencia energética. La generación de energía nucleoelectrica fomentaría la eficiencia, la seguridad energética y la competitividad.

El **problema de investigación** deriva de la siguiente cuestión: si en México existen premisas (conocimiento) para contar con un acervo de capital humano y capacidades tecnológicas orientadas al desarrollo de las plantas nucleares, ¿por qué no han tenido suficiente impacto? Una **hipótesis** es que este limitado alcance de la política energética, se debe a que gran parte de los proyectos de investigación que llevan a cabo las instituciones y centros de investigación tecnológica, carecen de una adecuada promoción de los servicios

ofrecidos, lo que afecta la competitividad ya que la innovación es retardada y la dependencia tecnológica se acentúa, en pocas palabras, existe un problema de gestión tecnológica.

Por otro lado, considerando que investigadores mexicanos pertenecen a redes científicas y a organismos de seguridad nuclear nacionales e internacionales que les permiten el intercambio de conocimientos y las aportaciones en investigación y desarrollo de las IES son acordes al estado del arte de la tecnología nucleoelectrica en el mundo, se puede proponer una segunda **hipótesis** relacionada con la ausencia de una Política de Estado que, en marco del impulso a la búsqueda de fuentes alternativas de energía, considere el apoyo a la energía nuclear.

Bajo tales consideraciones, esta investigación se plantea como **objetivo** analizar el papel de la IES en materia de investigación y desarrollo de centrales nucleoelectricas, sus aportaciones en estos proyectos tecnológicos a través de la vinculación universidad-Estado-empresa, y el impacto que tiene la inversión del gasto federal en investigación y desarrollo experimental en este sector para innovar y ser mas competitivo. La investigación y desarrollo de las centrales nucleoelectricas se puede convertir en una fuente alternativa de energía eficiente y sustentable, a fin de contribuir a frenar los efectos del cambio climático y garantizar la seguridad energética.

Los modelos de vinculación universidad-empresa que se han desarrollado en varios países, hacen hincapié en los flujos de conocimiento de la universidad a la industria, esto ha servido de base para que otras naciones adopten parte de esta política, como es el caso de México. En la revisión de publicaciones de autores teóricos y empíricos, se discuten los factores que tienen una influencia positiva o negativa para el desarrollo de la ciencia y la innovación, destacando las políticas para la comercialización del conocimiento desarrollado en las universidades a través de la creación de Oficinas de Transferencia Tecnológica, y las de los apoyos financieros del Estado.

Esta investigación se fundamenta en las **fuentes teóricas** que estudian el tema de la vinculación Estado-empresa-universidad, desde distintas perspectivas. La vinculación universidad-empresa surgió hace cuatro décadas, como parte de la política que regula la

comercialización de la investigación y la creación de vínculos entre la investigación básica universitaria y las necesidades de la sociedad. Desde finales de los años 70's muchos países cambiaron su legislación creando mecanismos de apoyo para fomentar la interacción entre universidades y empresas, como los sistemas de innovación, implantados por los centros de investigación del estado.

Etzkowitz (2002), desarrolla un modelo teórico denominado *La Triple Hélice* que hace referencia a las múltiples relaciones recíprocas entre las universidades, el Estado y la Empresa, en los diferentes puntos de los procesos de capitalización del conocimiento, considerara que la universidad puede desempeñar un papel importante en la innovación en las sociedades basadas en el conocimiento.

En la primera generación de estudios del vínculo universidad-empresa, los autores Larsen (2000), Crespi et al (2010) y Haeussler (2010), utilizaron encuestas, estudios de caso, bases de datos y otros procedimientos para medir las aportaciones académicas a la empresa. La diversidad de la metodología estriba en la falta de documentación estadística formal de las diferentes formas de interacción universidad-empresa y la restricción de las universidades a la consulta de sus bases de datos. Estos autores examinaron las patentes académicas y la creación de *Spin-Offs*, que aporta la industria a nivel institucional e individual, las políticas universitarias y mecanismos de apoyo y colaboración de los modelos industriales y los relación para crear indicadores que impulsan o frenan la innovación industrial, y el vínculo universidad-empresa, en el flujo y comercialización de la investigación académica.

Una segunda generación de estudios, los autores consultados Grimaldi et al (2010), Fini et al (2010) y Wennberg et al (2010), combinan diferentes fuentes, como bases de datos de financiación, currículum y publicaciones de patentes de los investigadores. El uso de datos históricos da una mejor imagen de la evolución en el tiempo y las relaciones causales. El análisis se ha movido desde el nivel de universidades, empresas y disciplinas a un nivel académico más desagregado. Algunas investigaciones han tratado de ampliar el análisis para incluir otros tipos de organismos públicos de investigación y otros "sectores industriales", tales como el sector público o las industrias de servicios en general, pero esto sigue siendo poco frecuente.

Didriksson, (2000), asegura que la transferencia de conocimientos y tecnologías del mundo académico a la producción, representa un salto de calidad en la organización de la producción, el trabajo y en el papel que juegan las universidades. La relación directa entre ciencia, producción y tecnología ha creado un conjunto de nuevas categorías explicativas que indican cambios fundamentales en la valorización del trabajo intelectual complejo y de los conocimientos como valor económico.

En el enfoque de Porter (2005), casi todo importa para la competitividad: importan las escuelas, las carreteras, los mercados financieros y los clientes. Estos y otros aspectos de las circunstancias de un país están profundamente arraigados en sus instituciones, habitantes y cultura. Esto es lo que hace que mejorar la competitividad sea un reto tan especial, porque no existe ninguna política o medida que por sí sola pueda crear competitividad, sino que debe haber muchas mejoras en muchos ámbitos distintos, algunas que inevitablemente tardan en madurar.

Dosi (1982), diseña un modelo que intenta dar cuenta de los continuos cambios y discontinuidades en la innovación tecnológica. Estos continuos cambios suelen estar relacionados con los avances tecnológicos a lo largo de una trayectoria definida por un paradigma tecnológico, mientras que las discontinuidades se asocian con la aparición de un nuevo paradigma. Corona, (2002) afirma que los cambios organizacionales pueden ser explicados por el fenómeno del comportamiento cíclico de las variables económicas que ha sido observado por la recurrencia de etapas de crecimiento y de crisis en diferentes periodos. Dentro de sus posibles causas se considera el cambio técnico como una de las variables que explican los ciclos económicos. Pérez (2002), considera los periodos de oscilación de los ciclos económicos, como no son simétricos, parte de una visión Schumpeteriana del papel desempeñado por la innovación en el comportamiento cíclico de la economía capitalista. El empresario no inventa, innova.

En este escenario, las centrales nucleoelectricas tienen periodos largos para la innovación, dadas las características de inversión que representaban en los albores para su instalación. Con el desastre ocurrido en Japón que puso en riesgo la seguridad de la central nuclear de Fukushima además de la preocupación por frenar los efectos del cambio climático en el mundo, se puede impulsar una onda ascendente en el ciclo tecnológico,

fomentando la participación de la comunidad científica y su competencia en el mercado tecnológico para las alternativas energéticas del futuro.

A pesar de las oscilaciones en los programas nucleoelectricos del mundo, muchos países han mantenido políticas energéticas que contemplan la utilización creciente de fuentes nucleares. La tecnología aplicada a las centrales nucleoelectricas, implica la generación de conocimientos, dentro de un proceso de investigación donde las universidades se les confiere la misión de ser centros de generación de conocimientos válidos, confiables y altamente competitivos, que respondan a la consolidación de nuevos esquemas de desarrollo, específicamente a la producción de conocimientos para el aparato productivo. Las IES en México han creado unidades académicas, de investigación y desarrollo; contribuyen con la formación de recursos humanos para desarrollar las centrales nucleoelectricas como una fuente limpia generadora de electricidad.

A partir de estos fundamentos teóricos y empíricos, el **método** utilizado se nutre de fuentes documentales y de campo, ya que, con el uso de los indicadores cientométricos y de patentes, muestra el papel de las IES en materia de energía nuclear. Por su parte, las entrevistas a expertos mexicanos en el campo del conocimiento nucleoelectrico, aportan gran vigencia, orientación de los proyectos, líneas de investigación y aportaciones en el campo de la investigación y desarrollo de centrales nucleoelectricas en México, así como los retos que enfrentan.

No solo las ciencias básicas como las físico-matemáticas o las químico-biológicas se pueden considerar como las que contribuyen a la investigación y desarrollo de las centrales nucleoelectricas. Las ciencias económico-administrativas, las sociales y biomédicas, también aportan conocimiento desde el marco que engloba hoy la interdisciplinar de la Gestión de los Proyectos Tecnológicos, es por eso que el análisis cientométrico es un parámetro de productividad científica y tecnológica, a partir de todos los campos de la ciencia.

Se analizan las contribuciones de las IES a partir de las publicaciones de artículos y patentes que hacen referencia al desarrollo reactores nucleares, seguridad nuclear y combustible nuclear, ejes temáticos involucrados en la investigación y desarrollo de

centrales nucleoelectricas. Se consultaron las bases de datos disponibles en la página Web de la Biblioteca Nacional de Ciencia y Tecnología, del Instituto Politécnico Nacional. En la búsqueda de artículos se utilizó la base de datos *ELSEVIER*, en la ventana *ScienceDirect*. Para las patentes se utilizó el software *Patent Integration*. Las palabras claves, llamadas también booleanos, se utilizan como referencia para realizar el análisis cuantitativo. El análisis se lleva a cabo a partir de las bases de datos que agrupan diferentes publicaciones especializadas en temas específicos de ciencia y tecnología.

De la información obtenida de las bases de datos se construyen graficas en función del tiempo que nos proporciona la trayectoria de la tecnología estudiada. Si la variable muestra un crecimiento es posible que esta tecnología siga recibiendo recursos financieros para continuar su investigación y desarrollo, pero no necesariamente nos dice que sea una tecnología madura. Si, por el contrario, la grafica muestra una curva decreciente en el tiempo, es casi seguro que su ciclo tecnológico esté terminando. Para corroborar estos supuestos, es necesario realizar un análisis de patentes; la variación del número de patentes en el tiempo nos dice que tan “madura” es la tecnología y si tiene innovaciones incrementales. La nacionalidad de los titulares e inventores de las patentes, son indicadores del mercado tecnológico y lugar donde se está realizando el desarrollo tecnológico. Cruzar la información cuantitativa y de patentes nos dice si la tecnología es vigente o es obsoleta.

A partir del análisis cuantitativo, bibliométrico y de la infraestructura tecnológica con que cuentan las IES para realizar investigaciones en el campo nucleoelectrico, se entrevistaron a los investigadores que reportaron el mayor número de publicaciones. Por parte del IPN, se entrevistó al Dr. Edmundo del Valle Gallegos, dedicado a la investigación de “Métodos Nodales en Difusión y Transporte de Neutrones”, en la Escuela Superior de Física Matemática (ESFM), sus desarrollos tecnológicos son del tipo de herramientas de cálculo computacional que resuelven las ecuaciones de difusión y transporte de neutrones típicas de un reactor nuclear de agua ligera (LWR).

El Dr. Gilberto Espinosa Paredes, Profesor e Investigador del Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica de la Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa, enfoca su investigación a “Fenómenos de transporte en flujos multifásicos aplicados a

sistemas energéticos” y “Matemáticas aplicadas”, de las cuales han derivado proyectos como: “Evaluación de seguridad del aumento de potencia extendida (APE) de las unidades 1 y 2 de La Central Nuclear de Laguna Verde (CNLV)”; “Modelado, simulación y análisis de reactores nucleares de Generación III+ y IV”; “Análisis de estabilidad en reactores nucleares BWR”; “Accidentes severos en centrales nucleares”, entre otros.

El Dr. Juan Luis François Lacouture, es responsable de la línea de desarrollo de análisis y diseño de reactores y ciclos de combustible nuclear en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Tiene a su cargo el Laboratorio de Análisis en Ingeniería de Reactores Nucleares de la Facultad de Ingeniería, Campus Morelos de la Universidad Nacional Autónoma de México

Estos investigadores han construido una red de conocimiento nucleoelectrico que vincula a la triple hélice de Etzkowitz: Estado-universidad-empresa, además de promover la movilidad internacional académica a través de los programas de posgrado de las instituciones donde laboran, también establecen vínculos de investigación y desarrollo con otros institutos públicos y privados a nivel nacional e internacional.

La producción científica y tecnológica (CyT) de las IES, es lograda por los esfuerzos que el Estado mexicano realiza para dotar con una infraestructura tecnológica suficiente para el logro de esta actividad de I+D.

El desarrollo temático de esta tesis se articula en tres capítulos. El primero, “La Evidencia Teórica y Empírica de la transferencia de conocimiento de las universidades a la industria” señala la complejidad y heterogeneidad de estas relaciones, el impacto de las patentes académicas, el intercambio de información entre científicos disminuye cuando involucra un valor competitivo, la comercialización de la investigación y el fomento a la creación de *Spin-Offs* académicos, como una fuente de innovación.

En el segundo capítulo, “Las aportaciones de las universidades a la investigación y desarrollo de centrales nucleoelectricas”, se realiza el análisis cuantitativo, bibliométrico y de patentes, del IPN, UNAM y UAM, en la investigación y desarrollo de Centrales Nucleoelectricas. Se compara el estado del conocimiento de las IES en México respecto a

las líneas de investigación internacionales, se grafica producción de artículos científicos publicados de las IES en México, cual ha sido su vinculación con las empresas productoras de Centrales Nucleoeléctricas y se investiga sobre los apoyos gubernamentales en investigación nuclear.

“Los presupuestos asignados a las IES para la investigación y desarrollo de centrales nucleoelectricas”, es tratado en el Tercer Capítulo. Este capítulo analiza el impacto del financiamiento del Estado a la investigación y desarrollo experimental nucleoelectrico de las universidades, fundamentado en el análisis de los estudios de Grimaldi et al (2010), Fini et al (2010) y Wennberg et al (2010), que señalan la importancia de los apoyos financieros de Estado en la vinculación universidad-empresa. Cabe aclarar que las instancias oficiales no proporcionan información desagregada de los proyectos nucleoelectricos: costo y número. El carácter estratégico de la seguridad energética, permite al estado, a través de los Artículos 25, 26, 27 y 28 de la Constitución Política Mexicana, reservarse la divulgación de esta información. Para resolver esta dificultad, se estimó, mediante el gasto en I+D experimental federal que recibieron las IES en 2010 y el número de proyectos asignados en este periodo, obteniendo un promedio del financiamiento por proyecto. Se consultó la base de datos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), para conocer el número de proyectos nucleoelectricos, encontrándose un caso de éxito, que sirvió como comparativo de los proyectos vinculados financiados.

En este tercer capítulo también contrastamos la producción Científica y Tecnológica nucleoelectrica de la IES y la inversión que realiza el Estado, con los países que cuentan con el mayor número de nucleoelectricas en el mundo como son: Estados Unidos de Norteamérica con 104, Francia con 59, Japón 54, Rusia 31, Corea 20 y Canadá 18. Finalmente se analizó la orientación del mercado tecnológico a través de un análisis de patentes, y cuáles son las posibilidades de que México pueda ingresar a este mercado. Las conclusiones exponen los resultados de esta investigación, así como algunas asignaturas pendientes y recomendaciones para perfilar nuevas investigaciones.

Capitulo 1.

**Las perspectivas teóricas de la
transferencia de conocimiento de las
universidades a la industria.**

"Entramos para aprender, salimos para servir"

San Ignacio de Loyola

La transferencia del conocimiento de las universidades al sector productivo y social es un tema relevante que ha inspirado múltiples investigaciones desde distintas perspectivas teóricas. En este capítulo se revisan y discuten los principales enfoques teóricos, métodos e instrumentos utilizados (indicadores cuantitativos y patentes), para explicar la transferencia de conocimiento o vinculación universidad-empresa, con la finalidad de sustentar los aportes de las IES a la investigación y desarrollo de las centrales nucleoelectricas. Los indicadores cuantitativos se desarrollan a través del análisis de varias investigaciones en torno a los modelos del flujo y comercialización del conocimiento de la investigación científica académica a la industria. Parten de un análisis sobre las complejas relaciones universidad-industria-estado. En la revisión de seis publicaciones, se discuten los factores que tienen una influencia positiva o negativa para el desarrollo de la ciencia y la innovación, destacando las políticas para la comercialización del conocimiento desarrollado en las universidades; enfatizan en la heterogeneidad de la interacción universidad-empresa a través de una serie de resultados con múltiples relaciones no lineales. Los modelos de vinculación universidad-empresa que se han desarrollado en varios países, hacen hincapié en los flujos de conocimiento de la universidad a la industria, esto ha servido de base para que otras naciones adopten parte de esta política, como es el caso de México.

El campo de estudio sobre las relaciones universidad-industria surgió hace tres décadas, como parte de la política que regula la comercialización de la investigación y la creación de vínculos entre la investigación básica universitaria y las necesidades de la sociedad. Desde finales de los años 1970 muchos países cambiaron su legislación creando mecanismos de apoyo para fomentar la interacción entre universidades y empresas, en parte, en la creencia de que la innovación industrial había llegado a confiar más en los resultados de la investigación académica. Los sistemas de innovación, creados por los centros de investigación del estado, han participado en las relaciones universidad-industria, creando redes de interacción educación superior-investigación científica-innovación industrial.

En la primera generación de estudios del vínculo universidad-empresa, utilizaron encuestas, estudios de caso, bases de datos y otros procedimientos, la diversidad de la

metodología estriba en la falta de documentación estadística formal de las diferentes formas de interacción universidad-empresa y la restricción de las universidades a la consulta de sus bases de datos. Los autores examinaron las patentes académicas y la creación de *Spin-Offs*, que aporta la industria a nivel institucional e individual, las políticas universitarias y mecanismos de apoyo y colaboración de los modelos industriales y los relación para crear indicadores que impulsan o frenan la innovación industrial, y el vínculo universidad-empresa, en el flujo y comercialización de la investigación académica.

Una segunda generación de estudios combina diferentes fuentes, como bases de datos de financiación, currículo y publicaciones de patentes de los investigadores, y registros. El uso de datos históricos y datos de panel se ha extendido, dando una mejor imagen de la evolución en el tiempo y las relaciones causales. El análisis se ha movido desde el nivel de universidades, empresas y disciplinas a un nivel académico más desagregado. Algunas investigaciones han tratado de ampliar el análisis para incluir otros tipos de organismos públicos de investigación y otros "sectores industriales", tales como el sector público o las industrias de servicios en general, pero esto sigue siendo poco frecuente.

1.1 La complejidad y heterogeneidad de las relaciones IES-industria.

Larsen (2000), describe la complejidad y heterogeneidad de las relaciones IES-industria, de trabajos académicos que estudian la relación IES-empresa, destaca las investigaciones empíricas, una relación positiva entre las actividades académicas, medida por la productividad de publicación y la actividad comercial, no solo por el número de patentes, sino también por el financiamiento la investigación científica a través de fondos del sector industrial. Su análisis confirma, que el logro académico puede preceder a la comercialización y no al revés. Varios de los estudios incluidos en la revisión de Larsen, también sugieren que los altos niveles de participación del investigador académico con la industria pueden contribuir a una oscilación de la ciencia fundamental hacia una mayor investigación aplicada o comercializable. Sin embargo, el alcance y las consecuencias de cualquier cambio de este tipo no son bien entendidos, y la dirección de la causalidad no

está clara, la falta de políticas internas en las universidades para incentivar a los investigadores de todos los niveles, a participar con la industria.

1.2. Las IES en la comercialización de la investigación.

Con el estudio del impacto de las patentes académicas, a partir de datos históricos de currículos de científicos del Reino Unido y de dos encuestas, Crespi *et al* (2010), prueba dos hipótesis: Primero, evalúa si las patentes de los científicos académicos son complementarias de su formación científica. Segundo, si las patentes, como canales de intercambio de conocimiento, refuerzan positiva o negativamente el vínculo con el sector empresarial. Para evaluar el impacto de un aumento de las patentes académicas en relación con las publicaciones de una muestra de científicos del Reino Unido, utilizando la metodología desarrollada por Breschi, Lissoni y Montobbio (2005), se propuso el siguiente modelo:

$$Y_{it} = X'_{it}\beta + \tau P_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (i=1,\dots,N \text{ y } t=1,\dots,T)$$

Donde Y_{it} es una medida de resultados de la investigación, X_{it} es un conjunto de variables en el tiempo, μ_i es un efecto fijo individual y λ_t es el conjunto de los efectos en el tiempo. P_{it} es un variable *dummy* que toma el valor 1 en los años posteriores a la primera patente y 0 en otro lugar. ε_{it} , es el error relativo a las observaciones que el investigador no puede controlar, permanece constante en el tiempo, posiblemente relacionado con la actividad de patentes y los resultados de la investigación, por ejemplo, la capacidad, la productividad de la investigación, entre otras.

El modelo anterior asume implícitamente que el impacto de un aumento del número de patentes es homogéneo para cualquier investigador, independientemente de la disciplina científica. Para validar esta suposición se modeló el impacto de las patentes en función de la experiencia de los investigadores, con algunas otras características. Crespi *et al* (2010), estima que el coeficiente de la variable de patentes cae mucho y que sigue siendo depreciable. Los modelos de regresión expresados en este trabajo, predicen que las

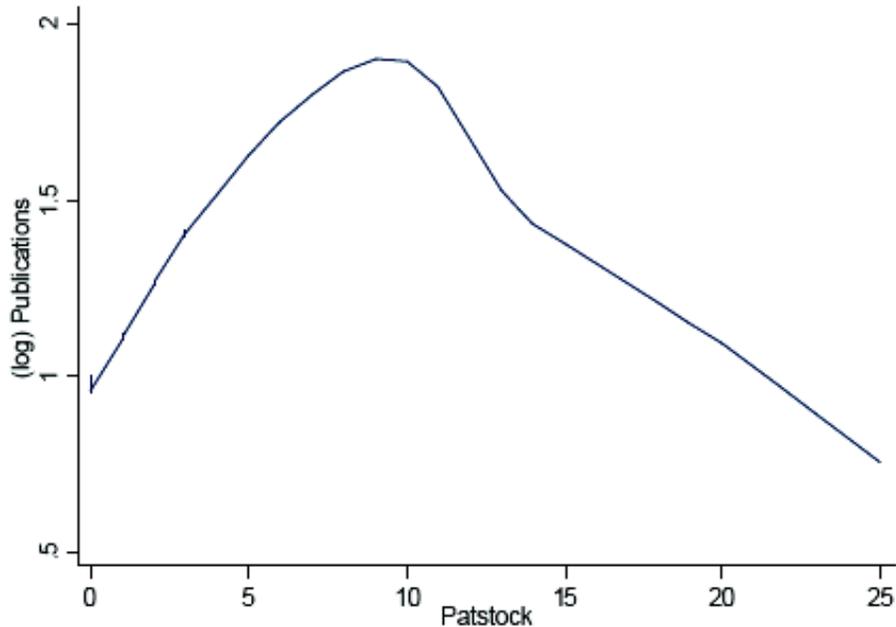
patentes académicas no tienen ningún efecto positivo o negativo sobre el número de trabajos publicados.

Un problema en esta investigación fue que los currículos, en su mayoría, no están actualizados con sus publicaciones y referencias, y no especifican claramente el tipo de publicación o revista. A fin de actualizar los currículos y de cruzar las publicaciones en revistas citadas, el autor realiza una comprobación, comparando los datos, en la base oficial del *ISI Web*. También, existieron deficiencias en la información de las patentes; la universidad no siempre es la propietaria de la patente, aunque el inventor pertenezca a ella. Para reducir la incertidumbre de la información de las patentes, el autor extrae los datos de las oficinas de Reino Unido, la Organización Europea de Patentes (OEP) y la *United States Patent and Trademark Office's* (USPTO).

Los autores con esta información, examinan la relación entre la publicación y la concesión de patentes, encontrando que las patentes académicas complementa la publicación, hasta cierto punto. Más de diez patentes, en la relación patentes-publicaciones, se debilita y/o se vuelve negativa. En ciencias de la computación y la ingeniería, esta relación no aparece. Un patrón similar también parece caracterizar la relación entre las patentes y las interacciones con la industria, se mide en términos de equipos de investigación, contratos de investigación, consultoría y formación conjunta de doctorado, que se complementa con siete u ocho patentes. Sin embargo, los autores advierten que a pesar de que sus resultados son estadísticamente significativos, hay muy pocos inventores de la muestra con muchas patentes.

Sólo cinco inventores tienen diez o más patentes, que representan el 42% del total de patentes. Esto indica que el estudio de las relaciones universidad-industria, se hace difícil por la naturaleza extremadamente sesgada de los resultados. Los resultados sugieren que las patentes son un factor que influye en la producción científica del inventor. Con el fin de estudiar si los efectos de la intensidad de patentar, dependen de las publicaciones de los científicos, la gráfica 1.2.1, muestra la forma de esta relación entre las publicaciones y las patentes, utilizando un método de regresión lineal.

Gráfica 1.2.1. *Publications vs. Patent stocks*



Fuente: Crespi *et al*, (2010)

La gráfica 1.2.1, sugiere entre estas dos variables, una función cuadrática de U invertida. Esto es consistente con otras publicaciones que afirman que una producción de más de 10 patentes conduce a una menor publicación. Crespi *et al* (2010), sugieren que las relaciones que entre las patentes y publicaciones, de los investigadores académicos se ve afectada por la relación con la industria, en donde los científicos se centran a realizar investigaciones patentable y no para publicación.

Los autores también evalúan el impacto de las patentes académicas en otros canales de transferencia de conocimiento, en este caso las Oficinas de Transferencia Tecnológica (OTT) de las universidades, enfatizando en el conflicto que se genera con los Derechos de Propiedad Intelectual (DPI), revisa los casos de Francia y Estados Unidos, donde los científicos son exhortados a colaborar con las empresas para la explotación de sus investigaciones, como es el caso de los *Spin-Offs*. La relación entre las patentes y otros canales de interacción, se ha estimado con la medida en que la cantidad de patentes por investigador es positiva o negativa, asociada con la colaboración de los investigadores con

la industria a lo largo de una variedad de canales de interacción, considerando estos canales como las siguientes interacciones:

- Acuerdos de investigación conjunta con la industria.
- Contrato de acuerdos de investigación.
- Trabajo de consultoría.
- La supervisión conjunta de estudiantes de doctorado.
- Reuniones patrocinadas por la industria.
- La creación de participaciones en empresas, por ejemplo, *Spin-Offs*.

Los resultados de esta investigación sugieren que las patentes ecdémicas pueden ser un complemento a las publicaciones, hasta cierto nivel (no más de diez), de lo contrario tienen un efecto de sustitución. La investigación también presenta un estudio sobre el posible impacto del aumento de patentes académicas a través de las relaciones con las empresas, como un canal de transferencia de conocimiento.

Los científicos deciden si desean compartir información con sus colegas o no. Haeussler (2010), investiga a partir de una base de datos de 1694 bio-científicos, las similitudes y diferencias entre investigadores académicos relacionados con la industria. La teoría social se aplica para explicar por qué los individuos comparten información de recursos humanos y costos. En ambos ámbitos, los resultados sugieren que disminuye la probabilidad de compartir información que involucra un valor competitivo. Los factores que influyen en el cambio de información están ligados al ambiente en el que el científico se desarrolla, seleccionando la información que desea compartir, ya sea de ciencia básica o de carácter competitivo. Los investigadores de la literatura académica sobre intercambio de información, señalan que los nuevos recursos, incluyendo los avances científicos, se crean principalmente a través de dos procesos genéricos: el intercambio y la combinación de conocimiento. La información compartida de los resultados de las investigaciones, permiten aprovechar el trabajo de los demás y alcanzar resultados propios más rápidamente. Por lo tanto, el progreso científico y sus beneficios para la sociedad se sostienen en el intercambio de información, esto es cierto en un contexto para la ciencia, lo académico y el industrial. La probabilidad de compartir disminuye con el valor

competitivo de la información solicitada, que se incrementa en la medida en que el científico percibe que su comunidad se ajusta a la norma de la ciencia abierta y cuando el investigador es un científico académico, el cual no es supervisado. La investigación de Haeussler (2010), establece los mecanismos subyacentes que influyen en la decisión de los científicos, que trabajan en la academia o la industria, para compartir o no la información. Sugiere que tienen un impacto directo en el intercambio cuando la información es de interés competitivo. Concluye que el capital social, en este caso de asociatividad o coherencia empresarial, es capaz de aumentar el nivel de intercambio de información entre científicos académicos e industriales, apoyando el intercambio y la combinación de conocimientos para promover el avance de la ciencia.

Sus hallazgos tienen implicación práctica para las políticas públicas. Los resultados ponen de manifiesto un efecto positivo para los empleadores de científicos industriales, que los condicionan para compartir o no la información, disminuyendo el riesgo de fuga de información. Con respecto al sistema universitario, los resultados implican que los científicos a deciden estratégicamente si desea compartir la información o no. El autor encuentra que en la universidad, los científicos están influenciados por consideraciones de interés competitivo y mecanismos basados en normas, que entran en conflicto con sus intereses personales. Estas políticas de gestión de la investigación puede desalentar el intercambio de información dentro de la academia, aumentando la competencia entre los científicos. La política pública menciona que es conveniente que la información sea compartida y de conocimiento público, pero rara vez proporcionan planes de acción o recomendaciones.

Así, Haeussler (2010) concluye que si se desea el intercambio de información, es importante fortalecer las normas, basadas en mecanismos de protección de propiedad intelectual que regulan la información que los científicos pueden divulgar. El capital social es capaz de forzar la conformidad a la norma comunitaria. La promoción de normas basadas en el comportamiento por lo tanto, debería tener un impacto directo sobre la propagación y acumulación de conocimientos. La investigación del autor está limitada a la fuente de los datos, es decir, la muestra tomada para realizar las encuestas. Los resultados no se pueden generalizar ya que la muestra está basada en el campo bio-científico, aunque

este campo científico es un destacado ejemplo de una industria altamente competitiva y de colaboración, con fuertes vínculos entre la academia y la industria.

La evidencia examinada por Grimaldi *et al* (2010), describe la evolución las universidades en la comercialización de la investigación, a partir de la promulgación de la *Ley Bayh-Dole* en los Estados Unidos de Norteamérica, hace 30 años, tomando en cuenta los fundamentos de la iniciativa empresarial académica; discutiendo y evaluando los efectos de la reforma legislativa en varios países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), relativos a la actividad empresarial académica. Su investigación sintetiza el papel de la sección especial y esboza un programa de investigación sobre diversos aspectos de la iniciativa empresarial académica en términos de sistema, los niveles de la universidad y el individuo, considerando que los problemas de medición y metodológicos deben ser abordados en otra investigación.

Menciona un rápido aumento de la base tecnológica, propiciada por las iniciativas de desarrollo económico, centradas principalmente en el fomento del espíritu empresarial en los IES, a través de patentes, licencias, la creación de *Start-up* (empresas académicas fuera del campus universitario) y la vinculación industria-universidad (Grimaldi *et al*, 2010), se refiere a esta actividad como "el espíritu empresarial académico", ya que el objetivo de estos esfuerzos es la comercialización de las innovaciones desarrolladas por científicos de los IES. La *Ley Bayh-Dole*, promulgada en 1980, ha contribuido a importantes cambios en las universidades, al comercializar y difundir las tecnologías desarrollados en sus laboratorios de investigación y en otras partes del campus, propiciando un potencial positivo para la generación de ingresos, que suelen ser reinvertidos en la investigación académica.

Existe un amplio acuerdo mundial sobre el valor de la promoción y comercialización del conocimiento y la investigación generada en las universidades públicas y privadas. Un nuevo paradigma del papel de los sistemas públicos de investigación, se inició durante la década de 1970's en Estados Unidos de Norteamérica, seguido por una creciente preocupación por el aparente deterioro de la ventaja comparativa nacional en la manufactura y en particular por la creciente competencia de empresas

Japonesas. Las políticas de mercado, influenciadas por el éxito de *Silicon Valley* y *Route*, pensaron que las universidades, podrían contrarrestar al éxito japonés. Los Estados Unidos de Norteamérica, podrían competir con la introducción de la tecnología más reciente basada en la investigación científica, desarrolladas en las universidades. La *Ley Bayh-Dole* fue la respuesta para mejorar los procedimientos de comercialización de las tecnologías desarrolladas en las universidades.

La legislación instituyó una política de patentes uniforme en todos los organismos federales eliminando restricciones en la licencia, permitiendo a los IES, la propiedad de las patentes derivadas de financiamientos federales para la investigación. *Bayh-Dole* también estipulaba que los investigadores financiados con una beca federal, están obligados a revelar sus inventos en la oficina de licencias de tecnología. Varios países europeos y asiáticos han adoptado una legislación similar. Los cambios en la legislación que rige la transferencia de tecnología universitaria, ha dado lugar a la creación de oficinas de transferencia de tecnología (OTT), que gestiona las patentes y licencias, impulsando a las universidades para elaborar sus propias normas internas específicas e implementar mecanismos de apoyo a la iniciativa académica, estas afirmaciones se basan en estudios empíricos.

En Europa, muchos inventos producto de las investigaciones académicas son patentados por otras instituciones, permitiendo conservar a las universidades los derechos de propiedad intelectual de las invenciones. Al analizar la actividad de patentar de las universidades italianas, francesas, españolas y otros profesionales de la EPO y la USPTO, se muestra que las políticas de patentes son factores determinantes de la interacción de las universidades de diferentes países. Sin embargo, muestran que a pesar de la tendencia hacia la propiedad institucional, en Europa siguen siendo muy diferenciados y no hay similitud con el sistema de Estados Unidos de Norteamérica. En términos generales, a nivel de los sistemas académicos, no todas las universidades pueden transferir conocimiento y tecnología, hay grandes diferencias en el alcance y la calidad del conocimiento, y la tecnología generados en las principales universidades. Esto sugiere que es importante tener una cartera de las actividades de emprendimiento académico en diferentes tipos de universidades y clusters regionales. En relación con esto, los enfoques

de evaluación tendrían que ser desarrollados a través de las patentes, publicaciones, número de citas, o las licencias concedidas.

Grimaldi *et al* (2010), en su análisis menciona que las universidades, se enfrentan a desafíos al alentar el espíritu empresarial académico, estas actividades pueden entrar en conflicto con sus roles tradicionales de la investigación y la enseñanza, de ahí la necesidad de que las universidades, diseñen una nueva estructura para mejorar las relaciones entre la investigación empresarial y la enseñanza tradicional. En las actividades académicas existe una gran heterogeneidad para la comercialización de la investigación, tales como las patentes, licencias, *Spin-Offs* y por contrato de investigación. Para la medición del número de empresas creadas por científicos universitarios, el autor da seguimiento, a las patentes y licencias concedidas, incluyendo el desarrollo regional por la creación de empleos en donde se ubican.

Este tipo de empresas académicas, nacen por la necesidad de tener una mayor difusión del conocimiento y su aplicación, a través de productos que beneficien a la sociedad, como una contribución al progreso tecnológico de la sociedad. Existen problemas para la medición fehaciente de estas empresas académicas y *Spin-Offs*. La información en las oficinas de patentes no está clasificada para realizar un estudio de esta manera; no se sabe si son iniciativas privadas o investigadores académicos. Grimaldi *et al* (2010), concluye que el aumento de la comercialización del conocimiento académico a partir de la *Ley Bayh-Dole*, no ha mermado la producción de en la investigación básica, más bien ha estimulado la actividad científica en las instituciones académicas, creando redes de comercialización de la tecnología universitaria. Enfatiza que los mecanismos de apoyo a las empresas académicas y *spin-out* (empresas académicas corporativas), son necesarios para mejorar su rendimiento, en comparación con las que no lo son *Star-ups* (empresas académicas creadas en las universidades). Señala que es importante las aportaciones de la *Ley Bayh-Dole*, para que las instituciones académicas, puedan conservar los derechos de propiedad intelectual de la investigación científica como patentes, a través de OTT's, que ponga a la disposición del público en general un catalogo de invenciones, con normas que especifiquen sus licenciamientos.

Los sistemas de transferencia tecnológica de las universidades de todo el mundo están en constante evolución, los países en desarrollo adoptan estos sistemas realizando modificaciones acorde a sus necesidades, en los países desarrollados como los europeos tienden a implementar sus propios sistemas de transferencia tecnológica, buscando las mejores condiciones de comercialización, resaltando la distancia de producción de conocimiento entre los países desarrollados y los no desarrollados. La comercialización de la investigación es mucho más amplia que la concesión de licencias y la creación de un *Spin-Offs* (empresa creada por académicos); el espíritu empresarial académico se ve amenazado por las grandes empresas transnacionales que cuentan con departamentos de investigación y desarrollo, para la investigación básica en varios campos de la ciencia, donde su principal objetivo es mantener el liderazgo innovador.

1.3 El fomento a la creación de *Spin-Offs* académicos.

Fini *et al* (2010), analizan cómo las políticas de apoyo a las universidades desarrollan *Spin-Offs*. El autor mide el desempeño de los mecanismos de apoyo a nivel universitario (ULSMs) y los Mecanismos de Apoyo en un Contexto Local (LCSMs), para complementar o sustituir el fomento a la creación de *Spin-Offs* académicos. Utilizando una muestra de 404 empresas de 64 universidades italianas de Tecnología, Ingeniería y Universidades de Matemáticas (STEM) durante el período 2000-2007, se muestra un efecto positivo o negativo en la productividad de los *Spin-Offs* de las universidades, de las ULSMs, en función de la contribución ofrecida por LCSMs. Los apoyos legislativos locales tienen un efecto complementario en el espíritu empresarial universitario para el desarrollo de alta tecnología, mientras que se produce un efecto de sustitución en relación con la cantidad de capital social regional, cuando existe una empresa incubadora en investigación y desarrollo para la innovación, afectando el gasto financiero local. La importancia económica de las empresas de Base Tecnológica (NTBF) como clave componente del desarrollo y crecimiento, han encontrado un apoyo constante en el tiempo debido a su capacidad para crear riqueza y fomentar el avance del conocimiento científico.

Varios estudios han documentado la creciente importancia de estas empresas. En primer lugar, la evolución cada vez más rápido de los campos de conocimiento, así como ser multi-disciplinario, que es el núcleo de las nuevas disciplinas, como la nanotecnología que requiere el acceso a entornos de investigación múltiple, que puedan ser ofrecidos por *Spin-Offs* académicas. En segundo lugar, la organización de la I+D en las grandes empresas en diferentes industrias ha evolucionado hacia modelos más abiertos, donde las alianzas con las empresas más pequeñas y más dinámicas, con sofisticadas bases científicas, como *Spin-Offs* académicas, se han convertido en un pilar central para el ejercicio de las nuevas tecnologías. Por otra parte, los *Spin-Offs* académicos, tienen cada vez mayor importancia, después de los cambios legislativos que se han realizado varios países, orientados específicamente a la creación de nuevas empresas universitarias, al mismo tiempo, proporcionando un marco más liberal de las instituciones académicas para realizar actividades de transferencia de tecnología, siendo la *Ley Bayh-Dole* la más estudiada.

Este estudio evalúa el impacto de las actividades de las universidades italianas en la promoción de *Spin-Offs*, se observa la naturaleza y el papel del apoyo a nivel universitario mecanismos (ULSMs) para la creación de *Spin-Offs* académicas, y la forma en que interactúan con otras formas de mecanismos de apoyo, lo que se denomina un Contexto Local de Mecanismos de Apoyo (LCSMs), analizando el entorno donde operan los *Spin-Offs* académicos. Al centrarse en un solo país, el autor, trata de controlar un solo nivel institucional y un entorno normativo nacional, donde Italia se ha caracterizado desde hace 20 años por implementar un marco legislativo. Los *Spin-Offs* académicos, dada su base tecnológica, combinan los problemas asociados con la puesta en marcha de un nuevo negocio, y las dificultades adicionales asociados con el desarrollo de nuevas tecnologías, son particularmente sensibles a las diferentes tipos de fallas de mercado que caracterizan los primeros del desarrollo del negocio.

Para conseguir los financiamientos, los emprendedores académicos son propensos a generar asimetrías de información de las características clave del conocimiento, ya sea por la falta de experiencia en una comunicación adecuada a los inversores, de lo que se basa la nueva empresa, o para la falta de voluntad de compartir demasiados detalles de sus

tecnologías, por temor a fugas de la información, que consideran como ventaja competitiva fundamental para el nuevo proyecto. Por otra parte, varios estudios demuestran que los mercados financieros no estén igualmente desarrollados en todo el mundo, lo cual no sucede en México, por lo que muchas veces carecen de la presencia de especialistas con conocimientos técnicos necesarios para la previsión del capital riesgo. Las empresas que deseen innovar deben tener acceso a activos complementarios, tales como fabricación, distribución y de tecnologías complementarias. Los *Spin-Offs* académicos podrían no ser capaces de apropiarse de las utilidades de sus tecnologías, porque pueden carecer de los recursos tecnológicos complementarios para explotarlos, y los recursos para una distribución de manera eficiente, al no contar con socios capaces de proporcionarlos.

Varios mecanismos y políticas por lo tanto, pueden ser diseñados para tratar de resolver estas ineficiencias del mercado. Como el Mecanismos de la Universidad de nivel de soporte (ULSMs), que es un conjunto de políticas e instrumentos diseñados para apoyar *Spin-Offs* académicos, con esquemas microeconómicos que les permitan interactuar en los mercados. En el Contexto Local de Mecanismos de Apoyo (LCSMs), la región en la que una nueva empresa decide operar pueden ser vistos como un conjunto de competencias que pueden afectar a la facilidad de establecer y desarrollar un centro empresarial académico. Hay varios tipos de mecanismos de apoyo que se han desarrollado en un esfuerzo para impulsar la creación de nuevas empresas, aunque su éxito no siempre es claro. Para mitigar las limitaciones financieras, el apoyo financiero puede ser ofrecido a través de programas regionales específicos destinados a fomentar la creación de nuevas empresas en alta tecnología.

La literatura estudiada por los autores, menciona que la creación de *Spin-Offs* académico, puede ser reforzada por los mecanismos de apoyo de nivel universitario, pero también depende de las características del contexto local, es decir, estas iniciativas tienen mayor éxito si se diseñan desde lo local, que incluye las políticas específicas dirigidas a apoyar la iniciativa empresarial. No está claro en qué medida los mecanismos de apoyo a nivel universitario y en el contexto local, actúan como complemento a la oferta en un conjunto diferenciado de elementos, o como sustitutos, propiciando una duplicación de esfuerzos y recursos. Los recientes estudios de la política, considera a los avances en la

ciencia y la tecnología provenientes de las universidades, como parte del desarrollo económico local. Los instrumentos específicos de apoyo para facilitar la creación de *Spin-Offs* académicos, se convierten en mecanismos de política que tienen un impacto más directo en la economía local, que las políticas orientadas más estructuradas y de largo plazo. De acuerdo con este punto de vista, las universidades pueden y deben desempeñar un papel activo en la transformación de los conocimientos académicos para generar riqueza económica local.

El diseño de la investigación, se centra en el sistema universitario italiano, que es un típico ejemplo de una institución pública, con una estructura de gobierno centralizada, con poca autonomía en el ámbito universitario y un papel clave en el desempeño del Estado. A través de la promulgación y modificaciones de legislaciones, otorga a las universidades una mayor libertad para el uso de los fondos procedentes del Ministerio, y la posibilidad de atraer financiación externa. A raíz de estas modificaciones a la ley, las universidades comenzaron a elaborar sus propios estatutos y reglamentos internos, que gradualmente se expandió para incluir diferentes posibilidades de aprovechamiento de sus recursos internos y las competencias. No todo el control se dejó a las universidades, los procedimientos de selección y remuneración académica, permanecen bajo el control del Gobierno a través del Ministerio de Educación y Universidad.

Uno de los cambios legislativos que relacionan a los *Spin-Offs* académicos, es la *Ley 297/1999*, que introdujo la posibilidad de que los investigadores públicos puedan ser formalmente involucrados en la creación de una *Spin-Offs* o en otros proyectos de transferencia de tecnología universidad-empresa, manteniendo al mismo tiempo su posición en la universidad y su salario. La ley también propicia un financiamiento para apoyar proyectos de innovación relacionados con *Spin-Offs* académicos, respetando la autonomía de las universidades a través de regulaciones individuales. Los autores, consultan información del Ministerio de Instrucción, Universidad e Investigación (MIUR), relativa a nombres, departamentos y escuelas, así como su localización regional, de 2006 a 2010. La población total fue de 94 universidades, conservando solo 64, que contaban con departamentos técnicos que operan en ciencia, tecnología, ingeniería y campos de matemáticas. Dado el interés en alta tecnología empresarial, se centró en el número de

empresas *Spin-Offs* establecidos por académicos afiliados a estas instituciones, que operan en industrias de alta tecnología de acuerdo con la definición de la OCDE.

Los autores definen, a partir de otros autores, a un *Spin-Offs* académico, como una empresa que tiene al menos un académico (de tiempo completo, asociado, como profesor asistente, estudiante de doctorado, becario de investigación o técnico), o es uno de los fundadores, independientemente del compromiso normal con la universidad. La definición excluye a empresas de base, con una licencia de tecnología universitaria, establecidos por empresarios académicos. Para recopilar información sobre la población de *Spin-Offs* académicos, establecidas en Italia en la última década, adoptaron un enfoque con dos vertientes. La muestra, la constituyen 404 *Spin-Offs* académicos, que se establecieron entre 2000 y 2007.

Los resultados de los autores, describen la actividad *Spin-Offs* entre los años 2000 y 2007, asumiendo que la variable está sesgada, ya que la proporción de las universidades con un número cero de *Spin-Offs* es, en todos los casos, superior al 50% en cada año. Otros resultados muestran que la productividad marginal de los mecanismos de apoyo de nivel académico, se relaciona positivamente con la disponibilidad de un reglamento regional de apoyo a la formación de *Spin-Offs*, estos mecanismos de apoyo, complementan los regionales. Por el contrario, la productividad marginal de los mecanismos de apoyo a los IES se relaciona negativamente con la presencia de una incubadora de empresas, y los gastos del gobierno regional en I+D.

Los autores concluyen que las universidades, con el fin de fomentar la generación de empresas *Spin-Offs*, invierten en mecanismos y políticas, oficinas de transferencia de tecnología (OTT), en normas de colaboración y reglamentos de la patente, entre otras actividades. En general sus resultados sugieren que las universidades deben ser especialmente activos en la creación de mecanismos de apoyo interno para favorecer a la innovación en general, contribuyendo al diseño de empresas de alta tecnología, incluyendo incubadoras e incentivos financieros para fomentar más la creación de *Spin-Offs*.

1.4. Las diferencias de desempeño de los *Spin-Offs* académicos y los *Spin-Offs* corporativos.

El estudio de Wennberg *et al* (2010), mide la eficacia de las universidades para la difusión del conocimiento, comparando las diferencias de desempeño de los *Spin-Offs* académicos y los *Spin-Offs* corporativos. Este trabajo se centra en un aspecto de la transferencia de conocimientos de la investigación académica a la actividad empresarial, a través de la creación de empresas *Spin-Offs* corporativas (CSO), capitalizando la experiencia industrial de los investigadores académicos que continúan trabajando en las universidades, en vez de fundar una nueva empresa como un *Spin-Offs* académico (USO). El conocimiento comercial ganado en la industria, es potencialmente más valioso para el desempeño empresarial en comparación con el conocimiento académico adquirido por la experiencia de investigación en una universidad. Esto postula que el desempeño promedio de las OSC será superior a la de una USO. La mayoría de los gobiernos se orientan a la creación de empresas intensivas en conocimiento y a desarrollar un espíritu empresarial académico. Con ejemplos de *Spin-Offs* universitarios exitosas como *Google* y *Genentech*, que han generado ingresos de miles de millones de dólares en unos pocos años de haberse establecido, gracias a su aprendizaje de largos períodos de educación académica y experiencia laboral, poseen el capital humano necesario y el acceso a tecnologías avanzadas y de innovación, cualidades que podrían crear nuevas empresas con potencial de crecimiento sustancial y de valor económico.

La política y el interés académico en los *Spin-Offs*, ofrece una visión limitada de desbordamiento del conocimiento académico de manera indirecta. La educación de los estudiantes es la principal tarea de la mayoría de las universidades y el valor de ese conocimiento es explotado durante el empleo posterior. Comparar la magnitud de la propagación del conocimiento total directo e indirecto de las universidades es posible evaluando y comparando el impacto de las *Spin-Offs* que directa o indirectamente utilizan el conocimiento generado por las universidades. Existen dos caminos para incentivar el conocimiento empresarial basado en el conocimiento académico: el primero es la vía directa donde los sujetos de estudio, trabajan en universidades y posteriormente, en un *Spin-Offs* de las Universidades (OSU). El segundo está representado por los graduados de

las universidades, que cursan carreras en la industria privada y forman las *Spin-Offs* Corporativos (OSC). Los autores, en este trabajo, contribuyen con resultados estadísticos para conocer la naturaleza y el impacto de la comercialización de la investigación académica. Encuentran que las OSC superan en número de 14 a 1, a las OSU.

Una de las tres hipótesis de la investigación establece que las empresas iniciadas por emprendedores con formación universitaria como *Spin-Offs* comerciales funcionan mejor que las empresas *Spin-Offs* universitarias iniciadas por emprendedores con formación académica, bajo los siguientes términos:

- a) El crecimiento de los ingresos por ventas.
- b) El crecimiento en el empleo.
- c) Mayor supervivencia.

La segunda hipótesis menciona que las empresas *Spin-Offs* académicas, iniciadas por emprendedores con formación universitaria, se benefician más de las fuentes de conocimiento por:

- a) Los años de educación.
- b) Años de experiencia en la industria en el mismo sector.
- c) Años de experiencia empresarial.

La tercera hipótesis refiere que las empresas *Spin-Offs* comerciales iniciadas por emprendedores con formación académica, se benefician más de los entornos de desove de la organización matriz, que las empresas *Spin-Offs* universitarias iniciadas por emprendedores con formación universitaria, en términos de:

- a) El tamaño de la organización.
- b) El conjunto de tecnologías.
- c) La amplitud de la tecnología conocimiento de sus empleados.

Para demostrar estas hipótesis los autores, utilizan un método estadístico que salva las diferencias sistemáticas al obtener datos sólidos sobre los dos tipos de *Spin-Offs*, evitando los posibles sesgos de selección de la muestra. Construyen un conjunto único de

datos longitudinal, que combina los datos de varias fuentes. En primer lugar, se seleccionaron empresas privadas suecas, en los sectores de conocimiento intensivo: fabricación de alta tecnología y servicios de conocimientos intensivos, durante el período de 1994 a 2001. La selección de sectores en conocimiento intensivos, se basa en la clasificación de la OCDE, que es un índice que indica si la intensidad en I+D es más alta que la media de la economía en general. Estas industrias representan cerca del 35% de todas las empresas que se iniciaron en Suecia, e incluyen a todas las industrias de crecimiento rápido como la química, medicina, telecomunicaciones, finanzas, servicios empresariales, tecnologías de la información, la educación y la investigación.

Esto garantiza que la muestra se centra en *Spin-Offs*, donde los fundadores, con una educación académica, utilizan sus conocimientos en empresas a tiempo parciales. Junto con esta información se incluye la base de datos que realiza Estadísticas Nacionales de Suecia, que contiene datos anuales sobre todos sus habitantes, incluyendo información detallada acerca de la educación y el empleo. Las variables dependientes son: crecimiento de la empresa y supervivencia; las independientes: *Spin-Offs* corporativo o académico, experiencia empresarial, capital humano específico, nivel de educación, tamaño de la organización, tamaño de las ventas, número de establecimientos, número de ingenieros y número de doctores. Se analizaron 528 *Spin-Offs* de las universidades y 8663 *Spin-Offs* de las empresas por un período de cerca a una década. Los resultados difieren significativamente en el origen de la organización, la estructura del capital humano, del equipo, y su posterior ejecución. Estas diferencias indican que las estructuras de conocimiento de estas organizaciones son muy diferentes. Los autores comparan dos rutas diferentes de *Spin-Offs*, donde los fundadores han tenido una educación académica, las empresas *Spin-Offs* que surgen directamente de las universidades (OSU) y las empresas comerciales (OSC) que se forman con egresados universitarios.

La formación empresarial a través de *Spin-Offs* académicos, parece representar sólo una pequeña minoría de los casos, los *Spin-Offs* empresariales son más comunes. Esta observación tiene implicaciones interesantes: en primer lugar, parece que el papel tradicional de las universidades como productoras de empleados con conocimientos podría ser el apropiado. En las universidades se educa a las personas que eventualmente se

convierten en empresarios, pero es mucho más común que estas personas reciban el espíritu empresarial de empleo en el entorno corporativo en lugar de hacerlo directamente desde el empleo de la universidad; en segundo lugar, dado que los resultados indican que las OSC se desempeñan mejor que las OSU en términos de supervivencia, así como en el crecimiento, esto parece ser un modelo eficaz para el logro de un alto nivel de conocimiento empresarial. En Suecia existe una fuerte tradición de las grandes empresas industriales que producen la mayor parte de I+D y la innovación, puede ser que la estructura industrial sueca proporcione empleo a los académicos, estimulando este mercado laboral a participar en el emprendimiento empresarial, para crear las OSC.

Esta evidencia empírica de los autores nos proporcionan un marco de referencia que nos permitirá analizar, en los capítulos subsecuentes, las aportaciones que realizan las IES (UNAM, UAM e IPN), a la investigación y desarrollo de centrales nucleoelectricas y como se vinculan con el sector industrial, por ejemplo, si es posible hablar de un *Spin-Offs* académico entre alguna IES y el Instituto de Investigaciones Nucleares y la Central Nucleoelectrica de Laguna Verde, Veracruz; o con el Instituto de Seguridad Nuclear y Salvaguardias.

1.5. Las IES promotoras de investigación y desarrollo tecnológico.

El elemento central de la innovación es la difusión de nuevo conocimiento y de nueva tecnología. El acceso al conocimiento y a la tecnología depende en alto grado en las conexiones entre las empresas y las organizaciones. Este es particularmente el conocimiento *tácito* que se desarrolla en las mentes de las personas, o de la información que se encuentra en los procesos habituales o protocolo de las organizaciones (Manual Oslo, 2005:39)

A partir del Manual de Frascati (2002), la investigación y el desarrollo experimental (I+D) comprenden el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones.

Se reconoce generalmente que la principal función de las universidades, es preparar profesionales. La meta es producir a los profesionales más relevantes para la vida social, cultural, económica y política del país. Las tareas de investigación y desarrollo están catalogadas como actividades indispensables para redondear el esfuerzo educativo. La misma comunidad científica premia con más generosidad a sus colegas que son capaces de entrenar a jóvenes investigadores, que a los que hacen ciencia sin formación de recursos humanos (Fernández, 2003:55)

La investigación y la docencia en las universidades, están siempre muy unidas, ya que la mayoría de los profesores realizan las dos actividades y muchos de los edificios y equipos se utilizan para ambos objetivos. Dado que los resultados de la investigación se aprovechan en la docencia y que la información y la experiencia adquiridas en la enseñanza se pueden utilizar en la investigación, es difícil determinar con precisión dónde terminan las actividades de enseñanza y formación de los profesores y estudiantes universitarios, y dónde comienzan las actividades de Investigación y Desarrollo (I+D), y viceversa. La I+D se diferencia de la docencia rutinaria y del resto de las actividades por sus elementos novedosos (Frascati, 2002: 45).

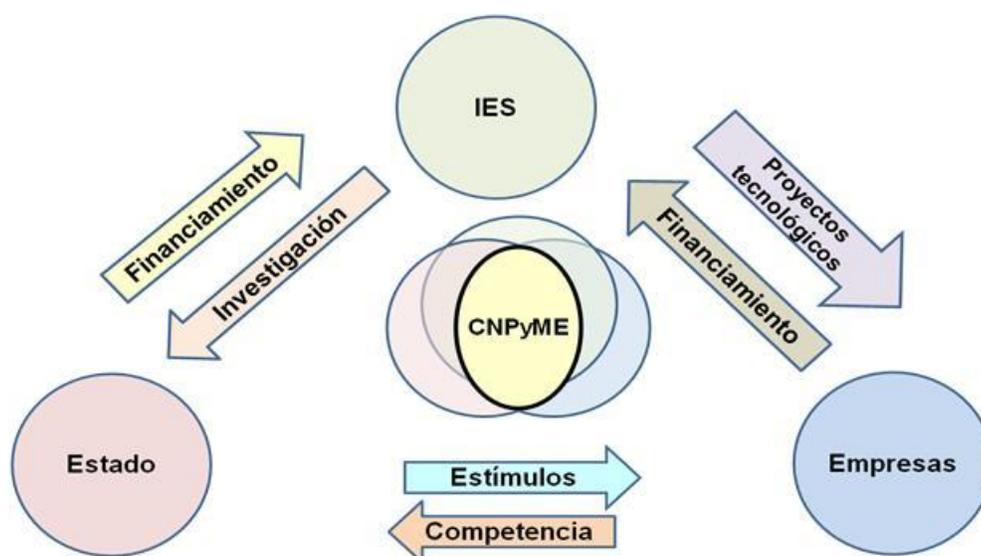
La transferencia de conocimientos y tecnologías del mundo académico a la producción representa un salto de calidad en la organización de la producción y el trabajo y en el papel que juegan las universidades. La relación directa entre ciencia, producción y tecnología ha creado un conjunto de nuevas categorías explicativas que indican cambios fundamentales en la valorización del trabajo intelectual complejo y de los conocimientos como valor económico (Didriksson, 2000: 15-38)

Las universidades están modificando el tipo de investigación que realiza y se está moviendo de la ciencia fundamental hacia un trabajo más aplicado y dirigido hacia la comercialización del conocimiento. Asimismo, la industria se muestra cada vez más dispuesta a influir en el tipo de investigación que se realiza en las universidades. Esto ha generado líneas de políticas sumamente mecánicas que buscan comercializar esas ideas y transferirlas al sector privado. El capital humano bien preparado es el recurso más valioso

para cualquier país, especialmente en la creciente economía basada en el conocimiento (Becerra, 2008:24).

La Triple Hélice es un modelo (figura 1.5.1) que hace referencia a las múltiples relaciones recíprocas entre las universidades, el Estado y la Empresa, en los diferentes puntos de los procesos de capitalización del conocimiento. Este modelo considera que la universidad puede desempeñar un papel importante en la innovación en las sociedades basadas en el conocimiento. La Triple Hélice pasa por la formación de relaciones de colaboración entre las esferas institucionales más involucradas en la innovación y enseguida por un cambio de papeles entre los actores, lo cual puede llevar a una transformación interna de las instituciones (Etzkowitz, 2002:16).

Figura 1.5.1. Modelo Etzkowitz de la Triple Hélice.



Fuente: Elaboración propia con información de Etzkowitz, (2002:16)

La vinculación Universidad-Industria en los Estados Unidos de Norteamérica (USA), tiene una importante ayuda de fondos del gobierno federal destinados a la investigación. La industria también apoya constantemente la investigación universitaria, a través de otorgamiento de becas a sus estudiantes. El primer parque de investigación relacionando con las universidades en USA, fue establecido en 1951 en Palo Alto California por la Universidad de *Stanford*, el Parque Industrial *Stanford* (Peters, 1996:43).

De aquí surge una empresa dedicada a la investigación y desarrollo de tecnología de reactores nucleares, *Hyperion Power Generation Inc.*, es una compañía privada formada para la comercialización de un pequeño reactor nuclear, diseñado por su *Spin-Offs Los Alamos National Laboratory* (LANL). El reactor, conocido como el módulo de energía de *Hyperion* (HPM), fue diseñado para satisfacer la necesidad de una fuente de energía portátil segura, limpia, sostenible y rentable (Hyperion Power Inc., 2011).

La participación del *Massachusetts Institute of Technology* y de la *University of California Berkeley*, ambos en USA, muestra la vinculación de universidades en investigación y desarrollo en estos proyectos en forma conjunta con entidades gubernamentales y empresas privadas. Tal es el caso del diseño desarrollado por *General Electric* del reactor nuclear modelo SBWR, donde se crean redes de conocimiento entre universidades como la *University of California Berkeley* y *Massachusetts Institute of Technology*, y las empresas: *Bechtel Power*, *Southern Company Services*, *Burn and Roe*, *Foster-Wheeler Energy Applications*, *Hitachi*, *Toshiba*, *Ansaldo*, y agencias gubernamentales de seguridad y certificación (*General Electric et al*, 1991).

La tecnología aplicada a las centrales nucleoelectricas, implica la generación de conocimientos, dentro de un proceso de investigación donde las universidades como centros de generación de conocimientos válidos, confiables y altamente competitivos, responden a la consolidación de nuevos esquemas de desarrollo, específicamente a la producción de conocimientos para el aparato productivo. Con este propósito las instituciones académicas públicas en México han creado unidades académicas y de investigación y desarrollo para la formación de recursos humanos orientados al desarrollo de las centrales nucleoelectricas como una fuente limpia generadora de electricidad.

En la Facultad de Ingeniería de la UNAM, el grupo de Ingeniería Nuclear, tiene como misión realizar y promover la formación de recursos humanos mediante la docencia, la investigación y el desarrollo tecnológico en el campo de la Ingeniería Nuclear y ciencias afines, para fomentar el uso de la Energía Nuclear en beneficio de la sociedad. Sus líneas de desarrollo son:

- Análisis y Diseño de Reactores Nucleares y Ciclos de Combustible.

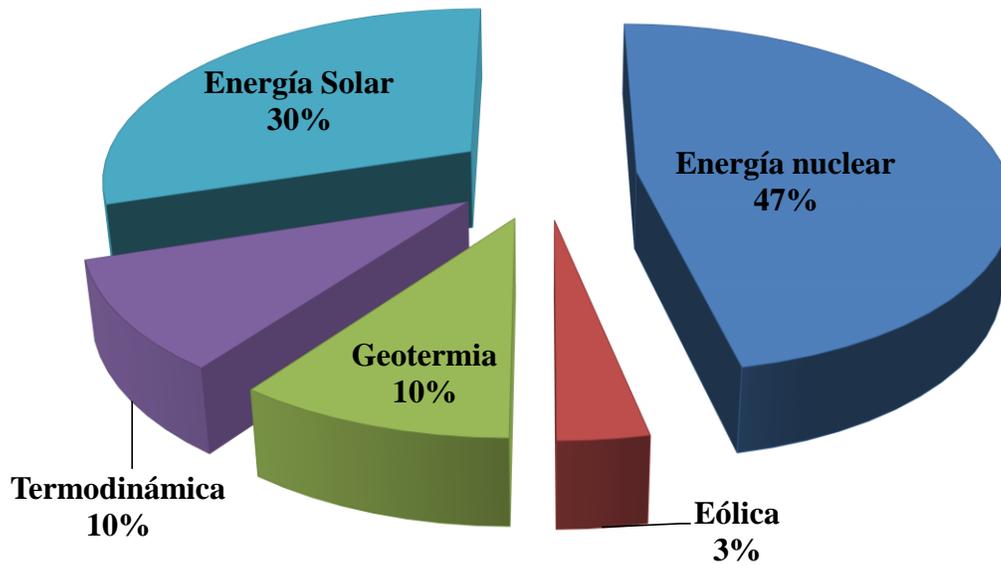
- Tecnología de la Seguridad Nuclear e Ingeniería de Factores Humanos.
- Análisis de Riesgos.
- Dinámica de Sistemas Nucleoeléctricos.
- Estudios de Expansión del Sector Eléctrico.

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, ofrece desde el 2001, Maestría y Doctorado en Ingeniería en Energía con opción en Sistemas Nucleoeléctricos. Los proyectos Académicos y de Investigación están financiados por el Organismo Internacional de Energías Atómica (OIEA), Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguarda (CNSNS), Comisión Federal de Electricidad (CFE), Programa Universitario de Energía UNAM, entre otros.

En el Instituto Politécnico Nacional (IPN), la Red de Energía fomenta la investigación en el campo de las energías convencionales y alternas, vinculando investigadores, grupos y proyectos de investigación. La Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM), desde 1962 hasta 2008 ofreció la Maestría en Ingeniería Nuclear. Actualmente ofrece materias optativas del área nuclear en la Maestría de Física. En el Posgrado Unificado en Ciencias Físico Matemáticas (PUCFM), incluye líneas de investigación en Física, Matemáticas e Ingeniería Nuclear, entre otras más, formaran parte del Padrón Nacional de Posgrados de Calidad del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Cuenta con proyectos de investigación vinculados con diversas instituciones nacionales, tales como el Instituto Mexicano del Petróleo, el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares y la Comisión Federal de Electricidad, entre otras. (Del Valle, *et. al*, 2010).

Con la reestructura del plan de estudios de la licenciatura en Ingeniería de la Energía, la Universidad Autónoma Iztapalapa (UAMIZT), contribuye a la formación de recursos humanos en el campo de la energía nuclear. En cuanto a la orientación de los egresados, en una primera época de la Universidad (Gráfica 1.5.1), el grupo de profesores-investigadores asignados a la creación de la licenciatura de Ingeniería en Energía habían sido formados en el campo de la energía nuclear.

Gráfica 1.5.1. Área de ocupación de los egresados de Ingeniería en Energía de la UAMIZT, 1981



Fuente: (Vázquez, 1981).

Los primeros egresados orientaron su actividad laboral en el área nuclear por las expectativas creadas por la construcción de la Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde y la posibilidad de la adquisición de un tercer reactor favorecían esa decisión (Vázquez *et al*, 2010).

Dadas las características del sector nuclear mexicano, controlado por instituciones estatales, la vinculación industria-universidades se lleva a cabo entre los institutos del sector energía: el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares y el Instituto de Investigaciones Eléctricas, con la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y con la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS). Tradicionalmente, los institutos han apoyado a la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde (CNLV) en las siguientes especialidades: Tecnología de Centrales Nucleoeléctricas, Seguridad Nuclear, Análisis Probabilista de Riesgos, Administración de Combustible, Análisis de Transitorios, Análisis Especializados de Ingeniería, Desarrollo de Modelos para Simuladores de Entrenamiento, Análisis de Accidentes Severos, y Estudios Oceanográficos de Sitios para Emplazamiento de Centrales Nucleares (François *et. al.*, 2010).

Las universidades, principalmente, participan en actividades de consultoría y capacitación con la CNLV y la CNSNS. En cuanto a la vinculación entre instituciones de

educación superior y los institutos de investigación, ésta se lleva a cabo principalmente por medio de actividades de investigación de interés mutuo. Las principales líneas y/o tópicos de investigación que se realizan a nivel mundial y en particular en México para abordar los tres temas dominantes y se pueden distinguir las áreas de I+D siguientes:

- ψ ciencias nucleares
- ψ seguridad nuclear,
- ψ manejo de desechos radiactivos,
- ψ protección radiológica
- ψ valoración de impactos ambientales.

A nivel internacional las principales actividades de I+D que se realizan están enfocadas al el desarrollo de bases de datos nucleares y sus modelos; desarrollo de software de modelación de física de reactores y de desempeño de combustible; estudios de la factibilidad científica y tecnológica para extender el quemado (extracción de energía por unidad de masa) del combustible más allá de los niveles actuales; estudios de verificación y validación de programas de cómputo y sus datos nucleares asociados; desarrollo de experimentos para la validación de programas de cómputo; investigación sobre la física del núcleo de reactores avanzados; investigación sobre los sistemas de fraccionamiento y transmutación isotópica; investigación sobre materiales de alta temperatura; investigación sobre producción nuclear de hidrógeno, entre otros (CONACYT, 2009).

En México las actividades de investigación incluyen: desarrollo de software de modelación de física de reactores; estudios de verificación y validación de programas de cómputo y sus datos nucleares asociados; desarrollo de software para la optimización de combustible nuclear; investigación sobre la física del núcleo de reactores avanzados; e investigación sobre la producción nuclear de hidrógeno. (François *et. al.*, 2010)

Esto muestra los esfuerzos para desarrollar capacidades tecnológicas en áreas afines al desarrollo de tecnología nuclear. Muchas de estas investigaciones no tienen una gestión tecnológica que promueva los avances y logros, para la implementación de cambios tecnológicos, que disminuyan nuestra dependencia tecnológica. Es menester de esta

investigación indagar el estado del arte de este campo de la ciencia y tecnología, midiendo las aportaciones de las universidades, a partir de indicadores bibliométrico y cienciométrico, comparando los resultados con otros países (MSTI, 2010/1).

Capítulo 2.

Las aportaciones de las universidades a la investigación y desarrollo de Centrales Nucleoeléctricas.

Temo al hombre que solo conoce un libro, y lo juzga todo por él

Santo Tomas de Aquino.

No solo las ciencias básicas como las físico-matemáticas o las químico-biológicas contribuyen a la investigación y desarrollo de las centrales nucleoelectricas. Las ciencias económico-administrativas, las sociales y biomédicas, también aportan conocimiento desde un marco interdisciplinar a partir de la Gestión de los Proyectos Tecnológicos. Por ello, el análisis cuantitativo (Crespi *et al*, 2010), es una métrica de productividad científica y tecnológica, a partir de todos los campos de la ciencia.

En este capítulo se analizan las contribuciones de las IES a partir de las publicaciones de artículos y patentes que hacen referencia al desarrollo reactores nucleares, seguridad nuclear y combustible nuclear, ejes temáticos involucrados en la investigación y desarrollo de centrales nucleoelectricas. Se apoya en las entrevistas realizadas a tres investigadores de las IES, relacionados con la investigación y desarrollo de las centrales nucleoelectricas en México. La entrevista es una herramienta que recoge información verbal directamente de quien la genera, proporciona aspectos adicionales que matizan y aclaran tópicos relacionados con el objeto de estudio (García, 2007). El guión de la entrevista se presenta en el Anexo A.

Las palabras claves, llamadas también booleanos, se utilizan como referencia para el análisis cuantitativo. El análisis se lleva a cabo a partir de las bases de datos que agrupan diferentes publicaciones especializadas en temas específicos de ciencia y tecnología. A partir de la información obtenida de las bases de datos se construyen graficas en función del tiempo que nos proporciona la trayectoria de la tecnología estudiada. Si la gráfica muestra un crecimiento es posible que esta tecnología siga recibiendo recursos financieros para continuar su investigación y desarrollo, pero no necesariamente nos dice que sea una tecnología madura. Si, por el contrario, la grafica muestra una curva decreciente en el tiempo, es casi seguro que su ciclo tecnológico esté terminando.

Para corroborar estos supuestos, es necesario realizar un análisis de patentes; la variación del número de patentes en el tiempo nos dice que tan “madura” es la tecnología y si tiene innovaciones incrementales. La nacionalidad de los titulares e inventores de las patentes, son indicadores del mercado tecnológico y lugar donde se está realizando el

desarrollo tecnológico. Cruzar la información cuantitativa y de patentes nos dice si la tecnología es vigente o es obsoleta.

Se consultaron las bases de datos disponibles en la página Web de la Biblioteca Nacional de Ciencia y Tecnología, del Instituto Politécnico Nacional. En la búsqueda de artículos se utilizó la base de datos *ELSIWER*, en la ventana *ScienceDirect*. Para las patentes se utilizó el software *Patent Integration*. Para México no se encontró patente alguna por lo que el análisis solo se aplicara para determinar la ubicación del mercado tecnológico y un comparativo de los principales desarrolladores. Las bases de datos de la OECD y el CONACYT, constituyen estudios estadísticos que proporcionan indicadores para comparar resultados de la búsqueda de artículos y patentes, con respecto a nivel nacional y con otros países. En el apartado siguiente se muestra una breve exposición de las políticas públicas energéticas, como ejes rectores para la investigación y desarrollo de las IES públicos.

2.1. El sector eléctrico en México en el marco de las políticas públicas.

El sector energético en México es un componente esencial en la economía nacional y uno de los factores claves para contribuir al desarrollo productivo y social del país. La necesidad de garantizar la seguridad energética, al mismo tiempo de instrumentar acciones para reducir el impacto ambiental de la producción de energía eléctrica constituye dos imperativos de los gobiernos en prácticamente todas las naciones. En este apartado se intenta ubicar el estado del conocimiento con el que cuenta México en materia de energía nuclear, su contexto institucional, así como las políticas sectoriales que promueven la vinculación de las universidades y centros de investigación en materia de investigación y desarrollo de proyectos tecnológicos.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es una empresa del gobierno mexicano, dependiente de la Secretaría de Energía (SENER), que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica para más de 34.2 millones de clientes, lo que representa a más de 100 millones de habitantes, e incorpora anualmente más de un millón de clientes nuevos. La infraestructura para generar la energía eléctrica está compuesta por 178 centrales generadoras, con una capacidad instalada de 52,945 megawatts (MW). El 22.5%

de la capacidad instalada corresponde a 22 centrales construidas con capital privado por los Productores Independientes de Energía (PIE) (CFE, 2011).

En la CFE se produce la energía eléctrica utilizando diferentes tecnologías y diferentes fuentes de energético primario (Tabla 2.1.1). Tiene centrales termoeléctricas, hidroeléctricas, carboeléctricas, geotermoeléctricas, eoloeléctricas y una nucleoelectrica.

Tabla 2.1.1. Generación energía electrica por fuente.

| Tipo de generación | Porcentaje |
|-----------------------------------|-------------------|
| Geotermia | 2.77% |
| Carbón | 6.90% |
| Nuclear | 2.46% |
| Eólica | 0.07% |
| Productores independientes | 32.85% |
| Hidráulica | 15.03% |
| Hidrocarburos | 39.91% |

Fuente: CFE, 2011

Ante los grandes retos asociados al uso de hidrocarburos, la estrategia nacional de energía busca que México sea una economía más competitiva, a fin de promover el crecimiento económico e incrementar la generación de empleos y lograr un mayor nivel de desarrollo humano sustentable.

Uno de los factores que inciden en la prospección del consumo de la energía es el crecimiento poblacional. En México en el 2010 había una población de 108.4 millones de habitantes. Con una tasa de crecimiento anual de 0.77 %, las proyecciones para el 2025 se estima una población de 118.7 millones de habitantes. Nuestro crecimiento es menor a la media mundial de 1.0 % (CONAPO, 2011).

La Estrategia Nacional de Energía 2010-2024, define el rumbo del sector energético con base en tres grandes Ejes Rectores: *Seguridad Energética, Eficiencia Económica y*

Productiva, y Sustentabilidad Ambiental. Establece diversificar la disponibilidad y uso de energéticos, asegurando la infraestructura para un suministro suficiente, confiable, de alta calidad, a precios competitivos, satisfaciendo las necesidades energéticas básicas de la población presente y futura, desarrollando las capacidades humanas y tecnológicas para la producción, el aprovechamiento eficiente y sustentable de la energía (SENER, 2010). La tabla 2.1.2, muestra un comparativo de los costos de producción entre las diferentes tecnologías generadoras de energía eléctrica.

Tabla 2.1.2. Costos de producción bruta de energía eléctrica según la tecnología utilizada, en USD/MWe

| Concepto | Fuente generadora | | | | | |
|---------------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| | Gas | Nuclear | Geotermia | Carbón | Combustóleo | Eólica* |
| Inversión | 8.39 | 31.87 | 23.23 | 27.14 | 19.33 | 85.3 |
| Combustible | 47.89 | 6.57 | 21.34 | 16.43 | 49.79 | 9.4 |
| Operación y mantenimiento | 3.78 | 8.96 | 7.56 | 7.35 | 5.76 | 12.8 |
| Total | 60.02 | 47.40 | 52.13 | 50.92 | 74.88 | 98.1 |

Fuente: (François, 2010:176).*(SENER, 2009, CFE, 2011)

Cada año la Secretaría de Energía (2010), como parte del proceso de planificación se revisa de manera sistemática las fechas de operación programadas para los proyectos de generación. Lo anterior está basado en los cambios de las expectativas económicas del país, las cuales inciden directamente en la estimación de la demanda de electricidad. Por lo que los proyectos planeados en programas anteriores son diferidos, adelantados o anulados.

En la planificación se utilizan una gran cantidad de variables, que por su naturaleza, implican incertidumbre en mayor o menor medida, la cual se incrementa en tanto se consideran horizontes de estudio más extensos. La incertidumbre no es posible eliminarla, por lo que su efecto debe considerarse en el proceso de planificación con el objeto que las decisiones representen la menor exposición de la empresa al riesgo en condiciones futuras inciertas.

Los mercados tecnológicos a través de las innovaciones para la generación de electricidad, aunados a las políticas públicas, favorecen la volatilidad de las decisiones de

estado para diseñar los futuros programas para alcanzar la seguridad energética. Esto se observa en el cambio de estrategia del gobierno federal de impulsar más unas tecnologías que otras.

Otro campo de intervención pública es el medio ambiente. Desde 1987 la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CMMAD), publicó un informe titulado *Nuestro futuro común*, documento conocido también como el Informe *Brundtlanl*, donde se plantean las primeras acciones para reducir el impacto ambiental de la actividad humana. En diciembre de 2009, se celebró la Conferencia de las Naciones Unidas, sobre el cambio climático, en Copenhague, se acordó reducir de 6 a 2 °C, el aumento de la temperatura global del planeta, producida por la concentración de gases de efecto invernadero (GEI), como el CO₂, derivado del uso de los combustibles fósiles (Arellano, 2007). La siguiente tabla 2.1.3 muestra las emisiones de CO₂ que se producen las diferentes fuentes generadoras de energía eléctrica.

Tabla 2.1.3 Fuentes generadoras de energía eléctrica y sus emisiones de CO₂

| FUENTE DE ENERGÍA | g CO₂/KWH |
|---------------------------|-----------------------------|
| Eólica | 9 |
| Presa hidroeléctrica | 10 |
| Biogás | 11 |
| Hidroelectricidad fluvial | 13 |
| Solar térmico | 13 |
| Biomasa | 14 |
| Solar fotovoltaico | 32 |
| Geotérmica | 38 |
| Nuclear | 66 |
| Gas natural | 443 |
| Diesel | 778 |
| Crudo pesado | 778 |
| Carbón | 960 |
| Carbón no raspado | 1050 |

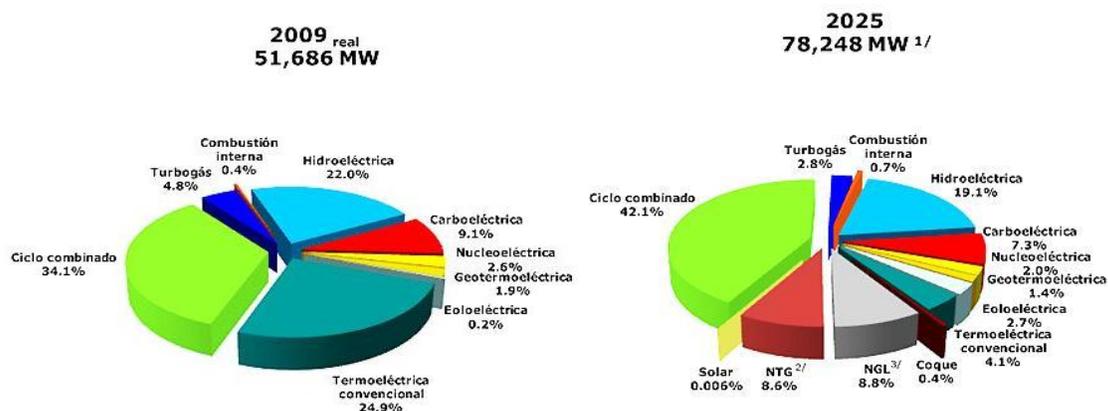
Fuente: (François, 2007:127).

En apego a los acuerdos internacionales, el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 asume como premisa básica la búsqueda del Desarrollo Humano Sustentable; esto es, del proceso permanente de ampliación de capacidades y libertades que permita a todos los

mexicanos tener una vida digna sin comprometer el patrimonio de las generaciones futuras. Para ello, se impulsa el uso eficiente de la energía, así como la utilización de tecnologías que permitan disminuir el impacto ambiental generado por los combustibles fósiles tradicionales. De esta forma, se pretende conciliar las necesidades de consumo de energía de la sociedad con el cuidado de los recursos naturales. Bajo este escenario las estrategias del Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 (SP, 2011), que compete a nuestra investigación es la siguiente:

Estrategia 15.13. Promover el uso eficiente de la energía para que el país se desarrolle de manera sustentable, a través de la adopción de tecnologías que ofrezcan mayor eficiencia energética y ahorros a los consumidores.

Gráfica 2.1.1. Proyecciones para la generación de energía eléctrica 2009-2024. Generación bruta del servicio público por tipo de tecnología. (GWh)



Fuente: (POISE, 2011).

Durante el periodo 2009-2025, como se muestra en la gráfica 2.1.1, la participación de las tecnologías en el total de la capacidad efectiva para el servicio público. Al final del periodo, las tecnologías a base de gas natural alcanzaran una participación del 44.9%, respecto a la capacidad total del servicio público; las fuentes renovables tendrán una participación del 23.2%; las que operan a base de combustóleo, coque y diesel se reducirán al 5.2%; y el carbón disminuirá al 7.3%. La tecnología nuclear participara con el 2.0% (POISE, 2011).

Las centrales nucleoelectricas, tienen poca oportunidad de competir en el mercado tecnologico oferente para la generacion de electricidad. La oferta tecnologica esta actualmente en una dinamica de competencia entre las diferentes formas de generacion, las fuentes renovables (eolica y solar), estan compitiendo con la energia nuclear (Rincon, 2011). Los proyectos Sureste I-IV muy probablemente seran definidos como centrales eoloelctricas con una capacidad conjunta de 1,216 MW, mientras que en proyectos como Oriental I y II (Veracruz) y Noroeste II y III (Sonora) de 1,400 MW las opciones tecnologicas a considerar son carboelctrica, **nuclear** o ciclo combinado (SENER, 2010).

El desarrollo de tecnologias mas amigables con el medio ambiente favorece el campo de estudio de la eco-innovacion, concepto utilizado por James (1997); establecio la definicion de eco-innovacion como: "... nuevos productos y procesos que proporcionan valor al consumidor y a los negocios, pero disminuyen significativamente el impacto ambiental".

El concepto de eco-innovacion abre un abanico de posibilidades de inversion para las empresas, ya que la sustentabilidad es un elemento del desarrollo tecnologico, promoviendo la aplicacion y difusion de tecnologias no perjudiciales para el clima, como las que producen los gases de efecto invernadero (Isunza y Gil, 2011:132).

En el entorno internacional, cuya agenda esta marcada en gran medida por las causas y los efectos del calentamiento global, existe un renovado interes por el desarrollo de nueva capacidad y extensiones a la vida util de centrales nucleares en operacion. Los factores de disponibilidad de este tipo de centrales han aumentado de manera importante durante los ultimos anos, ubicando el promedio mundial en 83%. Debido a estos y otros avances, se considera que se otorguen extensiones a la vida util en la mayoria de las centrales existentes en paises miembros de la Organizacion para la Cooperacion y el Desarrollo Economicos (OCDE) y en paises no miembros de Europa y Eurasia, lo que aunado a los reactores que se encuentran en construccion en diferentes paises, refleja el papel que podria estar asumiendo ya la energia nuclear como una opcion tecnologica que no emite Gases Efecto Invernadero (GEI), (AIE, 2010).

Así, la energía nuclear es una importante fuente de generación eléctrica en muchos países. En la actualidad, Francia tiene la mayor proporción de capacidad nuclear instalada en su parque de generación, con 54.3% del total, mientras que en Bélgica, República Eslovaca y Suecia, dicha fuente tiene una presencia superior al 25% de la capacidad instalada en cada caso. Bajo el escenario descrito no se aprecia una clara visión de estado en torno a mejorar el medio ambiente, confirmando los señalamientos en el *Escenario 450* (WEO 2008, OECD), donde se prevé que la demanda de energía mundial aumente un 20% entre 2007 y 2030, la mayor parte será suministrada por combustibles fósiles, por lo que estas metas de reducir la temperatura global del planeta sean difíciles de alcanzar.

2.2 La trayectoria tecnológica de la energía nuclear.

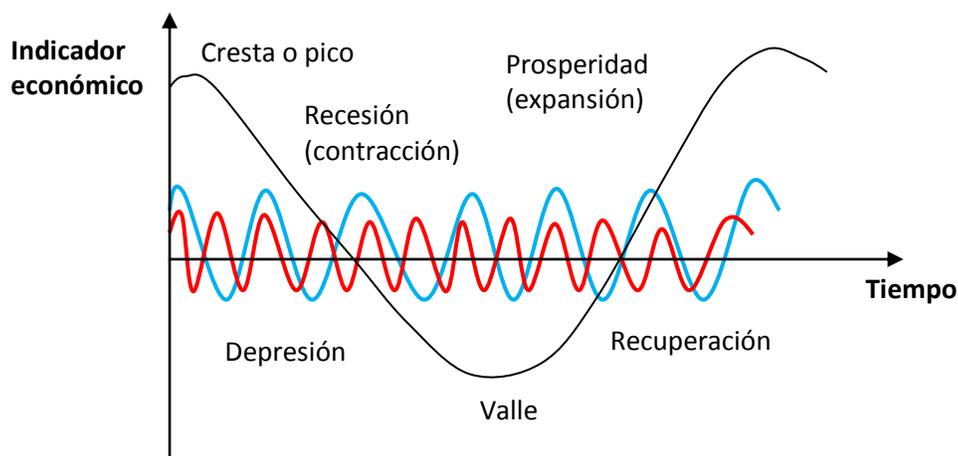
Se ha hecho referencia a la importancia de la energía nuclear como palanca de desarrollo de las naciones, como forma de impulsar el desarrollo tecnológico, la sustentabilidad y el desarrollo humano. La industria nucleoelectrica desde sus inicios (1954-1956), y durante unas tres décadas, mantuvo un desarrollo y crecimiento sostenido; sin embargo, a partir de 1986, tuvo un serio revés por causa del accidente de la central nuclear de *Chernobyl*, en Rusia, que llevó a frenar totalmente su crecimiento en Europa Occidental y en Estados Unidos, incluyendo el cierre de centrales en ciertos países como Italia. Entre tanto, su expansión cobró gran impulso en los países asiáticos y de la cuenca del Pacífico Oriental, como Japón, Corea, China, Taiwán, India; así como de Europa Oriental, como Rusia, Ucrania, Bulgaria y Eslovaquia (Stevens, 1997).

En el 2011 el Tsunami que azotó las costas de Japón, dañó varios reactores de la central nuclear de *Fukushima*. A partir de este accidente, varios países miembros de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), consideraron como prioridad inmediata evaluar las condiciones de seguridad de sus centrales nucleoelectricas. A finales de 2010, más de 60 países miembros del OIEA estaban considerando la introducción de programas de energía nuclear, 29 de ellos tenían planes de ampliar sus centrales nucleoelectricas, a la luz del accidente *Fukushima*, algunos países anunciaron revisiones a sus proyectos. La OIEA continúa trabajando en estrecha colaboración con los usuarios establecidos de energía nuclear y los recién llegados para asegurar que sea utilizada de

manera eficiente y segura. La energía nuclear ha contribuido a ampliar la oferta de energía y también ha reducido las emisiones de gases de efecto invernadero (ONU, 2011).

Estos cambios en la trayectoria de la energía nuclear pueden ser explicados por el comportamiento cíclico de las variables económicas que ha sido observado por la recurrencia de etapas de crecimiento y de crisis en diferentes periodos. Dentro de sus posibles causas se considera el cambio técnico como una de las variables que explican los ciclos económicos. El ciclo económico (gráfica 2.2.1), consiste en la repetición de las magnitudes de las principales variables económicas consideradas, tanto como en el periodo como en la amplitud. El valle y la cresta de la onda cíclica se denominan crisis y auge. A su vez el auge puede subdividirse en dos: la recuperación y la expansión o prosperidad; y la crisis se manifiesta primero en recesión y después en depresión (Corona, 2002).

Gráfica 2.2.1. Ciclos económicos.



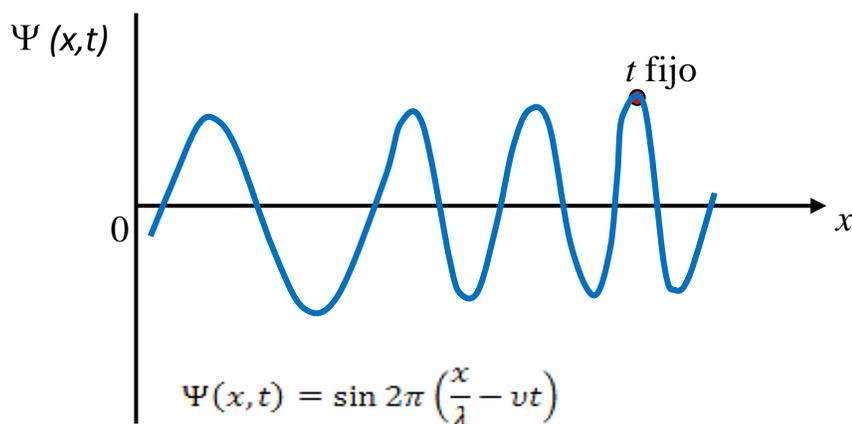
Fuente: Elaboración propia con información de Corona, (2002)

En la literatura consultada hasta el momento, no se han encontrado aproximaciones matemáticas que expliquen de manera fehaciente estas hipótesis. Si consideramos a la tecnología como una partícula que se mueve en un sistema microeconómico, una aproximación a este supuesto puede ser la teoría de Schrödinger de la mecánica cuántica, que ha evidenciado experimentalmente que las partículas (tecnología) de un sistema microscópico (micro económico), se mueven de acuerdo con las leyes del movimiento ondulatorio de algún tipo, y no de acuerdo con las leyes newtonianas que obedecen las partículas de los sistemas microscópicos. Esta teoría especifica las leyes del movimiento

ondulatorio (Gráfica 2.2.2), que obedecen las partículas de cualquier sistema microscópico, en donde es difícil definir una longitud de onda aun para una sola oscilación (Eisberg y Resnik, 2006:161).

Pérez (2002), sostiene que en los ciclos económicos, sus periodos de oscilación no son simétricos, parte de una visión Schumpeteriana del papel desempeñado por la innovación en el comportamiento cíclico de la economía capitalista. A diferencia de *Schumpeter*, postula que las ondas largas de *Kondratieff* no son un fenómeno estrictamente económico, sino más bien una manifestación, medible en términos económicos, del comportamiento, a veces armónico y a veces no, de todo el conjunto del sistema socio-económico e institucional a nivel nacional e internacional.

Gráfica 2.2.2. La función de onda senoidal $\Psi(x,t)$, es un modelo matemático, que aproxima una medida económica de la innovación, en un tiempo t , en un ciclo económico.

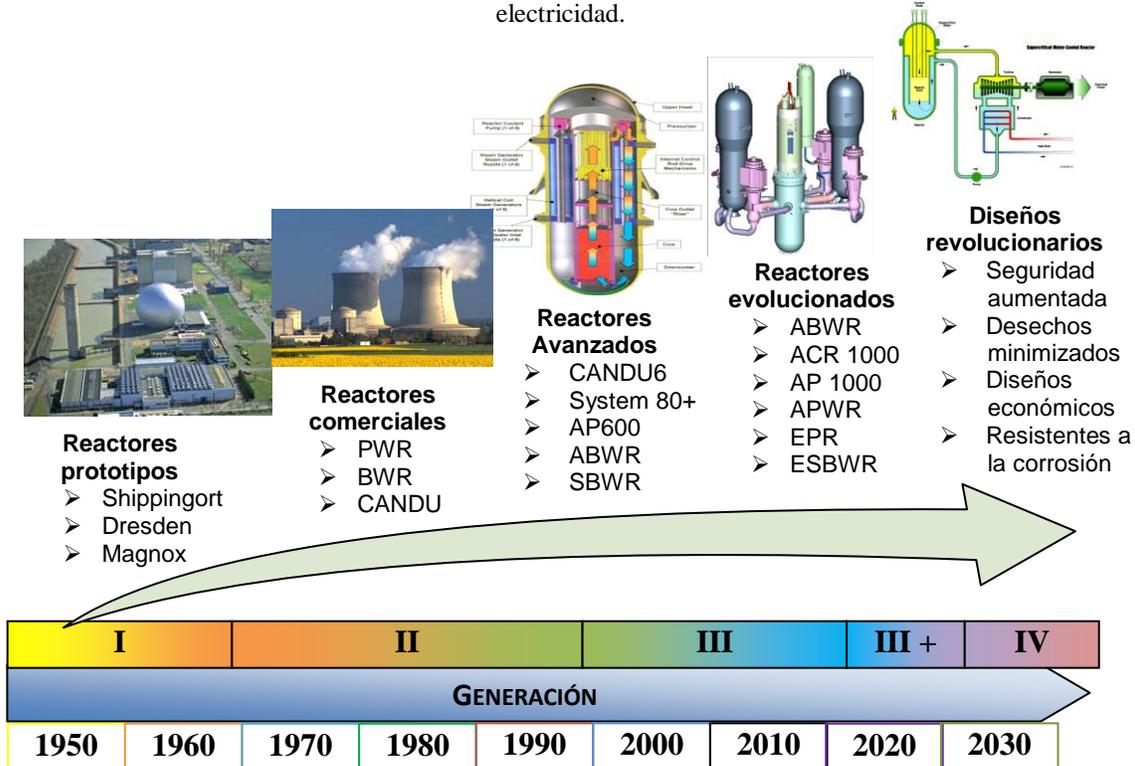


Fuente: Elaboración propia con información de Eisberg-Resnick (2006).

Aunque escapa al objetivo de este trabajo analizar la relación entre la trayectoria tecnológica y el ciclo económico, es preciso señalar que la tecnología se relaciona principalmente con los ciclos de larga duración o ciclos de Kondratieff que abarcan 40 a 50 años. Estos ciclos incluyen movimientos oscilatorios más cortos, puestos en evidencia por Juglar en los años setenta del siglo XIX, con fluctuaciones que oscilan entre los siete y diez años, la gráfica 2.2.1, las oscilaciones de color azul y rojo representan estos ciclos más cortos.

Las discontinuidades en el ciclo se presentan porque las innovaciones se generan en bandadas, parvadas, racimos o grupos. Las bandas surgen por uno o más emprendedores, que facilitan la aparición de imitadores. El empresario no inventa sino innova. Para Schumpeter (1950) las ondas largas las constituyen las innovaciones tecnológicas sucesivas u ondas de destrucción creativa que producen nuevas inversiones asociadas con la difusión de una o varias tecnologías. La evolución tecnológica de los reactores nucleares ubicados en centrales nucleoelectricas han sufrido modificaciones a lo largo del tiempo como se ilustra en la figura 2.2.3.

Gráfica 2.2.3. Desarrollo tecnológico de los reactores nucleares, instalados en plantas generadoras de electricidad.



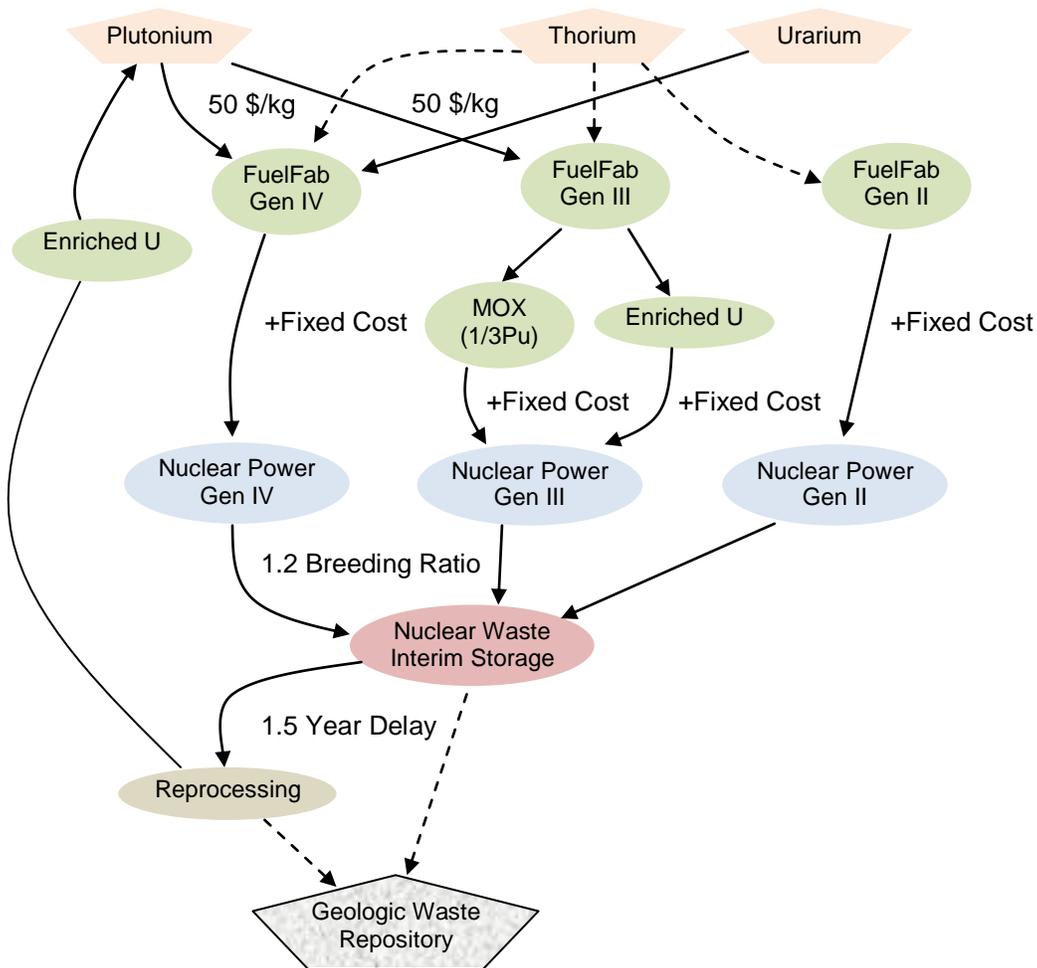
Fuente: Adaptado de Del Valle, 2007, con imágenes de WNA, 2011 y U. S. Department of Energy, 2012.

Dosi (1982), diseña un modelo que intenta dar cuenta de los continuos cambios y discontinuidades en la innovación tecnológica. Estos continuos cambios suelen estar relacionados con los avances tecnológicos a lo largo de una trayectoria definida por un paradigma tecnológico, mientras que las discontinuidades se asocian con la aparición de un nuevo paradigma. Los nuevos paradigmas tecnológicos se derivan de la interacción entre

los avances científicos, los factores económicos, las variables institucionales, y las dificultades sin resolver en las rutas tecnológicas establecidas.

Cada uno de estos saltos tecnológicos está relacionado con el paradigma de la investigación científica que nos conduce el siguiente mapa tecnológico (figura 2.2.1), de la evolución de los combustibles nucleares. En este escenario las centrales nucleoelectricas tienen periodos largos para la innovación, dadas las características de inversión que representaban en los albores para su instalación.

Figura 2.2.1. Schematic Diagram of Nuclear Systems Modeling and Fuel Cycle Assumptions in the ObjECTS MiniCAM Model

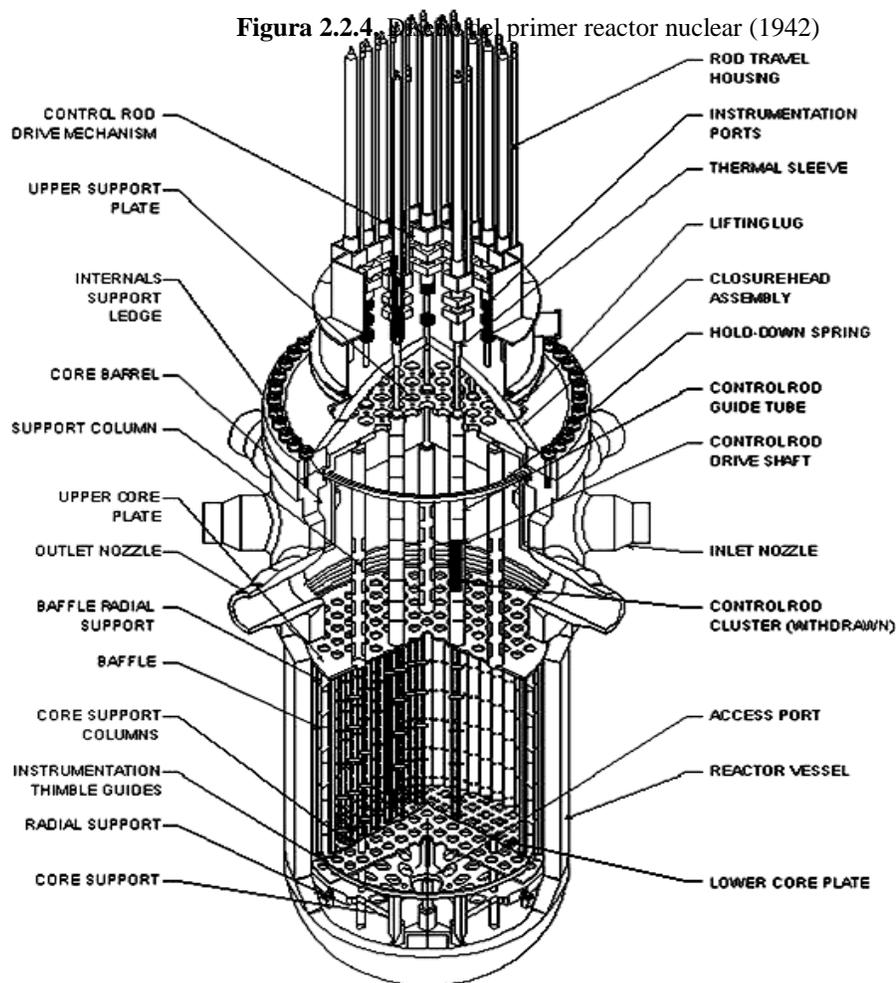


Fuente: Adaptado de EPRI, 2006.

La energía nuclear ha tenido una trayectoria tecnológica similar, a partir de los experimentos en torno a la radiactividad realizados por la Dra. Marie Sklodowska Curie en

1896, en Paris Francia, hasta el desarrollo del primer reactor nuclear (figura 2.2.4), realizado por el Dr. Enrico Fermi en la Universidad de Chicago en Estados Unidos de Norte América en 1942 (Castan, 1963). Con la creación del primer reactor nuclear el desarrollo de esta tecnología ha pasado por diferentes etapas.

En el año de 1946 resultó determinante para el desarrollo de la industria nuclear internacional, ya que en los Estados Unidos, se aprobó el Acta sobre Energía Atómica, permitiendo la transferencia de la tecnología nuclear del área militar a la civil; ese mismo año se creó la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos, con el objetivo manifiesto de “civilizar” los usos y aplicaciones de la tecnología nuclear, las radiaciones y los radioisótopos. Desde entonces los esfuerzos en investigación y desarrollo nuclear, se han centrado en estas aplicaciones.



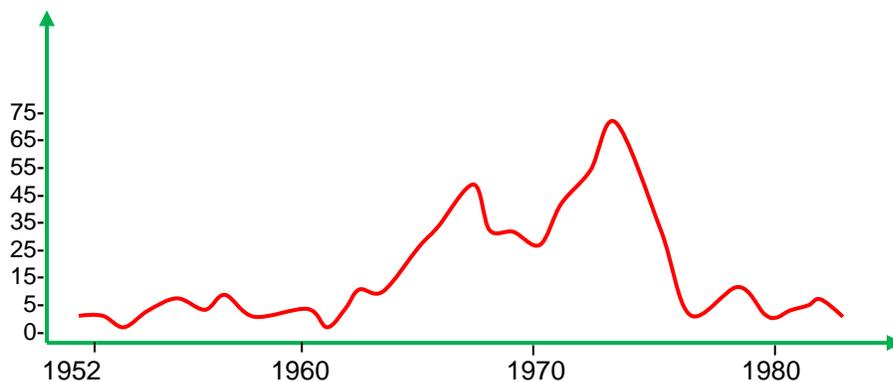
(Fuente: www.physics.umd.edu).

La industria nuclear en sus inicios tuvo un importante apoyo del capital financiero internacional norteamericano, que a la fecha tienen injerencia en la industria nuclear de otros países.

- J. P. Morgan and Company Bank.
- Bankers Trust.
- Chase Manhattan Bank
- Manufactures Hanover Trust Company Bank
- Citicorp Bank
- Chemical Bank
- Prudential Life Insurance Company
- Metropolitan Life Insurance Company
- New York Life Insurance Company
- Teachers Insurance and Annuity
- Lord Abbet and Company

La larga fase expansiva de desarrollo económico mundial, en los albores de la posguerra, constituyó el mejor marco para su evolución y consolidación (Gráfica 2.2.4), a fines de la década de los años setenta, la industria nuclear integraba, además de las actividades de fabricación de reactores y combustibles, un conjunto importante de empresas de diseño, ingeniería y construcción; de fabricación de partes, componentes y equipos; de generación de electricidad y, pese a todo, de fabricación de armas. En términos precisos de sus aplicación en la generación de electricidad, la opción nuclear tenía una operación para entonces 90 reactores con un poco más del 2.5 % de la electricidad mundial (Rojas, 1989:23).

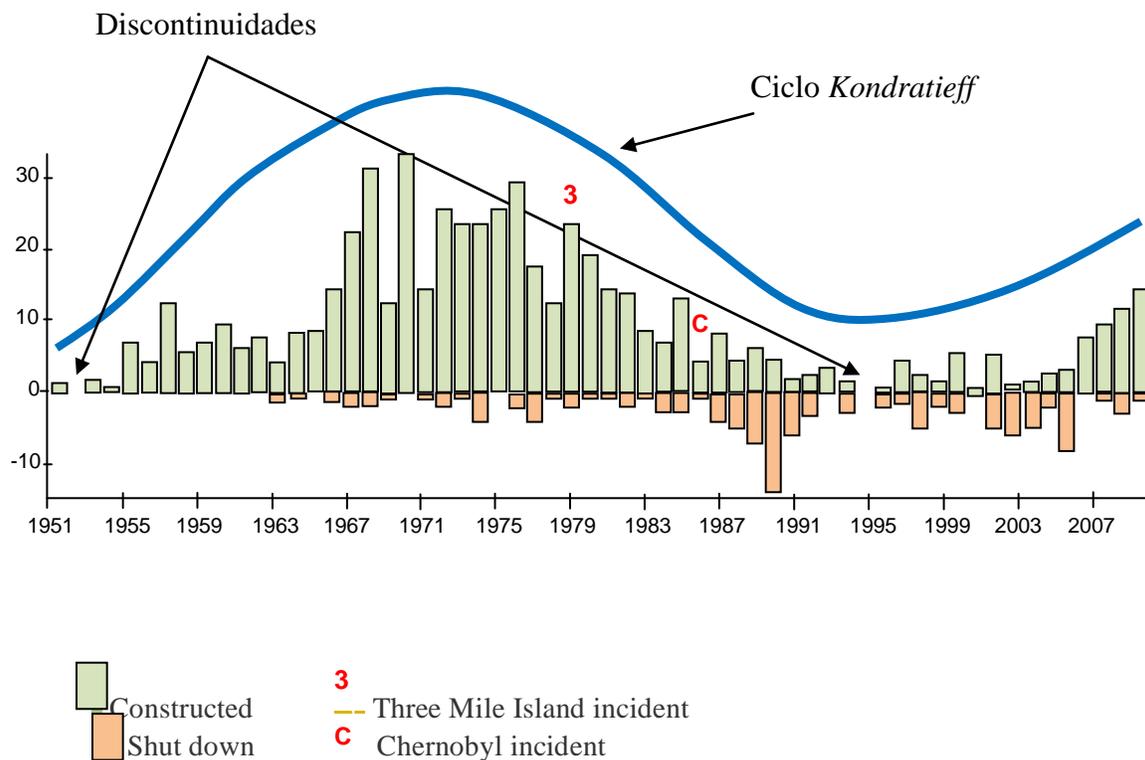
Gráfica 2.2.4 Pedidos de reactores nucleares 1954-1984 (Unidades)



Fuente: Elaboración propia con información de Rojas, (1989:41)

Sin embargo, desde 1976 la industria nuclear internacional tuvo un drástico decaimiento tanto por la aplicación de pedidos e instalaciones como por la suspensión de las obras comenzadas o la disminución en el ritmo de crecimiento e implantación de diversos programas nucleares nacionales. Esta crisis (1974-1975) se explica por factores técnicos, sociales y políticos, derivados del alza en los precios de los hidrocarburos modificando la evolución cíclica de la economía, comenzando una larga fase depresiva, desigual y diferenciada en los diversos países de la economía mundial. La gráfica 2.2.5, muestra el ciclo tecnológico para las centrales nucleoelectricas.

Gráfica 2.2.5. Instalación de centrales nucleoelectricas en el tiempo 1951-2010.



Fuente: (VA, 2011)

La idea de instalar reactores nucleares en México surge a mediados de los años cincuenta, en el marco de la promoción internacional de la tecnología nuclear, cuando un grupo de técnicos mexicanos asisten a las conferencias internacionales sobre la utilización de la energía atómica para fines pacíficos, en Ginebra Suiza en 1955. En 1972 se otorga el contrato de compra de un reactor General Electric a la empresa estadounidense *General*

Electric, y un turbogenerador *Mitsubishi* a una empresa Japonesa, la compañía constructora mexicana Ingenieros Civiles Asociados, S. A. (ICA) es la encargada de realizar la edificación de la planta. A partir de esta fecha se inicia la capacitación del personal que la operará. Con la certificación del organismo nuclear de México, la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguarda (CNSNS), la Secretaria de Energía (SENER) otorgó las licencias para operación comercial a la unidad I el 29 de julio de 1990 y la unidad II el 10 de abril de 1995. La central nucleoelectrica es propiedad de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Hasta ahora, es la única central nuclear en México.

Las experiencias obtenidas durante los diecinueve años de operación de la primera unidad de Laguna Verde (y catorce de la segunda unidad), han demostrado que el país es capaz de operar centrales nucleoelectricas, con parámetros de seguridad, calidad y economía, comparables a los de las mejores plantas del mundo. En 2006 la Secretaria de Energía (SENER), planteó la conveniencia de reincorporar a la opción nuclear en los planes de expansión del sector eléctrico, de acuerdo con los escenarios de planeación y las herramientas de cómputo utilizadas por la CFE, la alternativa nuclear resultaba la más atractiva para atender las demandas de nueva capacidad en las mejores condiciones económicas (Eibenschutz, 2008).

Sin embargo el Tsunami que azotó al pueblo de Japón, el pasado 11 de marzo de 2011, que puso en riesgo la central nuclear de Fukushima, causó varias polémicas en torno a la seguridad de las centrales nucleoelectricas y quizá esto marque la pauta para el salto en el ciclo de la tecnología nuclear. En un informe preliminar de la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA), afirma que la reacción del pueblo japonés ante este incidente fue ejemplar, pero Japón subestimó el peligro que los tsunamis representan para sus centrales nucleares, en el futuro los diseñadores de plantas nucleares y los operadores deben proporcionar protección contra los riesgos de todo tipo de peligros naturales. El informe insta a todos los países que cuenten con este tipo de instalaciones a evaluar a fondo los dispositivos de seguridad para prevenir un incidente similar al de Fukushima (ONU, 2011)

Los planteamientos teóricos vertidos al inicio de este apartado, muestran una congruencia con los desarrollos tecnológicos nucleares. El ciclo tecnológico nuclear que inicio a finales de la segunda guerra mundial (1946), emerge de un periodo de crisis, tiene un asenso con la proliferación de la instalación de centrales nucleoelectricas alrededor del mundo. La crisis petrolera de 1976, derivada de los fluctuaciones de los precios de los hidrocarburos y el descubrimiento de nuevos yacimientos de gas, frenan esta expansión de centrales nucleoelectricas, iniciando un descenso en el ciclo, para entonces han transcurrido 30 años desde la instalación de la primera central nuclear en el mundo, e inicia su periodo de descenso.

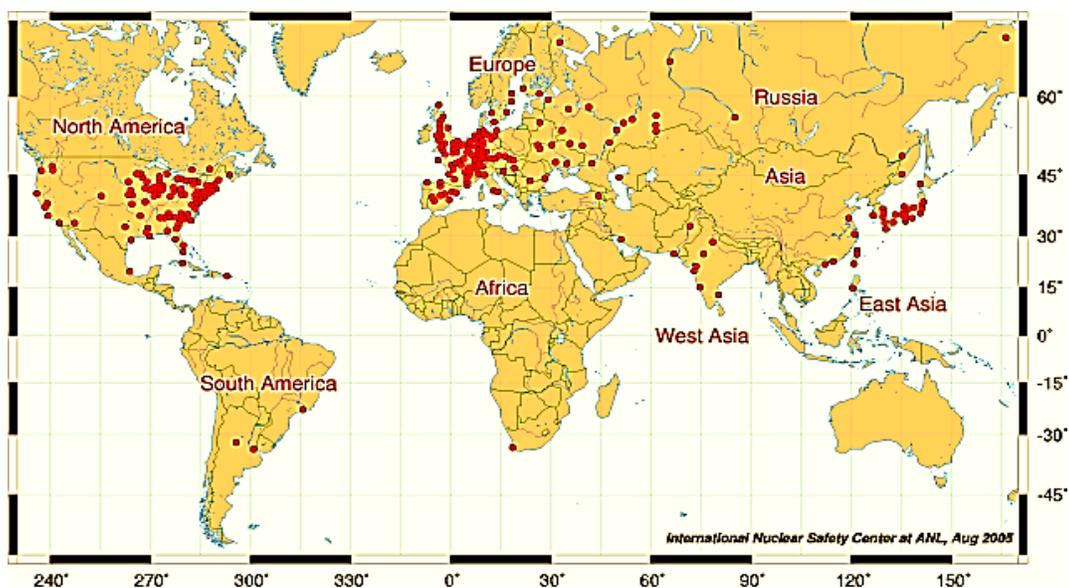
En el escenario internacional, en los albores del siglo XXI, surge en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), la preocupación por el cambio climático, las políticas públicas de los países se centran en el desarrollo de tecnologías ambientales sustentables (Soete, 1998:199), colocando en el escenario energético nuevamente a las centrales nucleoelectricas como una opción para la generación de energía eléctrica “limpia”, en el 2006 que se reconsideran los programas nucleares en México para la generación de energía eléctrica, como una opción sustentable, han transcurrido 60 años, desde la implantación de la primera central nucleoelectrica en el mundo. El desastre de la central nuclear de *Fukushima* y las acciones para frenar los efectos del cambio climático en el mundo, inicia el ascenso de un nuevo ciclo tecnológico en torno a las centrales nucleoelectricas, haciendo que la comunidad científica en esta área del conocimiento participe y compita en el mercado tecnológico para las alternativas energéticas del futuro.

A pesar de las oscilaciones en los programas nucleoelectricos del mundo, muchos países han mantenido políticas energéticas que contemplan la utilización creciente de fuentes nucleares. Tal es el caso de Francia, Japón, Finlandia, Rusia, China, India, Corea, Sudáfrica, Suiza, Paquistán, Taiwán y México. Es menester de esta investigación realizar un mapa tecnológico mundial que muestre la trayectoria y las fronteras de esta área del conocimiento, consensando la participación de las universidades Mexicanas (IPN, UAM y UNAM), en este contexto.

2.3. La energía nucleoelectrica como elemento de competitividad de las regiones.

La competitividad se define por la productividad con la que un país utiliza sus recursos humanos, económicos y naturales. La productividad depende tanto del valor de los productos y servicios de un país, medido por los precios que se pagan por ellos en los mercados libres, como por la eficiencia con la que pueden producirse. La productividad permite a un país soportar salarios altos, una divisa fuerte y una rentabilidad atractiva del capital. Y con ello, un alto nivel de vida (Porter, 2005). En este sentido las centrales nucleoelectricas se ubican en los países más desarrollados y en desarrollo como se muestra en la siguiente figura 2.3.1.

Figura 2.3.1. Países con nucleoelectricas en el mundo.



Fuente: (Argonne National Laboratory, 2006)

Porter (2009) actualiza la teoría clásica de Adam Smith (1776) sobre la riqueza de las naciones, así como el predominio de los factores tradicionales de esa riqueza: tierra, recursos naturales y el trabajo. En la economía actual, globalizada y cada vez más competitiva, esos factores ya no pueden producir y explicar por sí mismos las razones de por qué ciertos países generan mayor riqueza que otros. La clave está en la competitividad y particularmente en la productividad de las naciones y de sus industrias en particular, la

que se expresa en diversas exportaciones a diversos lugares y en una sólida inversión fuera de las propias fronteras. Los patrones del éxito competitivo en los países más importantes se basan en las empresas que logran obtener una ventaja competitiva mediante actos de innovación.

En el enfoque de Porter (2005), casi todo importa para la competitividad, importan las escuelas, importan las carreteras, importan los mercados financieros e importan los clientes. Estos y otros aspectos de las circunstancias de un país están profundamente arraigados en sus instituciones, habitantes y cultura. Esto es lo que hace que mejorar la competitividad sea un reto tan especial, porque no existe ninguna política o medida que por sí sola pueda crear competitividad, sino que debe haber muchas mejoras en muchos ámbitos distintos, algunas que inevitablemente tardan en madurar.

De esta manera las empresas de una nación deben pasar de competir sobre ventajas comparativas (bajo costo de mano de obra o de recursos naturales) a competir sobre ventajas competitivas que surjan a partir de productos y procesos únicos. Esto implica el dejar de depender en forma excesiva de la mano de obra barata y relativamente poco calificada como fuente de competitividad en favor de la capacitación de los trabajadores y de un mayor esfuerzo en la introducción y difusión de innovaciones tecnológicas con el fin de incrementar la productividad en el uso de los factores de producción.

Abdel y Romo (2004), subrayan que ambos conceptos no son completamente independientes el uno del otro. La ventaja competitiva se construye en cierta medida sobre los factores que determinan la ventaja comparativa. Un claro ejemplo se puede apreciar en el caso de la innovación tecnológica. El desarrollo de nuevas tecnologías, así como la incorporación de las ya existentes a los procesos de producción, no sólo es caro sino también riesgoso. La falta de instituciones financieras maduras que cuenten con la pericia necesaria para evaluar innovaciones riesgosas y para financiarlas, se traduce en elevados costos de capital y en la ausencia de mejoras tecnológicas en la industria. Así, la falta de una ventaja comparativa en ciertos factores como los precios de los energéticos constituye un obstáculo para la competitividad.

El Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 menciona que para alcanzar un mayor crecimiento de la productividad se requiere una mayor competencia económica y condiciones más favorables para la adopción y el desarrollo tecnológico. La electricidad es el principal insumo para el crecimiento económico de las sociedades actuales al permitir la producción de alimentos, medicinas, abrigo, sistemas de comunicación, el sostén del comercio y la industria. La estructura económica del país se apoya en el sector eléctrico y determina un factor esencial en las condiciones de vida actual.

México cuenta con amplia gama de recursos energéticos, como son: petróleo, carbón mineral, gas natural, uranio y la energía renovable comprendida por la hídrica, eólica, solar, geotérmica y biomasa, principalmente. Representan un conjunto de opciones de desarrollo tecnológico y de mercado. La diversificación permite su remplazo ante imponderables eventuales, evitando crisis energéticas y económicas.

Aprovechar las actividades de investigación del sector energético es uno de los ejes centrales de las políticas públicas de México, fortaleciendo a los institutos de investigación del sector, orientando sus programas, entre otros, hacia el desarrollo de las fuentes con eficiencia energética. La teoría de Sistemas Nacionales de Innovación destaca el papel de las políticas gubernamentales, de las instituciones, los esfuerzos en investigación y desarrollo, así como la dinámica entre iniciativa privada, la universidad y el gobierno.

Gómez y Guzmán (2011) en un estudio empírico identifican factores internos nacionales e industriales que dan soporte al proceso de innovación en un determinado sector. Los factores que identifican son los siguientes:

- Insumos nacionales para la innovación, ámbito institucional y política gubernamental (capacidad local para asimilar conocimiento e influir en la industria mediante regulación).
- Esfuerzos de innovación en la industria (recursos invertidos –capital y trabajo- y presencia de oportunidades tecnológicas).
- Estructura industrial (grado de atracción del mercado por la demanda existente, es decir, tamaño del mercado).

La estimación de la relación entre innovación y los diferentes factores identificados puede ser vista como una función de producción de patentes. La definición de variables por factor, su definición e interpretación, marco teórico y el efecto esperado, es parte del objetivo de esta investigación (Gómez y Guzmán, 2011: 112).

La función tenderá a explicar la relación entre patentes y los factores identificados en torno a la investigación y desarrollo de centrales nucleoelectricas de pequeña y mediana escala en México. Un modelo supuesto es el siguiente:

$$PAT_{i,t} = f(INI_{i,t}, IG_{i,t}, EI_{i,t})$$

Donde $PAT_{i,t}$, representa el nivel de innovación medido por el nivel de patentes en el periodo (t), para el país i en la industria nucleoelectrica. $INI_{i,t}$, incluye los insumos nacionales para la innovación en el país i para la industria nucleoelectrica (capacidad social -Producto Interno Bruto (PIB) per cápita-, capital humano y sector generador de ideas para la industria nucleoelectrica, en este caso las universidades. $EI_{i,t}$, son los esfuerzos industriales en innovación en el país i en la industria nucleoelectrica (Gasto en investigación y desarrollo, penetración de importaciones –dependencia-, *stock* de patentes o empuje por el conocimiento, y finalmente el PIB industrial describe el tamaño de la industria en el país). Otra medida de capacidades tecnológicas podrían ser las publicaciones científicas, pero éstas son más una expresión de la exploración del trabajo científico que un reflejo de los esfuerzos de innovación (Gómez y Guzmán, 2011:112).

El nivel de adopción y desarrollo de tecnología como la nucleoelectrica, depende entre otros factores, de la rentabilidad de los proyectos de inversión y del nivel educativo de las personas. Sólo tiene sentido adquirir la maquinaria y equipo más avanzados si puede recuperarse la inversión y ésta puede ser utilizada por individuos suficientemente capacitados y flexibles. Asimismo, para desarrollar nuevas tecnologías es necesario contar con científicos e ingenieros capaces de descubrir lo nunca antes imaginado. La adquisición y desarrollo de la tecnología de punta permite a las empresas mantener su competitividad tanto a nivel nacional como internacional (Plan Nacional de Desarrollo, 2007-2012).

Cabe mencionar que gran parte de los proyectos de investigación que llevan a cabo las instituciones y centros de investigación tecnológica, carecen de una adecuada

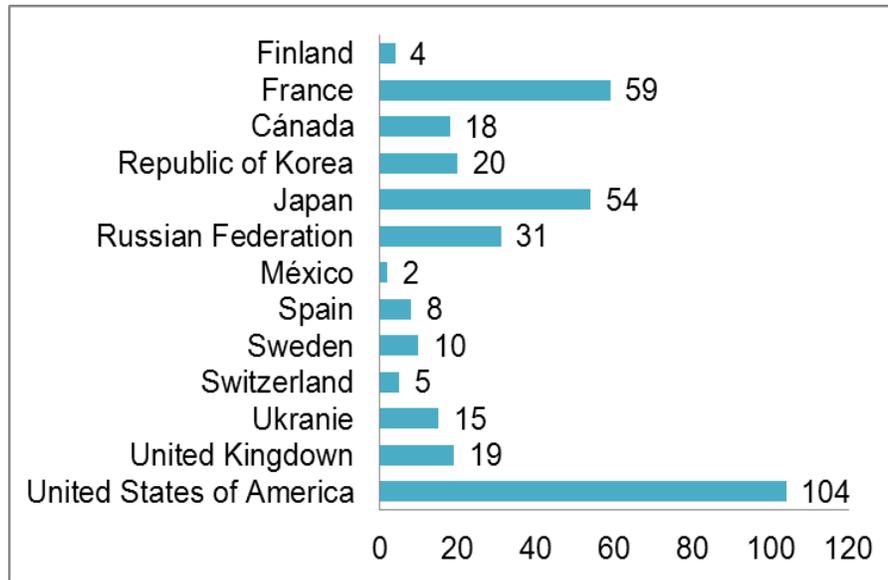
promoción de los servicios ofrecidos, lo que afecta la competitividad ya que la innovación es retardada y la dependencia tecnológica se acentúan. Considerando el potencial de demanda de servicios tecnológicos en México, es claro que la infraestructura y el equipo necesarios para la realización de actividades de investigación y desarrollo en las universidades y los centros de investigación del sector público serían insuficientes. La falta de unidades de gestión y transferencia tecnológica dentro de muchas instituciones y centros públicos de investigación son necesarias para monitorear las oportunidades de interacción tecnológica con los sectores productivos, sin estas unidades se pierden numerosas oportunidades para la comercialización de las tecnologías desarrolladas por el sector académico nacional (Merritt y Mandujano, 2011:96).

Para incrementar el nivel de educación, es preciso seguir estrategias y líneas de política específicas para promover el avance tecnológico, una de ellas es proveer de un mayor apoyo directo a la investigación en ciencia y tecnología para el descubrimiento de nuevas ideas, así como garantizar una adecuada propiedad intelectual, del mismo modo crear un vínculo estrecho entre el sector público, la academia y el sector empresarial. Sólo así podrán plasmarse exitosamente los nuevos conocimientos en procesos productivos. Cabe notar que, en muchos países, el sector privado juega un papel tanto o más importante que el sector público en el desarrollo y aplicación de nuevas ideas.

2.4. Estado del conocimiento sobre los proyectos tecnológicos de las IES en la Investigación y desarrollo de Centrales Nucleoeléctricas.

Los principales países consumidores de la tecnología nucleoelectrica son los desarrollados, sin embargo, los que están en vías de desarrollo, han percibido las bondades que ofrecen las nucleoelectricas para ser más competitivos. Existen en el mundo 455 reactores nucleares en operación en 32 países, con una capacidad neta instalada de 375.374 GWe, y están en construcción 64 más, la gráfica 2.4.1, muestra un listado de algunos de estos países.

Gráfica 2.4.1. Número de reactores por país.



Fuente: *World Nuclear Association*, (WNA, 2011)

La tendencia al uso de reactores de pequeña y mediana escala, con potencias de hasta 700 MWe, (SMRs), está orientada a regiones remotas alejadas de las líneas de transmisión; a los transportes marítimos; a industrias o a usos militares (WNA, 2011). En China están en funcionamiento varios reactores de 300 MWe, de diseño PWR, y se encuentran en construcción dos reactores de 600 MWe. En Sudáfrica, *Pebble Bed Modular Reactor (Pty) Limited* y *Eskom*, están desarrollando un reactor modular (PBMR) de 200 MWt (80 MWe). Un grupo de EE.UU. dirigido por *General Atomics* está desarrollando el reactor modular de turbina de gas de helio (GT-MHR), con 600 MWt (285 MWe), utilizando helio como refrigerante y que operan a temperaturas muy altas, son reactores refrigerados por gas de alta temperatura (HTRS) que se basan en la experiencia de varios reactores innovadores en los años 1960 y 1970.

Ya operan en Siberia cuatro pequeñas unidades SMRs en la planta de *Bilibino*, (Figura 2.4.1), produciendo simultáneamente electricidad y calor, es decir en forma de cogeneración energética. Estos cuatro reactores de 62 MWt (térmicos), producen vapor para la calefacción urbana y 11 MWe de electricidad cada uno. En la región del Ártico se han obtenido buenos resultados desde 1976, el costo de producción es mucho menor que las alternativas de combustibles fósiles (WNA, 2011).

Figura 2.4.1. *Bilibino Nuclear Power Station.*



Fuente: Wikipedia, 2011.

La Corporación de Energía Nuclear de la India (NPCIL), cuenta con un modelo SMRs de 220 MWe de potencia, basado en la tecnología canadiense de agua pesada a presión (PHWR); están en desarrollo versiones de 540 MWe y 700 MWe. Actualmente comercializan a nivel internacional, las versiones 220 y 540 MWe (WNA, 2011). La propulsión nuclear marina es un tipo de propulsión de los barcos mercantes equipados con un reactor nuclear, son los pioneros en la utilización de reactores nucleares SMRs. Los trabajos sobre la propulsión nuclear marina se iniciaron en los años 40, y el primer reactor de pruebas empezó a funcionar en Estados Unidos en 1953. El primer submarino propulsado por energía nuclear fue el *USS Nautilus*, botado en 1955.

Otro uso es para alimentar, de sistemas de ciclos combinados, a industrias que requieren en sus procesos de producción, calor y electricidad, como es el caso de la minería. En México existen todavía regiones aisladas donde la electricidad es escasa o nula, impidiendo el desarrollo económico de la región, las nucleoelectricas de pequeña y mediana escala pueden ser una opción. Las centrales nucleoelectricas son un recurso sustentable que puede impulsar la productividad empresarial y proporcionar de manera eficiente una generación de energía eléctrica limpia y a bajo costo, atributos necesarios para lograr una mayor rentabilidad de la inversión.

La I+D que las universidades generen en esta tecnología puede modificar las políticas públicas para impulsar la vinculación estado-universidades-empresas. Para incrementar el nivel de educación en el campo nucleoelectrico, es preciso seguir estrategias

y líneas de política específicas para promover el avance tecnológico, una de ellas es proveer de un mayor apoyo directo a la investigación en ciencia y tecnología para el descubrimiento de nuevas ideas, así como garantizar una adecuada propiedad intelectual, del mismo modo crear un vínculo estrecho entre el sector público, la academia y el sector empresarial. Sólo así podrán plasmarse exitosamente los nuevos conocimientos en procesos productivos. Cabe notar que, en muchos países, el sector privado juega un papel tanto o más importante que el sector público en el desarrollo y aplicación de nuevas ideas.

Para conocer estas nuevas ideas de las IES, se realiza un estudio comparativo internacional de sus aportaciones en investigación y desarrollo en el campo nucleoelectrónico, a través de un análisis bibliométrico y cuantitativo. El análisis consiste en la localización de los artículos científicos publicados de los IES, en revistas especializadas arbitradas y no arbitradas, comparando las frecuencias de los tópicos en investigación y desarrollo de los IES con los internacionales. Este análisis se realizó en la base de datos *ScienceDirect*. Con búsqueda avanzada, se seleccionan artículos publicados en todas las áreas de la ciencia, acotando el periodo de publicación de 1990 a 2010. Conforme a la norma internacional de publicaciones científicas, los artículos deben de ser publicados en el idioma inglés, por lo tanto las palabras claves se relacionan con los tres ejes temáticos: “reactores nucleares”, “combustible nuclear”, “seguridad nuclear”, y son:

Small, Nuclear, Reactor, Safety, Fuel, Instituto, Politécnico, Nacional, Universidad, Autónoma, Metropolitana, México.

Se construyen booleanos para la búsqueda a partir de los tres ejes temáticos de la siguiente manera para cada uno de las IES. Para el booleano <“*small nuclear reactor*”>, se reportan 125 artículos para periodo de 1990-2010, a nivel mundial, no se reportan resultados en ninguna de las tres IES, por lo que se utilizó solo el booleano <“*nuclear reactor*”>.

Los resultados se agrupan de manera cronológica, señalando los artículos que se pueden acceder de manera gratuita y los que tienen un costo. El 99 % tiene un costo. Los resultados se obtienen de la siguiente forma ilustrados en la figura 2.4.2.

Figura 2.4.2. Despliegado de la pagina web ELSEVIER-ScienceDirect (2011), después de la búsqueda.

The screenshot shows the ScienceDirect search results page. The search criteria are: pub-date > 1989 and pub-date < 2011 and "nuclear reactor" and "Universidad Nacional Autonoma de Mexico". The results are sorted by Relevance. The left sidebar shows filters for Content Type (Journal: 40), Topic (water reactor: 3, acatlan complex: 2, fuel assembly: 2, mexico: 2, boiling water: 2), and Year (2010: 5, 2009: 5, 2008: 9, 2007: 2, 2006: 3). The main results list includes:

- 1. **Extensional Late Paleozoic deformation on the western margin of Pangea, Patlanoaya area, Acatlán Complex, southern Mexico**. Original Research Article. *Tectonophysics*, Volume 448, Issues 1-4, 25 February 2008, Pages 60-76. M.A. Ramos-Arias, J.D. Keppie, A. Ortega-Rivera, J.W.K. Lee.
- 2. **Mass flow rate sensitivity and uncertainty analysis in natural circulation boiling water reactor core simulations**. Original Research Article. *Nuclear Engineering and Design*, Volume 240, Issue 5, May 2010, Pages 1050-1062. Gilberto Espinosa-Paredes, Surendra P. Verma, Alejandro Vázquez-Rodríguez, Alejandro Nuñez-Carrera.
- 3. **Ordovician–earliest Silurian rift tholeiites in the Acatlán Complex, southern Mexico: Evidence of rifting on the southern margin of the Rheic Ocean**. Original Research Article. *Tectonophysics*, Volume 461, Issues 1-4, 1 December 2008, Pages 130-156. J. Duncan Keppie, Jaroslav Dostal, Brent V. Miller, M.A. Ramos-Arias, Miguel Morales-Gómez, R. Damian Nance, J. Brendan Murphy, Amabel Ortega-Rivera, J.W.K. Lee, T. Housh, P. Cooper.
- 4. **Critical thermal maximum of *Macrobrachium tenellum***. Original Research Article. *Journal of Thermal Biology*, Volume 21, Issue 2, April 1996, Pages 139-143. Mónica Hernández Rodríguez, L.Fernando Bückle Ramírez, Fernando Díaz Herrera.

Fuente: ELSEVIER ScienceDirect (2011).

De los resultados de la búsqueda se extraen los datos de número de publicaciones por cada revista (*Journal*); número de tópicos por publicación (*Topics*); y el número de publicaciones en el tiempo de 1990-2010 (*Year*), señalados en la figura 2.4.3. Los booleanos utilizados para la búsqueda de artículos científicos de acuerdo a los tres ejes temáticos son los siguientes:

Eje temático “reactor nuclear” and IES:

- <” nuclear reactor”>and “Instituto Politécnico Nacional”
- <” nuclear reactor”> and “Universidad Autónoma Metropolitana”
- <”nuclear reactor”> and “Universidad Nacional Autónoma de México”

Eje temático “seguridad nuclear” and IES:

- <” nuclear safety”>and “Instituto Politécnico Nacional”
- <” nuclear safety”> and “Universidad Autónoma Metropolitana”
- <”nuclear safety”> and “Universidad Nacional Autónoma de México”

Eje temático “combustible nuclear” and IES:

- <” nuclear fuel”>and “Instituto Politécnico Nacional”
- <” nuclear fuel”> and “Universidad Autonomía Metropolitana”
- <”nuclear fuel”> and “Universidad Nacional Autónoma de México”

La siguiente tabla 2.4.1, muestra los resultados obtenidos de la búsqueda, se incorporo el total de publicaciones (mundial) sin incluir la de las IES. Se estimó el porcentaje que representa el total de publicaciones de las IES, 0.49%, con respecto a la mundial, se detalla para cada uno de los ejes temáticos.

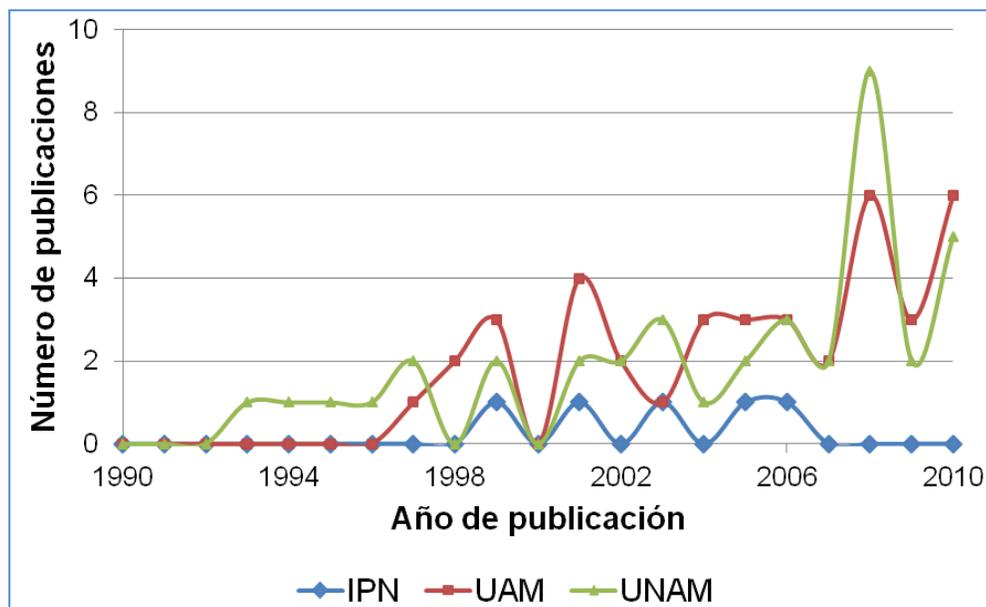
Tabla 2.4.1. Número de publicaciones de los IES para <” nuclear reactor”>, comparados con la mundial y su porcentaje

| Tema Booleanos | Número de publicaciones | | | | | % (Mundial/Total IES) |
|------------------------|-------------------------|-----|------|-----------|---------|-----------------------|
| | IPN | UAM | UNAM | Total IES | Mundial | |
| Nuclear Reactor | 5 | 36 | 40 | 81 | 15,984 | 0.0051 |
| Nuclear Safety | 8 | 12 | 13 | 33 | 4,162 | 0.0079 |
| Nuclear Fuel | 3 | 9 | 20 | 32 | 9,563 | 0.0033 |

Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect* (2011).

La siguiente gráfica muestra la evolución del desarrollo de la investigación de los IES para el eje temático “nuclear reactor”

Gráfica 2.4.1. Evolución en el tiempo de la investigación en reactores nucleares de los IES de 1990-2010

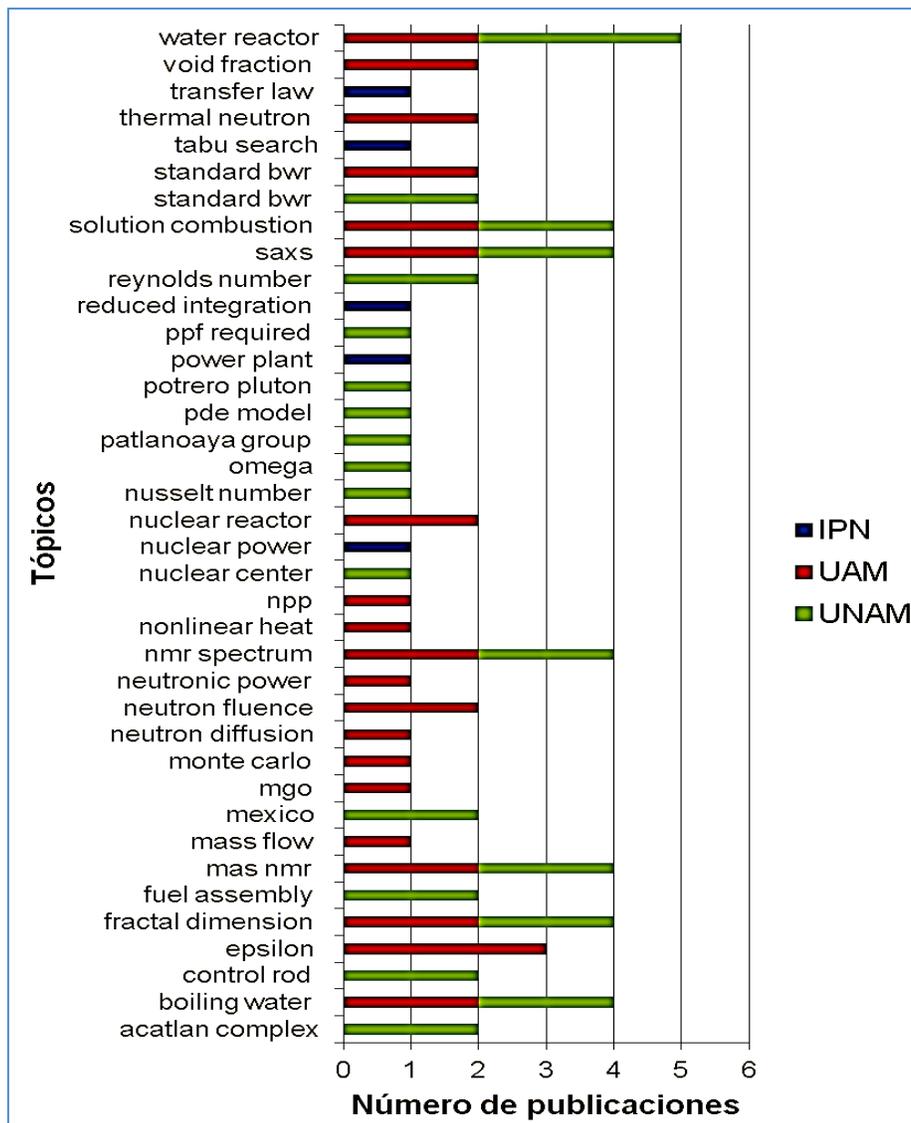


Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect* (2011)

La gráfica 2.4.1, muestra una evolución creciente para la UAM y UNAM, pero para IPN, deja de producir después del 2006, esto se debe a que el IPN está en un proceso de reestructura en la investigación de la energía nuclear, específicamente en la Escuela Superior de Física Matemática.

En este análisis no se considera al Centro de Investigaciones Avanzadas del Instituto Politécnico Nacional (CIVESTAV-IPN), por considerarse una entidad descentralizada del propio IPN. De cualquier forma no se arrojaron datos de este centro de investigación. La gráfica 2.4.2, muestra los tópicos más recurrentes para este eje temático “nuclear reactor”.

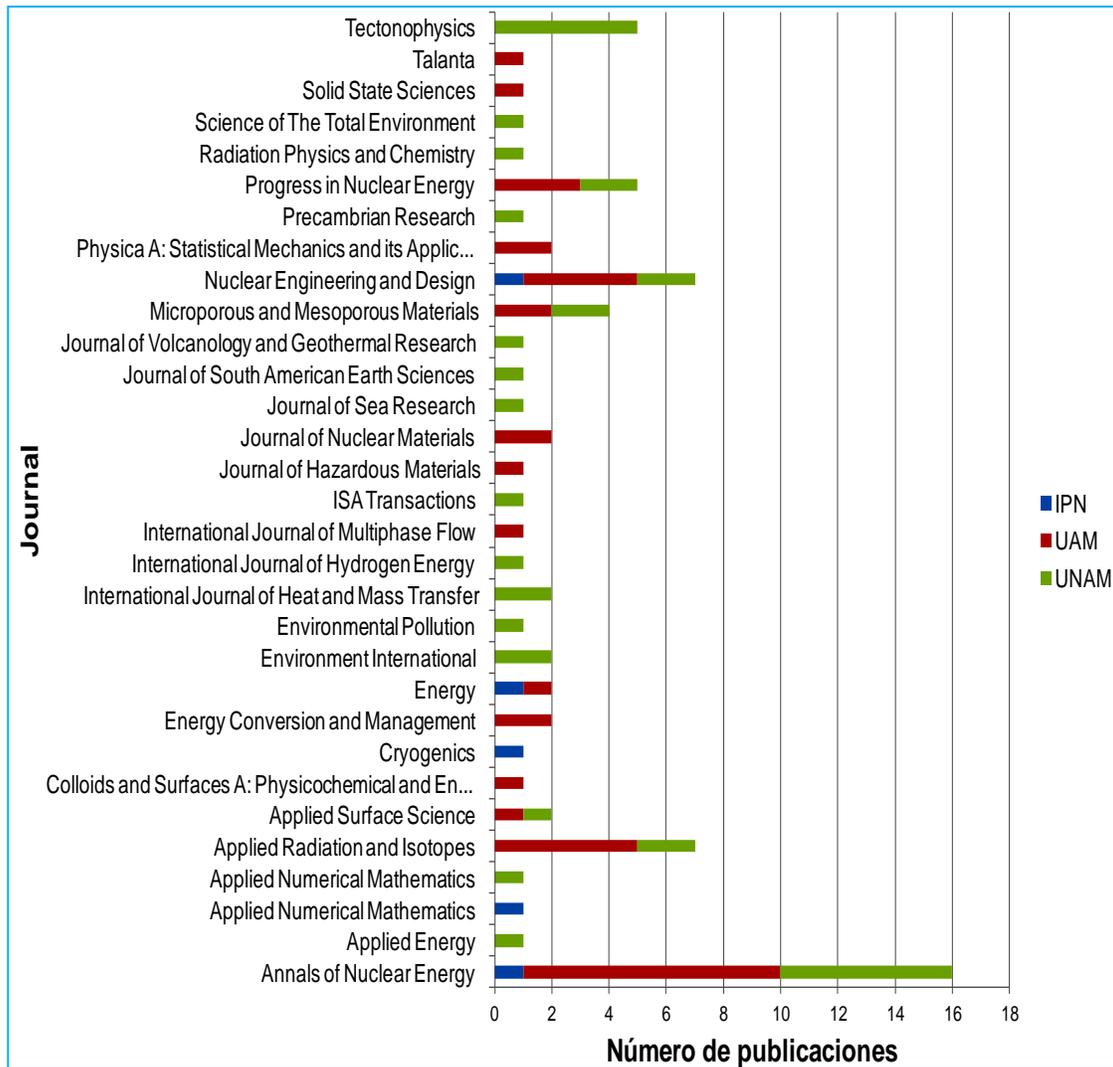
Gráfica 2.4.2. Tópicos recurrentes en las publicaciones científicas en torno al eje temático “*Nuclear reactor*”.



Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect* (2011)

Los tópicos más recurrentes en las publicaciones son *wáter reactor*, *solution combustion*, *sax*, *nmr spectrum*, *mas nmr*, *fractal dimensión*, *boiling wáter*; tecnicismos muy específicos de la investigación y desarrollo de reactores nucleares, que no profundizaremos en ello, servirán para compararlos con la investigación internacional, que se abordará en el siguiente apartado. Con respecto a las revistas que publican estos artículos científicos, se muestran en la siguiente gráfica 2.4.3.

Gráfica 2.4.3. Revistas científicas donde se publican el mayor número de investigaciones de las IES, en el eje temático “nuclear reactor”.

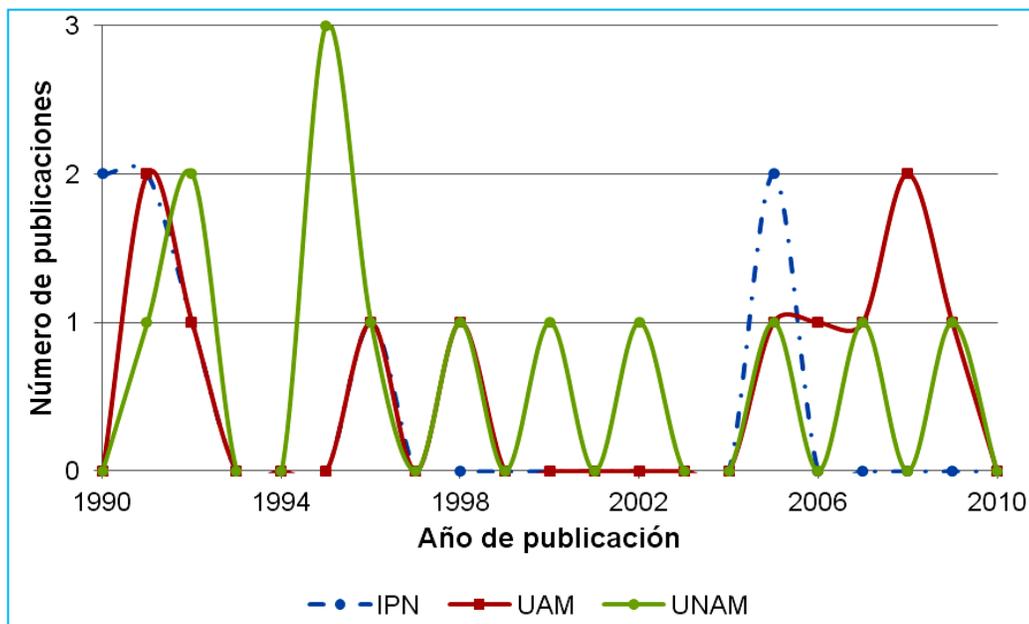


Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect* (2011)

La revista donde se concentra el mayor número de publicaciones es en *Annals Nuclear Energy*, seguida de *Nuclear Engineering and Design*, *Applied Radiation and Isotopes*, *Progress in Nuclear Energy*, *Microporous and Mesoporous*, publicaciones congruentes con el tema. Cabe destacar las publicaciones relacionadas con la sustentabilidad como *Science of the Total Environment*, *Environmental Pollution* y *Environment International*.

Para el segundo eje temático relacionado con la seguridad nuclear “*nuclear safety*”, con 33 artículos en total de las IES, su evolución en el tiempo se aprecia en la siguiente gráfica 2.4.4.

Gráfica 2.4.4. Evolución en el tiempo de las publicaciones de las IES con respecto al eje temático “*nuclear safety*”.



Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect* (2011)

Se puede observar en la gráfica 2.4.4, que en el 2004, el IPN dejó de publicar, mientras la UAM y UNAM se mantienen activos hasta el 2009. El total de la producción científica de las tres IES, representa el 0.0051%, del total mundial (Tabla 2.4.1). Para conocer si estas universidades consideran la investigación en energía nuclear como un campo del conocimiento estratégico, se entrevistaron a tres investigadores, uno por cada institución, que refirieron en el análisis cuantitativo (gráfica 3.1.3), el mayor número de publicaciones. En la entrevista realizada al Dr. Edmundo Del Valle Gallegos (Del Valle, 2011), comenta que en su centro de trabajo en el Departamento de Física, de la Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional (ESFM-IPN), no consideran la investigación sobre energía nuclear como área estratégica.

“hace casi tres años eliminaron el programa de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Nuclear y poco después al Departamento de Ingeniería Nuclear (DIN).

Los que antes pertenecíamos al Departamento DIN, fuimos asignados al Departamento de Física de la ESFM-IPN”.

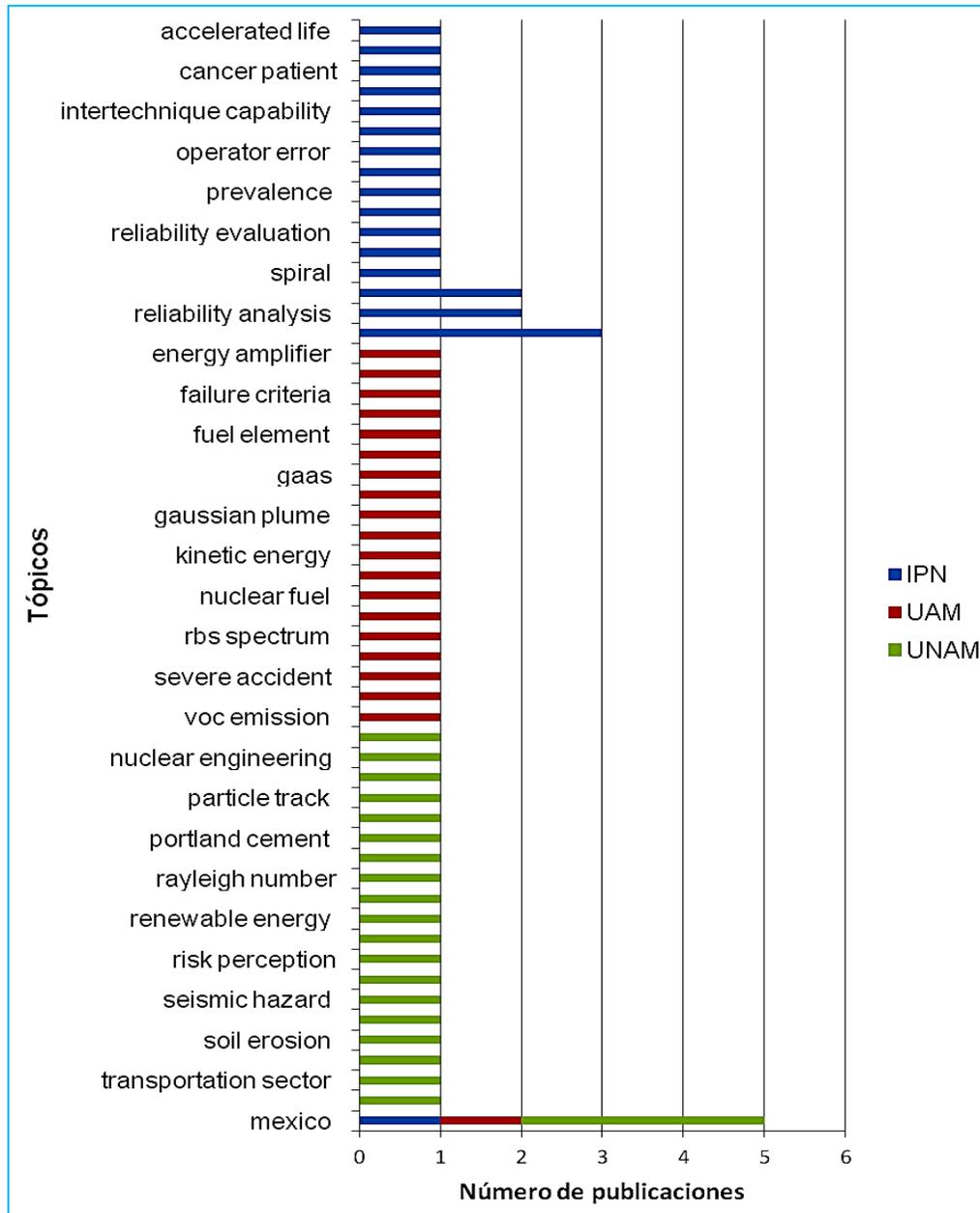
Esto muestra el decaimiento en la producción de publicaciones en torno a la energía nuclear de reactores en el IPN. Por su parte la UNAM realiza investigaciones de manera continua y sistematizada mostrado en la gráfica 2.4.4. En entrevista con el Dr. Juan Louis François Lacouture (François, 2011), profesor-investigador del Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, en el Departamento de Sistemas Energéticos, informa que el Grupo de Ingeniería Nuclear, que dirige, realiza investigaciones concerniente al análisis y diseño de reactores nucleares, combustible nuclear, producción de hidrogeno a partir de energía nuclear, estudios de expansión eléctrica a partir de proyectos tecnológicos nucleoelectricos. La UAM también considera la investigación nuclear como estratégica, el Dr. Gilberto Espinosa Paredes del Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica de la UAM Iztapalapa, comenta al respecto:

“...Desde 1973 que se fundó la UAM, ha considerado a la energía como un tema de relevancia nacional...la UAM, formó la licenciatura en Ingeniería en Energía, que abarca todas las alternativas energéticas, entre ellas la nuclear...está en proceso de aprobación un posgrado en maestría y doctorado relacionada con Energía y Medio Ambiente que contempla la energía nuclear como alternativa energética para investigación y formación de recursos...”

Los principales tópicos reportados en esta búsqueda del eje temático <“*nuclear safety*”>, se muestran en la siguiente gráfica 2.4.5. La seguridad nuclear, en una central nucleoelectrica, involucra diferentes disciplinas no relacionadas directamente con la central, como son la automatización para el monitoreo de los diferentes procesos de producción, a través de microprocesadores y programas de computo que involucran simuladores del funcionamiento optimo de una nucleoelectrica (*operator error*, en la gráfica 3.1.5); la experiencia en seguridad radiológica y dosimetría que la medicina a reportado en diferentes publicaciones (*cancer patient*, en la gráfica 3.1.5) ; textiles con fibras que protegen a los operadores de estas centrales, como parte de su equipo básico de seguridad personal (*voc emission*, en la gráfica 3.1.5); materiales de construcción de alto desempeño que son considerados actualmente en el diseño de la obra civil para los contenedores de los reactores nucleares (*portland cement*, en la gráfica 3.1.5); investigaciones en Geofísica determinan las condiciones del suelo donde se pretende

instalar una central nucleoelectrica (*risk perception*, en la gráfica 2.4.5); entre otras aportaciones.

Gráfica 2.4.5. Tópicos recurrentes en las publicaciones de los IES para el eje temático <“nuclear safety”>.



Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect* (2011)

Estando México situado geográficamente en una zona sísmica (Lomnitz, 2011), los esfuerzos orientados a la investigación y desarrollo de materiales de construcción para los proyectos de obra de ingeniería civil en centrales nucleoelectricas, se basan en las políticas

que la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (2011), establece en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-022/3-NUCL-1996, “Requerimientos para una instalación para el almacenamiento definitivo de desechos radiactivos de nivel bajo cerca de la superficie”; y la norma NOM-027-NUCL-1996, “Especificaciones para el diseño de las instalaciones radiactivas tipo II clases A, B y C”. Al respecto uno de los tópicos, en el análisis cuantitativo de la gráfica 2.4.5, *portland cement risk perception*, infiere líneas de investigación relacionados con los materiales de construcción para este tipo de instalaciones.

En entrevista con el Dr. Felipe de Jesús Cano Barrita (2011), del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR OAX), menciona que se está realizando investigación en materiales de alto desempeño como es el ferro cemento y dispositivos electrónicos para monitorear los comportamientos de estos materiales cementados, estas investigaciones no son reportadas directamente como una investigación en energía nuclear sino como resultados de la investigación y desarrollo de materiales para la construcción de obra civil.

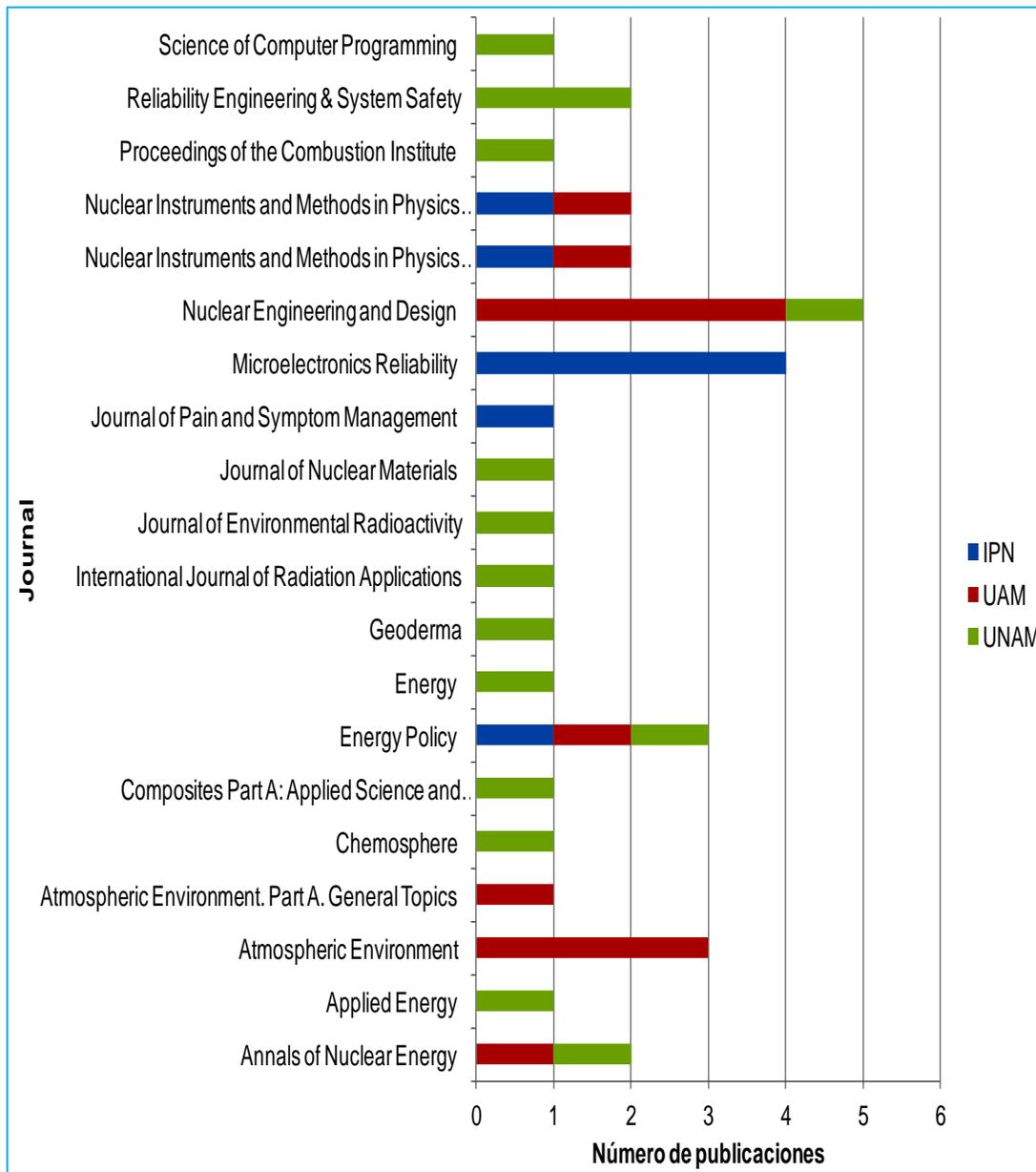
Figura 2.4.2. Imagen de la entrevista al Dr. Cano y prototipo para monitorear características de materiales cementados.



Fuente: Elaboración propia e imagen proporcionada por el Dr. Cano (2011).

Las revistas donde se publican estos artículos relacionados con la seguridad nuclear (<“*nuclear safety*”>), se muestran en la siguiente gráfica 2.4.6.

Gráfica 2.4.6. Relación de revistas donde se publican los artículos de las IES relacionados con el eje temático <“nuclear safety”>

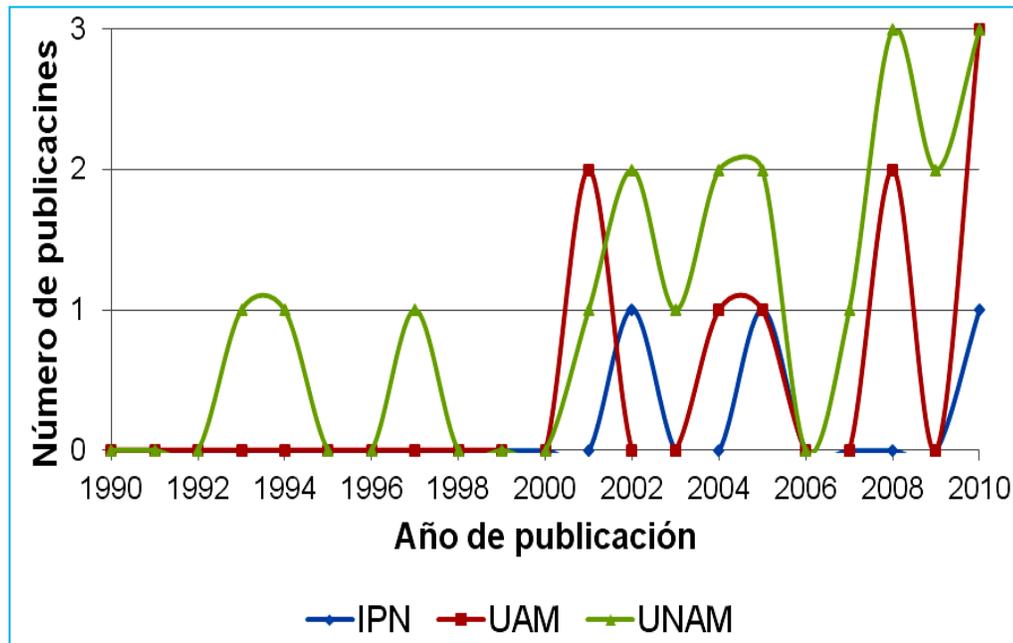


Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect* (2011)

Dado que el diseño de las centrales nucleoelectricas está muy relacionado con la seguridad nuclear, la revista en donde más se publica es en *Nuclear Engineering and Design*, seguida de *Energy Policy*, *Microelectronics reliability*, *Atmospheric Environment*, *Reliability Engineering & System Safety*, entre otras. La gráfica 2.4.6 muestra que el IPN y la UAM tienen tópicos más especializados que la UNAM.

El combustible nuclear <“*nuclear fuel*”>, es el tercer eje temático y la evolución en el tiempo de las publicaciones de las IES se muestran en la siguiente gráfica 2.4.7.

Gráfica 2.4.7. Evolución en el tiempo de las publicaciones de las IES, con respecto al eje temático <“*nuclear fuel*”>.

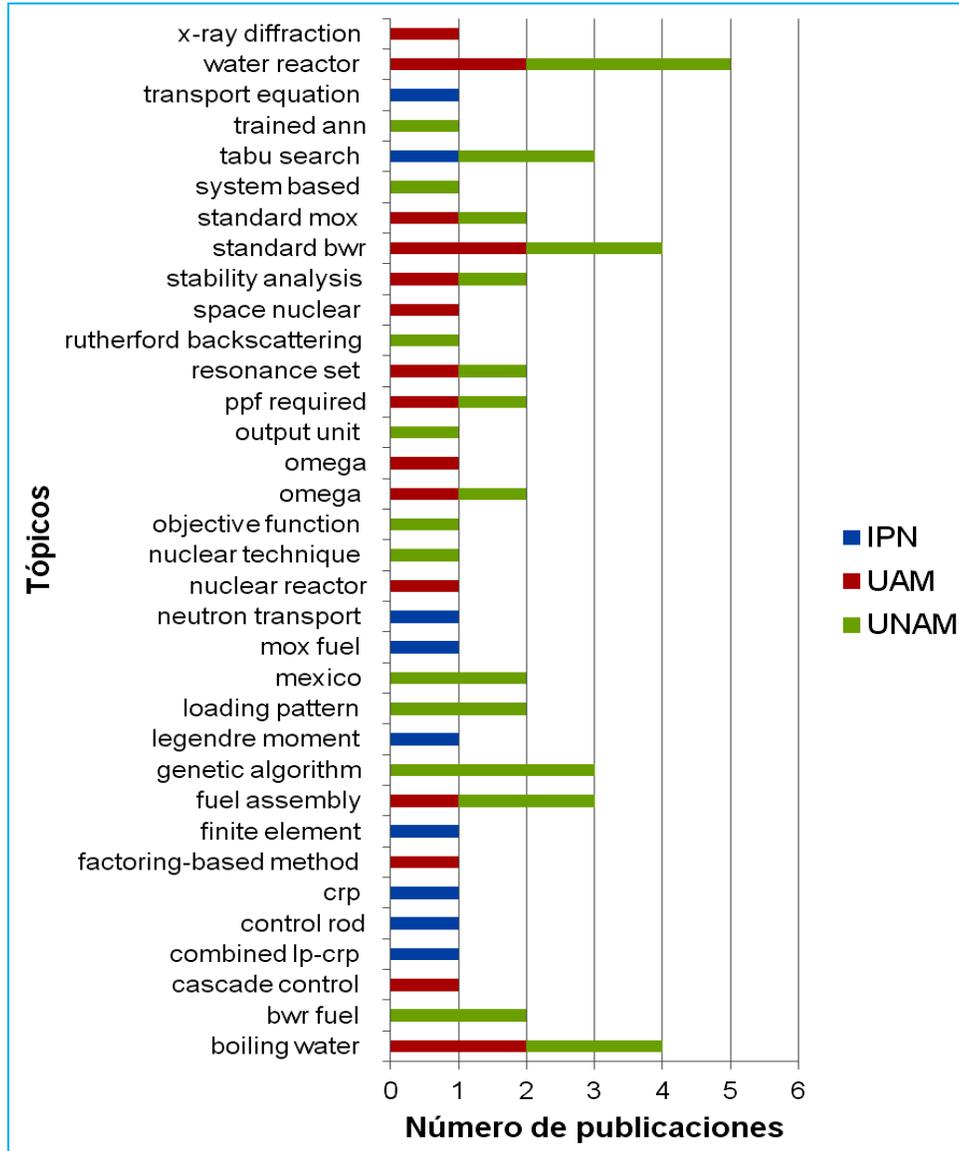


Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect* (2011)

Existe una fuerte actividad en la publicación de artículos de las IES, a partir del año 2000 al 2010, especialmente entre 2008 y 2010 se aprecia una tendencia creciente en la producción científica, al parecer es una de las principales líneas de investigación de los científicos mexicanos. François (2011) y Espinosa (2011), mencionan en entrevista, que una de las tendencias del combustible es el reprocesamiento del combustible nuclear gastado.

Del Valle (2011), refiere a que las tendencias son muy diversas tanto en el combustible como en el concepto mismo del reactor. A diferencia de otras tecnologías, la nuclear aprende de las experiencias que se han tenido en cada tipo de reactor compartiendo ideas para mejorar aún más la experiencia operacional pero sobre todo para poner por encima de todo la seguridad de la central. Los tópicos en torno a estas publicaciones de “*nuclear fuel*”, se muestran en la siguiente gráfica 2.4.8.

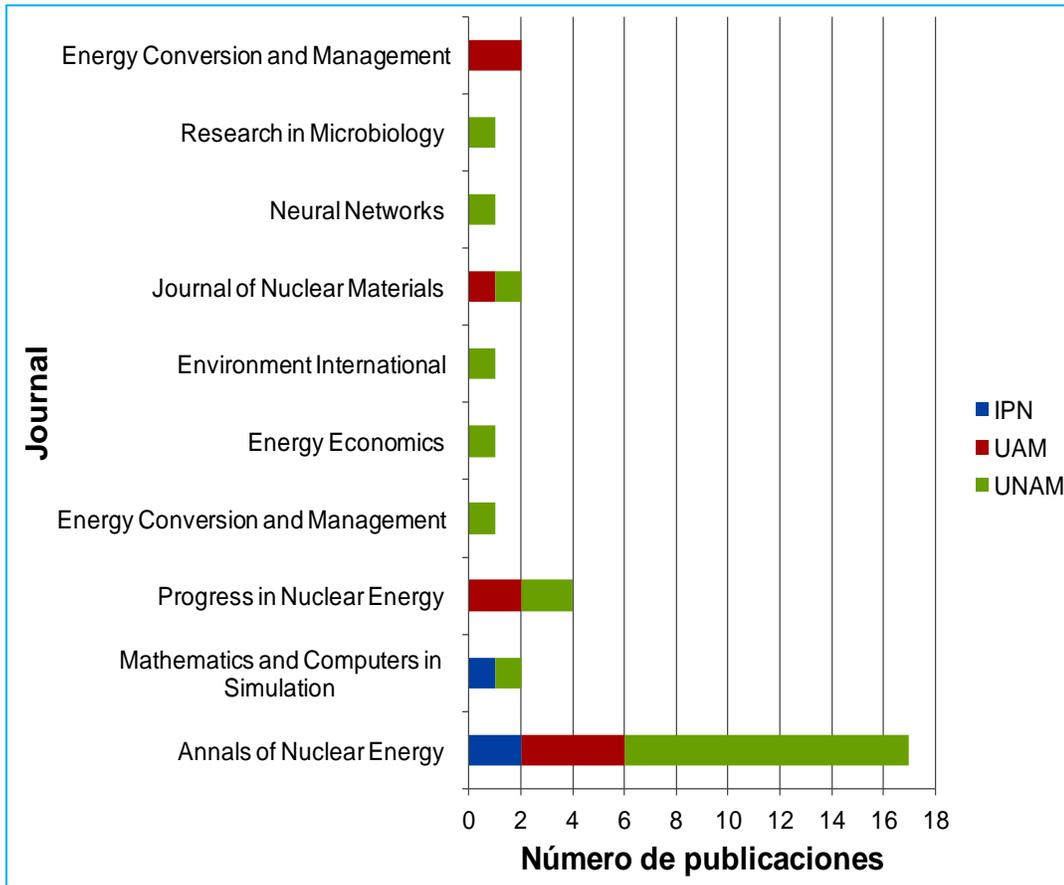
Gráfica 2.4.8. Tópicos relacionados con las publicaciones de las IES con respecto al eje temático <“nuclear fuel”>.



Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect* (2011)

Los tópicos están relacionados con los modelos de reactores nucleares de tercera generación denominados de agua hirviendo (*Boiling Water Reactor, WBR*), este modelo es con el que se cuenta en la central nucleoelectrónica de Laguna Verde, Veracruz, México, por lo que es congruente que las investigaciones de las IES, en combustible nuclear, giren en torno a este tipo de modelo de reactor nuclear. Las revistas donde están publicados estos artículos de las IES y su frecuencia, se muestran en la siguiente gráfica 2.4.9.

2.4.9. Relación de revistas donde se publican los artículos de las IES relacionados con el eje temático <“nuclear fuel”>.



Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect* (2011)

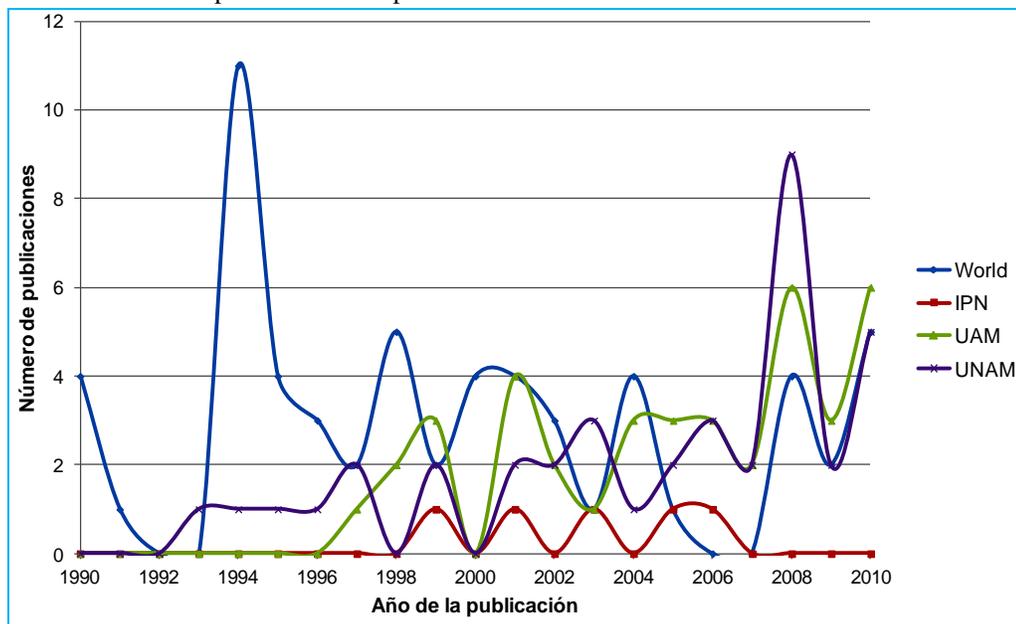
La revista *Annals of Nuclear Energy*, es la que presenta el mayor número de publicaciones de las IES, para el eje temático “nuclear fuel”, seguida de *Progress in Nuclear Energy*, *Mathematics and Computers in Simulation*, *Journal of Nuclear Materials* y *Energy Conversion and Management*, entre otras, publicaciones especializadas en el tema. Se puede apreciar que si bien, la producción científica en México en los distintos ejes temáticos analizados, tiene escasa participación en el mundo, su importancia absoluta nacional ha ido creciendo, al mismo tiempo que se diversifican las opciones de las universidades para ofrecer estudios de nivel superior y de posgrado en temas relacionados con energía nuclear. En el siguiente apartado mostraremos las congruencias de las investigaciones de las IES con las internacionales. En el siguiente apartado mostraremos las congruencias de las investigaciones de los IES con las internacionales.

Cabe mencionar que en el periodo seleccionando para esta investigación de 1990-2010, el desempeño del IPN, en la investigación y desarrollo nucleoelectrico en México, es limitado por la reestructura de sus planes de estudios de la Escuela Superior de Física y Matemática (ESFM), sin embargo las aportaciones del IPN en décadas anteriores, fue muy intensa, no sólo de la ESFM sino también de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), como por ejemplo podemos mencionar tres pioneros de la energía nuclear en México, el M. en C. Roberto Mendiola Gómez Caballero (1933-2003), ex director de la ESFM (1964-1972), fue fundador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Nuclear con apoyo de la Agencia Internacional de Energía Atómica; inicio los servicios para la central nucleoelectrica de Laguna Verde Veracruz y realizó trabajos de física aplicada, cargas hidrodinámicas, ingeniería nuclear, determinación de zonas ambientales del contenedor secundario, apoyo en las recargas de combustible, capacitación, entre otros proyectos, (García, 2003). El Dr. Arturo Delfín Loya, Licenciado en Física y Matemáticas, Maestro en Ingeniería Nuclear por la Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN; Doctor en Ciencias Nucleares por la Universidad Autónoma del Estado de México. Desde 1988 ha trabajado como profesionista en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), y colaborado con el grupo de Ingeniería del Reactor de la Central Nucleoelectrica de Laguna Verde, Veracruz, es autor y coautor de diversas publicaciones en revistas nacionales e internacionales, tienen el cargo de editor en jefe de la International Journal of Nuclear Energy Science and Technology. Es miembro del Consejo Mundial de Trabajadores Nucleares (WONUC) y miembro fundador de la Sociedad Nuclear Mexicana. El Dr. Gustavo Alonso Vargas, Licenciado en Físico-Matemáticas y Maestro en Ciencias en Ingeniería Nuclear, por el IPN, Doctor en Ingeniería Nuclear por la Universidad de Texas A&M; es Jefe de Departamento en el ININ, donde actualmente es investigador. Fue presidente de la Sociedad Nuclear Mexicana (SNM), y del Consejo Internacional de Sociedades Nucleares, obtuvo el Premio Estatal de Ciencia y Tecnología 2009 del Estado de México. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, de la Academia Mexicana de Ciencias, de la Academia de Ingeniería de México, donde es presidente de la especialidad en Ingeniería Nuclear, miembro de la Academia Internacional de Energía Nuclear y de la sociedad de honor Phi-Kappa-Phi (SNM, 2012)

2.5. El estado del conocimiento de las universidades en México respecto a las líneas de investigación internacionales.

Para obtener información con respecto a las líneas de investigación que se realizan en otros países, al igual que en el anterior apartado, se consultó la base de datos *ELSEVIER-ScienceDirect*. Como se mencionó en la introducción, las universidades no registran artículos publicados para el tema de pequeños y medianos reactores (SMRs), sin embargo en la búsqueda global se reportan publicaciones con los booleanos “*small nuclear reactor*”, en países como Japón, China, India, Estados Unidos, Francia, Rusia, entre otros. La evolución en el tiempo del desarrollo de los SMRs, comparados con los resultados de los artículos de los IES en el eje temático “*nuclear reactor*” se ilustra en la siguiente gráfica 2.5.1.

Gráfica 2.5.1. Comparativo entre la publicación de artículos “*small nuclear reactor*” en el mundo

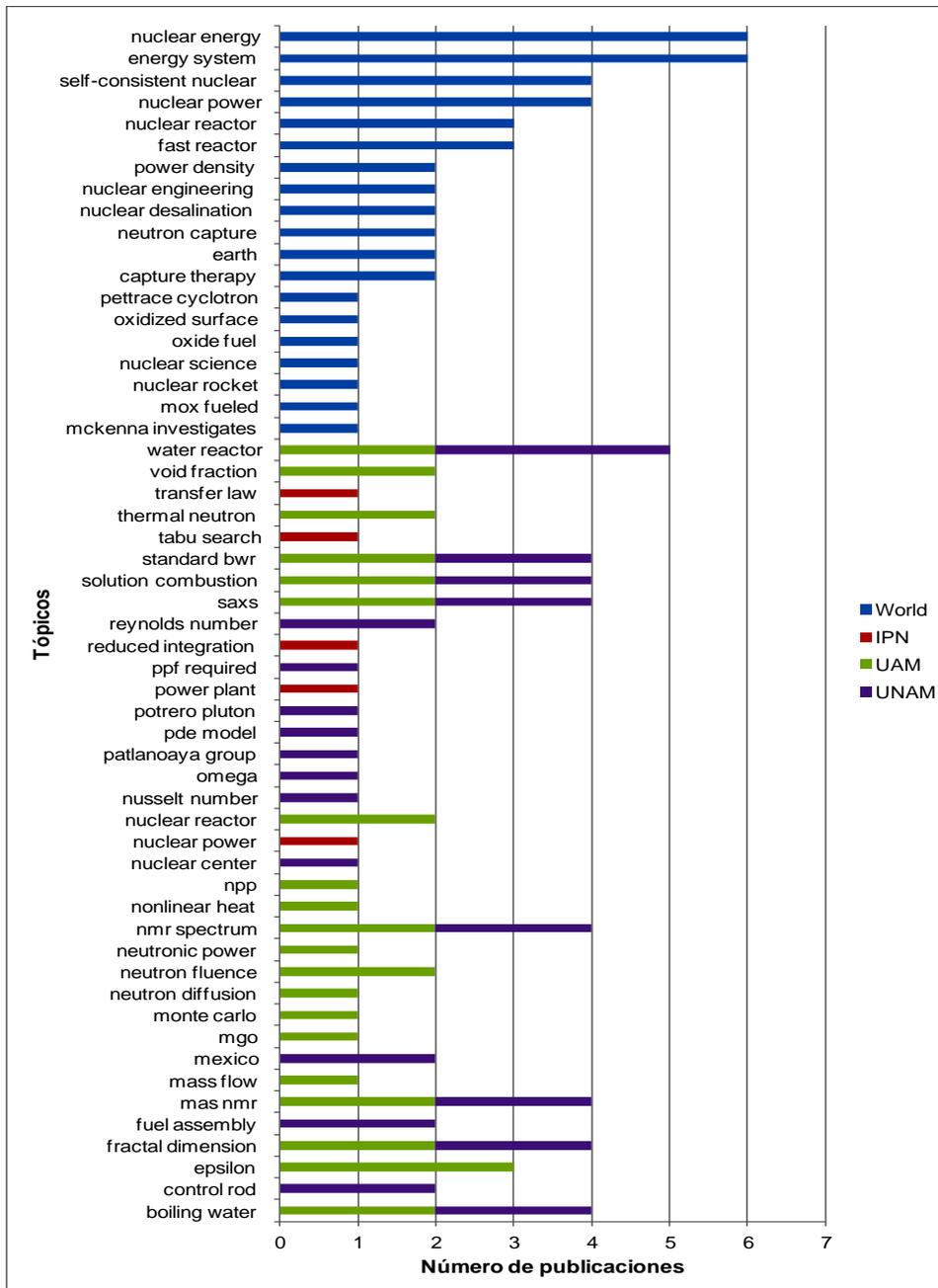


Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect* (2011)

La producción es muy semejante, pero existe una brecha en investigación y desarrollo, ya que no se trata de la misma tecnología. Se aprecia un auge de la producción científica mundial en 1994; posteriormente presenta declive y un comportamiento más irregular. A partir del 2008 las publicaciones científicas de las universidades mexicanas muestran bastante correspondencia con las pautas mundiales, además que la UNAM y en segundo término la UAM se colocan a la cabeza de este indicador. La tendencia marca un

repunte en el 2010, lo que indica que las IES mexicanas tienen una presencia cada vez más importante en el mundo. En la gráfica 2.5.2, se muestran los tópicos de la publicación de artículos, encontrando una diferencia entre los referentes a los SMRs y los publicados por los IES.

Gráfica 2.5.2. Comparativo entre la publicación de artículos “small nuclear reactor” en el mundo contra la de los IES en “nuclear reactor”, para el periodo de 1990-2010.

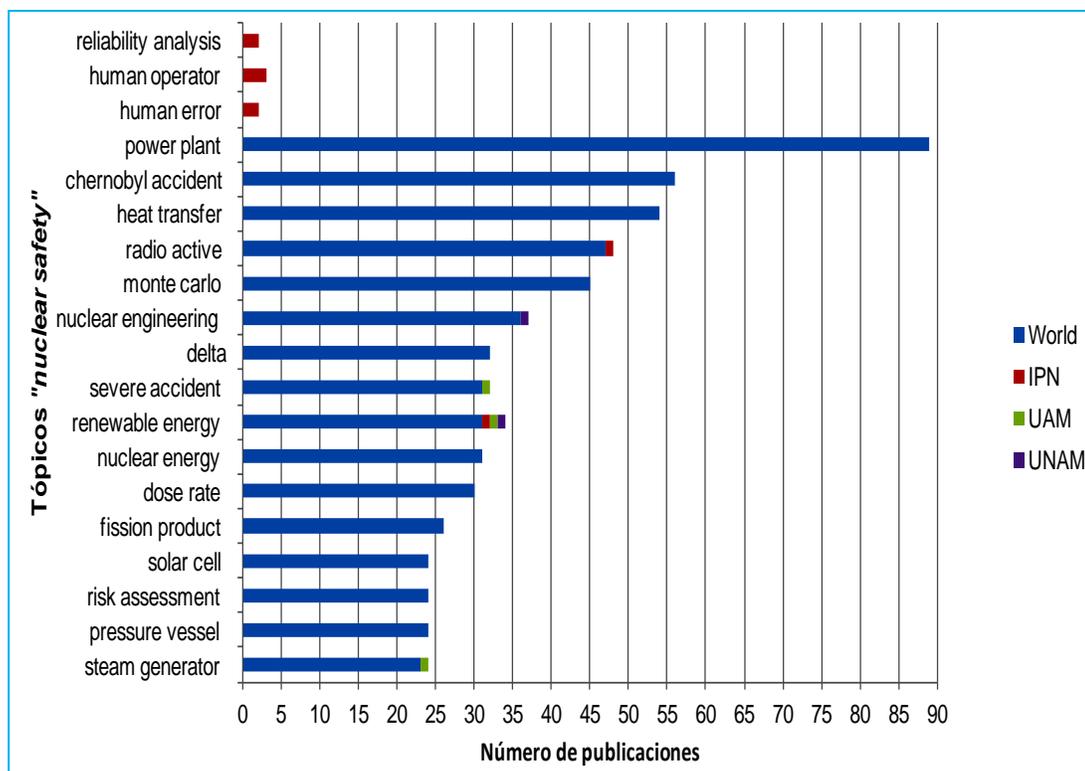


Fuente: Elaboración propia con datos de ScienceDirect (2011)

Las barras azules (*world*) muestran los tópicos para las publicaciones de SMRs, que no tienen coincidencia con los de los IES. Esto indica que son tecnologías diferentes. Mientras las IES, investigan con los sistemas de reactores de agua hirviendo BWR, los SMRs están orientados a otras actividades como la *nuclear desalination* u *oxide fuel*, entre otros tópicos. Por lo tanto las líneas de investigación de los IES, no corresponden a las de los pequeños y medianos reactores nucleares (SMRs), de este tipo, pero si a los SMRs modelo BWR, que es el que tiene el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) para investigación y desarrollo experimental.

Respecto al segundo eje temático “*nuclear safety*” la gráfica 2.5.3, muestra el comparativo de los tópicos para las publicaciones de los IES y la mundial (*world*).

Gráfica 2.5.3. Comparativo entre la publicación de artículos “*small nuclear reactor*” en el mundo contra la de los IES en “*nuclear reactor*”.



Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect* (2011)

Como se observa en la grafica 2.5.3, las publicaciones de las IES coinciden con las mundiales (*World*), con los siguientes tópicos para el eje temático “*nuclear safety*”.

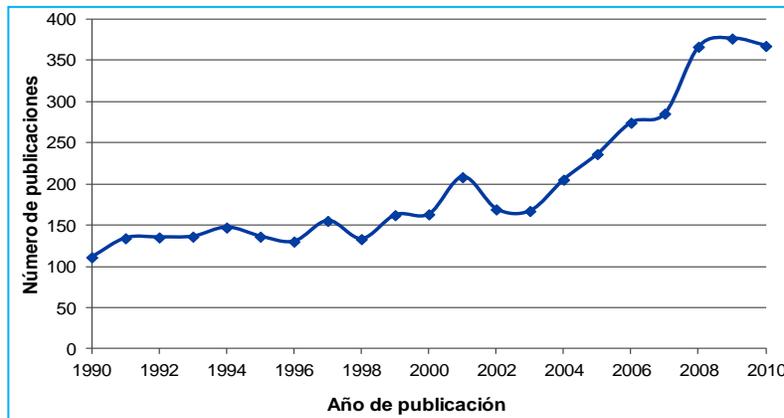
Tabla 2.5.1. Cuadro de coincidencia de tópicos de las publicaciones de las IES y la mundial.

| Eje temático “nuclear safety” | | | | |
|-------------------------------|-------|-----|-----|------|
| Topics | World | IPN | UAM | UNAM |
| <i>steam generator</i> | 22 | 0 | 1 | 0 |
| <i>renewable energy</i> | 30 | 1 | 1 | 1 |
| <i>severe accident</i> | 30 | 0 | 1 | 0 |
| <i>nuclear engineering</i> | 35 | 0 | 0 | 1 |
| <i>radio active</i> | 46 | 1 | 0 | 0 |

Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect* (2011)

El IPN hace énfasis en la probabilidad de las fallas humanas con los tópicos *human operator* y *human error*. Las coincidencias se ubican en *renewable energy*, un tópico que señala a las energías renovables como opción sustituta de la energía nuclear, al no considerarlas lo suficientemente seguras basados en el tópico de *chernobyl accident*. La gráfica 2.5.4, muestra la evolución en el tiempo de este eje temático para la producción mundial.

Gráfica 2.5.4. Evolución en el tiempo de las publicaciones mundiales en el eje temático “nuclear safety”



Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect* (2011)

La publicación mundial de artículos con el eje temático “nuclear safety”, muestra una tendencia ascendente, ya que las políticas internacionales en materia de seguridad nuclear refieren como prioridad un mejoramiento continuo en los procesos en esta materia. Una publicación de la *World Nuclear News* (WNN), dependiente de la *World Nuclear*

Associati6n (WNA), reseña la und6cima reuni6n bienal de la Asociaci6n Mundial de Operadores Nucleares (WANO), celebrada en Shenzhen, China el 25 de octubre de 2011, con aproximadamente 600 participantes, quienes se comprometieron a apoyar a las recomendaciones elaboradas por la Comisi6n WANO post-Fukushima, integrada por 14 directivos de empresas nucleoelectricas que operan en el mundo. A raiz del incidente en las centrales nucleoelectricas de Fukushima, Jap6n, el pasado 16 de marzo de 2011, los miembros de WANO, han aprobado por unanimidad una serie de recomendaciones aprendidas de este evento, para prevenir o mitigar, en el futuro, una situaci6n similar (WNN, 2011)

La Comisi6n present6 cinco recomendaciones para su examen a la junta de gobierno de la WANO y que fueron aprobadas por el consejo: Ampliaci6n del alcance de las actividades de WANO.

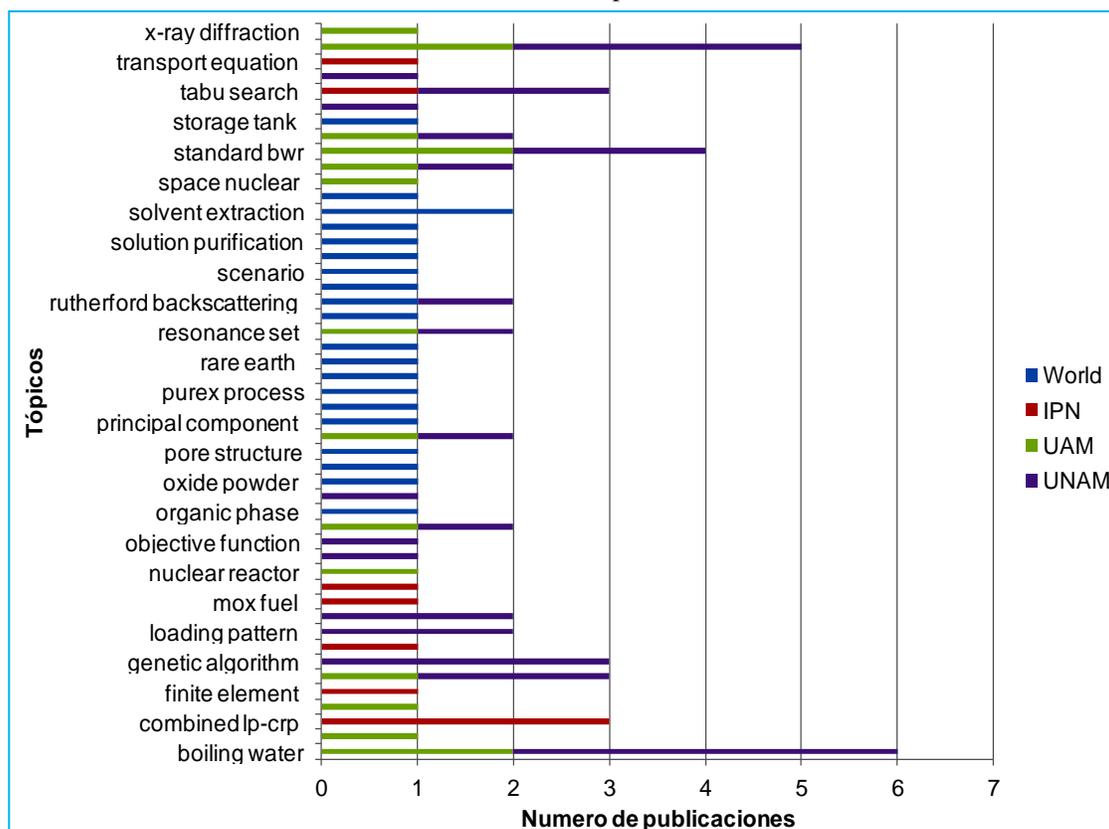
1. Desarrollar una estrategia mundial integrada que d6 respuesta oportuna a eventos fortuitos.
2. Mejorar la credibilidad de WANO como una instituci6n preocupada por la seguridad y eficiencia de las centrales nucleoelectricas que operan en el mundo.
3. Realizar cambios importantes en el proceso de revisi6n por pares de WANO.
4. Mejorar la calidad de todos los productos y servicios de WANO.

Su objetivo es fortalecer las actividades de revisi6n por pares, aumentando la frecuencia de esta actividad, en cada empresa de servicios p6blicos miembros de WANO, en los pr6ximos seis aros. Tambi6n llevar6n a cabo auto-evaluaciones en la sede de Londres y en sus cuatro oficinas regionales (Atlanta, Mosc6, Par6s y Tokio) para mejorar la calidad y consistencia de sus actividades y servicios. Estas revisiones deben realizarse cada cuatro aros. La organizaci6n dijo que va a buscar personal con experiencia adicional en todas sus oficinas con el fin de cumplir con sus objetivos (WNN, 2011). Esto sugiere, que para los pr6ximos aros, aumentar6 la actividad en investigaci6n y desarrollo de los sistemas de seguridad nuclear.

En entrevista [2011], Fran6ois y Espinosa, coinciden en que las tendencias en las l6neas de investigaci6n en combustible nuclear, para los pa6ses que actualmente cuentan con

nucleoeléctricas en operación, se orientan al reprocesamiento del combustible nuclear gastado. La gráfica 2.4.5 muestra las coincidencias en los tópicos recurrentes en las publicaciones.

Gráfica 2.4.5. Comparativo entre la publicación de artículos <“*reprocessing nuclear fuel*”> en el mundo contra la de los IES, en el periodo der 1990-2010.



Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect* (2011)

La coincidencia con la investigación internacional es el tópico *rutherford backscattering*, que realiza la UNAM. Los modelos matemáticos son recurrentes en la investigación de los IES *legendre momento*, *stability analysis*, *transport equation*, *factoring-based method*, entre otros tal y como lo menciona Espinosa (2011).

Haeussler (2010), afirma que el progreso científico y sus beneficios para la sociedad se sostienen en el intercambio de información y en la cooperación de la investigación científica académica, esto se muestra en algunas publicaciones donde investigadores de diferentes IES comparten información o la realizan de manera conjunta. En efecto,

numerosas publicaciones en temas relacionados con el tipo de reactor nuclear que tiene México se realizan en coautoría, por ejemplo *boiling water, water reactor y ppf required*.

El combustible nuclear usado debe de ser reprocesado para extraer los materiales fisionables y de esta forma reducir el volumen de residuos nucleares. Se están desarrollando nuevas tecnologías de reprocesamiento de combustible nuclear, para ser utilizada en reactores de neutrones rápidos en donde se queman todos los actínidos de larga duración. Una cantidad significativa de plutonio recuperado del combustible utilizado se recicla actualmente como *combustible MOX*, y se recupera una pequeña cantidad de uranio para ser reciclado (WNA, 2011), esta tecnología es referenciada en la gráfica 2.4.5, *mox fuel*, reportada por el IPN. Varios países europeos, Rusia y Japón han tenido una política de reprocesar combustible nuclear usado, otros países no han podido adoptar esta tecnología debido a sus políticas del gobierno en el caso de México se evidencia la importancia en la investigación y desarrollo de esta tecnología. Esta política es impulsada por tres factores:

1. La reducción de la radiactividad producto de los desechos nucleares.
2. Disminuir la posibilidad de que el plutonio se desvíe de uso civil hacia usos militares.
3. Asegurar el suministro energético para el futuro, ya que en este ciclo de combustible existe un ahorro de 25 %.

Lo que se ha recabado en este apartado indica que la investigación y el desarrollo de las IES, se orientan a reforzar los conocimientos en torno a los reactores nucleares de *Boiling Water Reactor (BWR)*, que es el modelo que tiene México en su nucleoelectrica de Laguna Verde, Veracruz y el ININ. Existe una coincidencia directa con las investigaciones internacionales de SMRs para los modelos de reactor BWR, y en lo que se refiere a la seguridad y combustible nuclear, por lo tanto las investigaciones de los IES son congruentes con las internacionales. Las IES en México están orientando sus esfuerzos de investigación a el mejoramiento continuo de los procesos de seguridad, combustible y eficiencia, que se llevan a cabo en una central nucleoelectrica que funciona con un reactor del tipo BWR.

2.6. Producción de artículos científicos publicados de las IES en México.

En este apartado se revisa la producción de artículos de las IES referidos, caracterizando la importancia que cada institución le proporciona a la investigación y desarrollo de nucleoelectricas, según las afirmaciones de Del Valle [2011], François [2011] y Espinosa [2011], comentadas en sus entrevistas. La investigación y desarrollo tecnológico responde a diversos aspectos de las políticas de estado y de los mercados tecnológicos (Grimaldi *et al*, 2010). Como se mencionó, las perspectivas energéticas del gobierno federal (SENER, 2010), implican una desaceleración en el crecimiento de la generación de energía eléctrica a través de fuentes nucleares, para los próximos años. Las perspectivas de la WNA (2011), predicen escenarios bajos y altos para la generación futura de las nucleoelectricas. La tabla 2.6.1 muestra las estimaciones para algunos países.

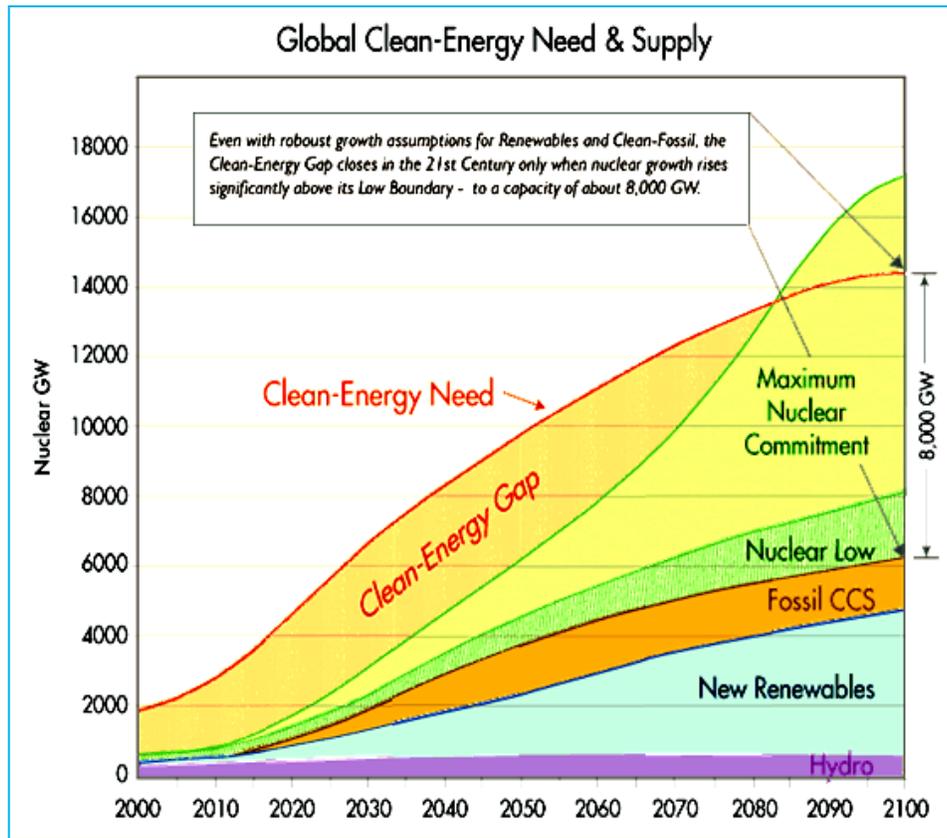
Tabla 2.6.1. Prospectivas del potencial de crecimiento de los programas nucleares nacionales.

| País | 2008 | 2030 Bajo | 2030 Alto | 2060 Bajo | 2060 Alto | 2100 Bajo | 2100 Alto |
|-------------------------|------|--------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| Capacidad en GWe | | | | | | | |
| Brasil | 2 | 10 | 30 | 40 | 100 | 70 | 330 |
| Canadá | 13 | 20 | 30 | 25 | 40 | 30 | 85 |
| China | 9 | 50 | 200 | 150 | 750 | 500 | 2800 |
| Francia | 63 | 65 | 75 | 80 | 110 | 80 | 130 |
| Alemania | 20 | 20 | 50 | 40 | 80 | 80 | 175 |
| India | 4 | 20 | 70 | 60 | 500 | 200 | 2750 |
| Irán | 0 | 3 | 10 | 5 | 30 | 10 | 140 |
| Japón | 48 | 55 | 70 | 80 | 140 | 80 | 200 |
| México | 1 | 2 | 20 | 3 | 75 | 20 | 225 |
| Rusia | 22 | 45 | 80 | 75 | 180 | 100 | 200 |
| Korea del norte y Sur | 18 | 25 | 50 | 45 | 80 | 70 | 145 |
| España | 7 | 8 | 20 | 20 | 50 | 25 | 60 |
| Reino Unido | 11 | 20 | 30 | 30 | 80 | 40 | 140 |
| Estados Unidos | 99 | 120 | 180 | 150 | 400 | 250 | 1200 |
| Total | 317 | 463 | 915 | 803 | 2615 | 1555 | 8580 |

Fuente: Elaboración propia con datos de *The worldwide growth of nuclear power in the 21st Century* (WNA, 2011)

Como se muestra en la Tabla 2.6.1, las perspectivas implican un incremento en la generación de energía nucleoelectrica, basado en factores socio demográfico y económico, que requiere no sólo de la energía nuclear sino de todas las fuentes de generación de energía eléctrica para cubrir la demanda del siglo XXI.

Gráfica 2.6.1. Simulación de la generación de energía eléctrica por fuente para el siglo XXI.



Fuente: Nuclear Century Outlook (WNA, 2011)

La seguridad energética es prioridad para el desarrollo sustentable de México y al contrario de lo que se ha difundido por los medios de comunicación masiva, las nucleoelectricas representan una alternativa viable, confiable y segura, para garantizar un desarrollo integral de la sociedad mexicana. Los esfuerzos que las IES están realizando para garantizar la seguridad energética, responden a las perspectivas que el gobierno federal se propone llevar a cabo en los próximos años. La tabla 2.6.1, muestra las aportaciones en investigación y desarrollo que los IES están realizando en proyectos nucleoelectricos. Los autores que más participan en estas publicaciones se muestran en la tabla 2.6.2.

Tabla 2.6.2. Investigadores con el mayor número de publicaciones con el booleano <nuclear reactor>, el artículo con el mayor número de citas y el año de publicación en el periodo de 1990-2010

| Investigador | Publicaciones | Citas | Artículo | Año |
|--|---------------|-------|--|------|
| Gilberto Espinosa Paredes, DIPH UAM Iztapalapa | 19 | 10 | Theoretical derivation of the interaction effects with an eccentric cell model and void fraction propagation in two-phase flow | 2001 |
| Alejandro Vázquez Rodríguez, ARE UAM Iztapalapa | 7 | 4 | Detecting long-range correlation with detrended fluctuation analysis: Application to BWR stability, | 2006 |
| José Álvarez Ramírez, DIPH UAM Iztapalapa | 4 | 4 | A cascade control strategy for a space nuclear reactor system | 2001 |
| Juan Luis François Lacouture, LAIR FI UNAM | 14 | 18 | A practical optimization procedure for radial BWR fuel lattice design using tabu search with a multi objective function | 2003 |
| Pedro Bosch, IIM UNAM | 10 | 14 | Cesium leaching from γ -irradiated CsA and CsX zeolites, | 2008 |
| Silvia Bulbulian, CECADET UNAM | 10 | 14 | Cesium leaching from γ -irradiated CsA and CsX zeolites, Journal of Hazardous Materials, | 2008 |
| Edmundo del Valle, ESFM IPN | 2 | 6 | BWR control rod design using tabu search | 2005 |
| Joel Hernández, ESFM IPN | 1 | 2 | Design of an over moderated fuel and a full MOX core for plutonium consumption in boiling water reactors | 2002 |

Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect*, 2011. Departamento de Ingeniería en Procesos Hidráulicos, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (DIPH UAM I), Área de Ingeniería en Recursos Energéticos, (ARE UAM I), Laboratorio de Análisis en Ingeniería de Reactores Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (LAIR FI UNAM), Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México (IIM UNAM) Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, Universidad Nacional Autónoma de México (CECADET UNAM).

Las publicaciones con el mayor número de citas en *ScienceDirect*, 2011, se refieren a otras publicaciones registradas en esta base de datos que hacen mención de estos trabajos. Los investigadores Pedro Bosch y Silvia Bulbulian, reportan publicaciones representando instituciones de manera simultánea. Otro concepto fundamental en el análisis bibliométrico es el factor de impacto. Éste factor se calcula generalmente con base en un periodo de 2 años. Se define como el cociente del número de citas recibidas en los dos últimos años entre el número de artículos publicados en los dos últimos años (CONACYT, 2010).

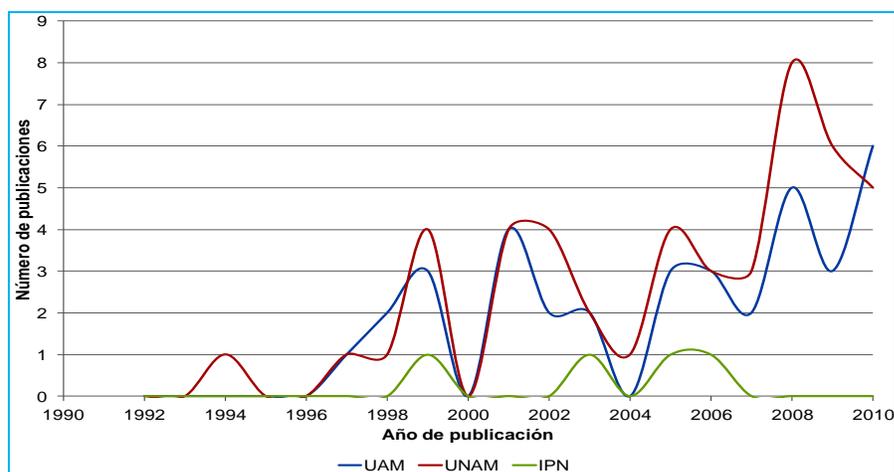
Tabla 2.6.3. Factor de impacto para el bienio 2009-2010.

| Autor | Número de artículos (A) | Número de citas (C) | Factor de impacto (C/A) |
|--|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| Gilberto Espinosa Paredes, DIPH UAM Iztapalapa | 6 | 4 | 0.67 |
| Alejandro Vázquez Rodríguez, ARE UAM Iztapalapa | 1 | 1 | 1 |
| José Álvarez Ramírez*, DIPH UAM Iztapalapa | 32 | 59 | 1.84 |
| Juan Luis François Lacouture, LAIR FI UNAM | 4 | 6 | 1.5 |
| Pedro Bosch, IIM UNAM | 4 | 12 | 3 |
| Silvia Bulbulian, CECADET UNAM | 0 | 0 | 0 |
| Edmundo del Valle, ESFM IPN | 1 | 0 | 0 |
| Joel Hernández, ESFM IPN | 0 | 0 | 0 |

Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect*, 2011.

El investigador de mayor impacto bibliométrico es el Dr. Pedro Bosch. El Dr. José Álvarez Ramírez, reporta 32 publicaciones, algunas de ellas relacionadas con la medicina nuclear y otras como desarrollos matemáticos en sistemas nucleares, relacionados con la nucleoelectrica, se menciona esto ya que muchas de las investigaciones nucleares pueden incursionar en proyectos tecnológicos de diferentes campos de la ciencia. La evolución de las publicaciones de los tres investigadores con mayor número de artículos se muestra en la siguiente gráfica 2.6.2.

Gráfica 2.6.2. Evolución de las publicaciones de los IES para el booleano <nuclear reactor>, en el periodo de 1990-2010.



Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect*, 2011

Se construyó un índice de colaboración a partir del el número de autores por publicación entre el número de publicaciones.

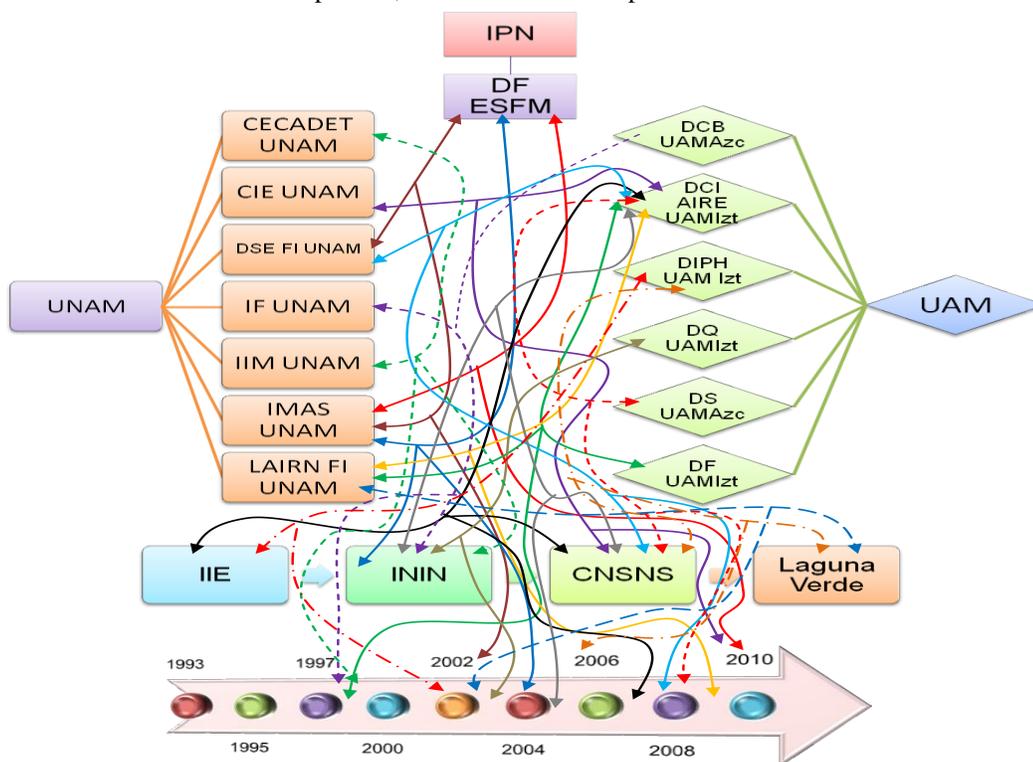
Tabla 2.6.4. Índice de colaboración entre instituciones, para las publicaciones referidas con el booleano <nuclear reactor>

| IES | Nº de publicaciones | Nº de autores | Índice |
|------|---------------------|---------------|--------|
| IPN | 5 | 16 | 3.2 |
| UAM | 36 | 52 | 1.44 |
| UNAM | 47 | 111 | 2.36 |

Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect*, 2011

En la tabla 2.6.4, se construye este índice de colaboración entre instituciones, el número de participantes por cada publicación. Como mencionan en entrevista Del Valle (2011), Espinosa [2011] y François [2011], se realizan trabajos de investigación de manera conjunta entre las instituciones de estas IES y otras dependencias descentralizadas del sector educativo. La siguiente figura 2.6.1, muestra estas interrelaciones en una línea de tiempo.

Figura 2.6.1. Red de conocimiento y vinculación de los IES con institutos y empresas del sector público, en una línea del tiempo.



Fuente: Elaboración propia con datos de *ScienceDirect*, 2011

El significado de los acrónimos de los centros de investigación y dependencias gubernamentales con las cuales se vinculan, referenciados en la figura 2.3.1, están en la lista de acrónimos. En la figura 2.6.1 podemos observar cómo se va conformando una red compleja de conocimiento en torno a la investigación en seguridad, nuevos procesos de tratamiento de materiales radiactivos y en general hacia la energía nuclear en México, fortificando a través de nuevas líneas de investigación que van involucrando nuevos campos de la ciencia.

2.7. Vinculación con las empresas productoras de Centrales Nucleoeléctricas.

En la literatura consultada, no se reportan vinculaciones con empresas desarrolladoras de centrales nucleoeléctricas a nivel internacional. En México la vinculación se realiza con la Secretaría de Energía (2011), a través de la Comisión Federal de Electricidad (2011), que es la encargada del desarrollo nucleoeléctrico en México. La Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde, de la CFE, desde que la primera unidad inició su operación comercial el 14 de agosto de 1990 y la segunda unidad el 12 de abril de 1995 (CFE, 2011), se han formado redes de conocimiento que tienden a ser sistemas complejos (figura 3.3.1), que emulan la complejidad de las redes neuronales, donde la plasticidad neuronal realiza nuevas interconexiones. Es el caso de la incorporación del Instituto de Geología (Segovia *et al*, 1996) y el Centro de Ciencias de la Atmosfera de la UNAM (Salazar *et al*, 1994), que se vinculan con el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Central Nuclear de Laguna Verde (CNLV) y el Departamento de Sistemas Nucleares del ININ, para realizar investigaciones de la calidad del aire en los alrededores de la CNLV.

En la base de datos consultada, *ScienceDirect, 2011*, no se reportan colaboraciones internacionales de los IES con el booleano *<nuclear reactor>*. La central nuclear de Laguna Verde, sí se vincula con organismos internacionales como el Departamento Ciencias Computación e Informática de la Universidad de Granada (Ortiz *et al*, 2004); *Department of Mechanical and Nuclear Engineering, Nuclear Engineering Program, The Pennsylvania State University, USA, and Toden Software, Inc., Tokyo, Japan* (Matsuib *et al*, 2002); entre otros. Esto puede dar pauta para que las IES inicien vinculación internacional con otros centros de investigación y desarrollo en reactores nucleares, ya que

los programas de obras e inversiones del sector eléctrico 2011-2025 (POISE, 2011), considera a las centrales nucleoelectricas como una fuente tecnologica limpia para generar energia. Con el plan de expansion que se propone POISE, es alcanzar la eficiencia tecnologica del parque de generacion electrica, la nucleoelectrica tiene un factor de planta de 0.90 y una vida economica util de 60 años, contra una turbo gas cuyo factor de planta es de 0.13 y una vida economica de 30 años (SENER, 2011). Por lo que esto representa una oportunidad para abrir nuevas lineas de investigacion y desarrollo en las IES, para impulsar los proyectos nucleoelectricos.

François [2011], en entrevista, menciona que no se pueden crear otras lineas de investigacion en reactores nucleares, si no existe una politica de estado que los apoye; en el apartado siguiente veremos cómo se ha fomentado la investigacion y desarrollo de centrales nucleoelectricas en México.

2.8. Apoyos gubernamentales en la investigacion nuclear.

En seguida se presenta una semblanza de la infraestructura cientifica que el Estado mexicano ha provisto a las IES para realizar la investigacion basica, aplicada y experimental en el campo especifico de las centrales nucleoelectricas. En las ultimas decadas la tecnologia se ha mostrado como un factor de enorme influencia en el desarrollo socioeconomico, hasta el punto de que hoy en dia hay que considerarla como un factor decisivo en la produccion, al mismo nivel que los Recursos Humanos o el capital. Esto hace necesario que las empresas establezcan estrategias de innovacion tecnologica que deben abarcar, entre otras cosas, una estrecha relacion con los IES. Para esta colaboracion es preciso que se pase de un Sistema Ciencia-Tecnologia a otro sistema más amplio de Ciencia-Tecnologia-Industria (SCTI), creando estructuras e instrumentos de interrelacion entre los dos actores del sistema (ANUIES, 1996).

Las estructuras e instrumentos de interrelacion entre los actores del Sistema Ciencia y Tecnologia –Industria Nuclear, se normalizan en un marco juridico que establece dos tipos de legislacion: la legislacion nacional y la legislacion Internacional. La legislacion nacional puede ser, en este caso, mexicana o extranjera. La legislacion mexicana derivada de la Constitucion General de la Republica y de las leyes nucleares mexicanas. El Artículo

27 Constitucional en materia nuclear es el que regula la exploración, la explotación y el beneficio de minerales radiactivos, así como el aprovechamiento de los combustibles nucleares, los usos de la energía nuclear, la investigación de la ciencia y técnicas nucleares, la industria nuclear y todo lo relacionado con la misma. El uso de la energía nuclear sólo podrá tener fines pacíficos. El Poder Ejecutivo Federal dictará las disposiciones reglamentarias a que se sujetará el uso tanto energético como no energético de los materiales radiactivos.

El artículo 11, fracciones IX, de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear (LRA27CMN, 1998), otorga a la industria nuclear el rango de utilidad pública y comprende, el diseño, fabricación y empleo de reactores nucleares y fuentes de radiación para la investigación y desarrollo tecnológico. En esta misma Ley (LRA27CMN, 1998), el artículo 13, establece que las actividades nacionales de investigación y desarrollo tecnológico en materia nuclear se orientarán a lograr la autodeterminación científica y técnica, así como el óptimo aprovechamiento de las aplicaciones de los materiales y combustibles nucleares y de los materiales radiactivos, con objeto de fortalecer el avance económico y social de la Nación. El empleo de reactores nucleares se sujetará a las normas que para tal efecto expida la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal y a la vigilancia de la misma. El artículo 15 (LRA27CMN, 1998), concede en forma exclusiva a la Comisión Federal de Electricidad la generación de electricidad a partir del uso de combustibles nucleares. Corresponde a la Comisión el diseño y la construcción de las plantas nucleoelectricas oyendo, al efecto, la opinión del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. La utilización de reactores nucleares con fines no energéticos, sólo se llevará a cabo por el Sector Público y por las Universidades, los Institutos y los Centros de Investigación autorizados conforme a esta Ley.

La producción, el uso y la aplicación de radioisótopos, así como la fabricación de los componentes del sistema nuclear de suministro de vapor, con excepción del combustible nuclear, son actividades prioritarias para el desarrollo económico nacional en los términos del párrafo quinto del Artículo 25 Constitucional. Las actividades mencionadas podrán llevarse a cabo por el sector público, por sí o con los sectores social y privado, previa autorización de la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal.

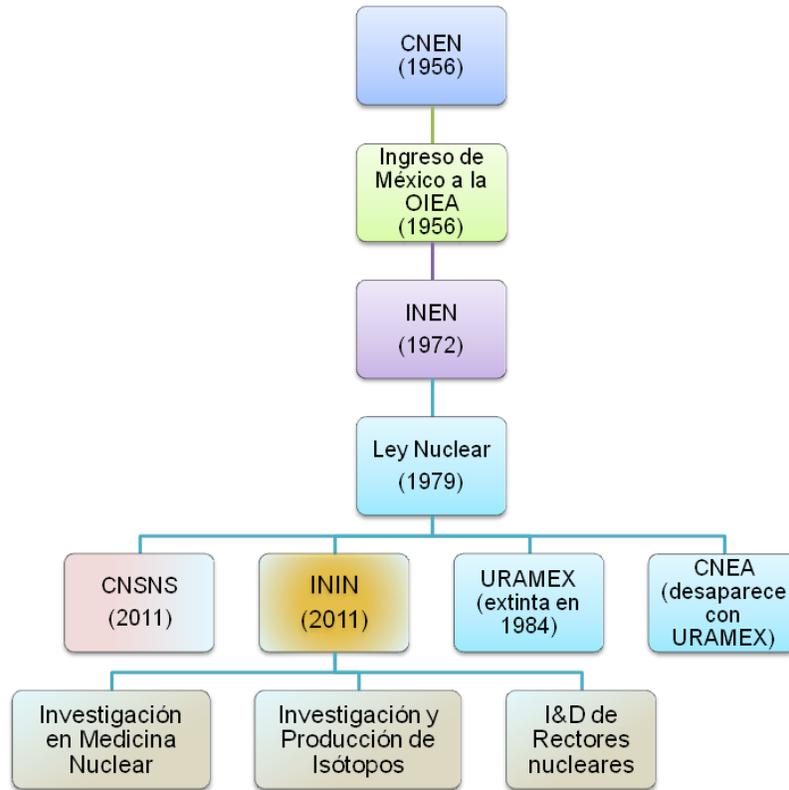
Tratándose de la producción de radioisótopos, mediante la utilización de reactores nucleares, sólo se llevará a cabo por el Sector Público, las Universidades, los Institutos y los Centros de Investigación autorizados conforme a esta Ley (Art. 16, LRA27CMN, 1998). Por lo tanto es la CFE, a través de la Central Nuclear de Laguna Verde, única empresa autorizada en México, para la generación y distribución de energía nucleoelectrónica. Bajo este marco jurídico, la investigación en energía nuclear en México es realizada, principalmente, por los académicos de los IES y los institutos de investigación autorizados como es el caso del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), cuyo surgimiento se explica más adelante.

En México se tiene una experiencia acumulada de 120 años en la aplicación de las técnicas nucleares no energéticas, sin embargo a partir de 1956 el Gobierno Federal dio un fuerte apoyo con la creación de la Comisión Nacional de Energía Nuclear y una inversión importante en infraestructura y equipamiento mayor, así como el apoyo para la formación de recursos humanos altamente especializados, la integración de grupos interdisciplinarios para realizar investigación básica y aplicada, y una mayor difusión al público en general sobre los usos pacíficos de la energía nuclear. A partir de esta fecha las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear han tenido un crecimiento sostenido (Martín del Campo, 2009). A Partir del fin de la Segunda Guerra Mundial, Estados Unidos realizó una intensa campaña para disminuir el rechazo hacia el desarrollo nuclear que los lamentables hechos sucedidos en Hiroshima y Nagasaki produjeron en la percepción social. El Presidente de México Lic. Miguel Alemán Valdés (1946-1952), promulgó la primera Ley Nuclear, llamada también “Ley Alemán”, aprobada el 31 de diciembre de 1948: “Ley que declara reservas mineras nacionales los yacimientos de uranio, torio y los demás sustancias de las cuales se obtengan isótopos utilizables (que puedan traspasar sólidos, líquidos y gases) que puedan producir energía nuclear” (Rojas, 1989).

En México, antes de la creación de la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN), en 1956, ya se realizaban diversas actividades en el área nuclear. Un grupo importante de físicos del Instituto de Física de la UNAM, creado en 1938, fundaron en 1939 la Facultad de Ciencias. En este grupo de investigadores se encontraba el Dr. Nabor Carrillo y crearon el Laboratorio *Van de Graaff*, en 1952, iniciando la investigación en

física nuclear en la UNAM. El Dr. Nabor Carrillo Flores fue rector de la UNAM de 1953-1961 (Palacio de Minería, 2011). En la figura 2.8.4, se muestra cómo este organismo se transforma en un sistema más complejo que a la fecha es el que está en vigor.

Figura 2.8.1. Evolución de los organismos nacionales relacionados con la energía nuclear en México 1956-2011.



Fuente: Elaboración propia con datos de Francois (1988:200) y Rojas (1989:176).

CNEN: Comisión Nacional de Energía Nuclear. **OIEA:** Organización Internacional de Energía Atómica. **INEN:** Instituto Nacional de Energía Nuclear. **CNSNS:** Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. **ININ:** Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. **URAMEX:** Uranio Mexicano, empresa paraestatal de explotación minera de uranio. **CNEA:** Comisión Nacional de Energía Atómica. **I&D:** Investigación y desarrollo.

La medicina nuclear en México inicia en el Instituto Nacional de Nutrición, en 1955, posteriormente el Instituto Nacional de Cardiología y los Laboratorios Clínicos de México incursionan en esta actividad. En este mismo año el Instituto del Seguro Social crea un laboratorio para la aplicación de técnicas nucleares en la medicina que se instaló en Hospital de la Raza (Rojas, 1989:103). En 1967, la CFE, comenzó a realizar análisis de radio trazado de las corrientes marinas en los litorales de Veracruz, frente a la Laguna de Cardel en el municipio de Alto Lucero, lugar donde en 1969, se había decidido construir la

primera nucleoelectrica. La iniciativa del presidente de México, Lic. Gustavo Díaz Ordaz (1964-1970) fundamentó en 1969 la licitación internacional para construir la primera nucleoelectrica en Laguna Verde, Veracruz. La magnitud de esta obra obligó a transformaciones tanto en CNEN como en la CFE; en la CFE se creó una gerencia especial y la CNEN se convirtió, en 1972, en el Instituto Nacional de Energía Nuclear.

A raíz del cierre de URAMEX y la desaparición de la CNEA, se realizaron varios cambios a partir de esta iniciativa, al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, se le retiró la responsabilidad de planear la investigación y desarrollo en ciencia y tecnología nucleares y se dejó de considerar agente exclusivo del Estado mexicano para comercializar radioisótopos y materiales radiactivos, permitiendo que el capital privado se encargara de ello. La iniciativa definía cinco actividades estratégicas en materia de energía nuclear:

- 1) El ciclo del combustible nuclear
- 2) El procesamiento, cuya responsabilidad no quedo definida
- 3) El almacenamiento y transporte de combustible irradiado o desechos producto de su procesamiento
- 4) La fabricación de agua pesada y su uso en reactores nucleares
- 5) La aplicación de la energía nuclear con propósitos de generar vapor para ser utilizado en complejos industriales, desalación de agua y otras aplicaciones

Las actividades estratégicas pasaron a ser básicamente responsabilidad de la Secretaria de Minas Industria y Paraestatales (SEMIP), hoy Secretaria de Energía (SENER). Actualmente el ININ realiza investigación y desarrollo en el área de la ciencia y tecnología nucleares, proporciona servicios especializados y productos a la industria en general y a la rama médica en particular. Mencionamos a continuación algunas de las instalaciones y laboratorios con que cuenta el ININ (2011):

- Reactor nuclear de investigación *TRIGA Mark III*, con flujo de 10^{13} n/cm²/s
- Acelerador de protones *Tandem Van de Graaff*, 100 nA y 12 MeV de energía máxima.
- Acelerador de iones *Tandetrón* con una energía de 2MeV en terminal.
- Acelerador de electrones *Pelletron 40* μ A y 1 MeV de energía máxima.

- Irradiador industrial de ^{60}Co de 440 kCi y razón de dosis de 3.2 kGy/h y dos irradiadores gamma experimentales, con razones de dosis de 0.58 y 0.08 kGy/h, respectivamente.
- Laboratorio de Materiales: corrosión, mecánica de fractura y pruebas no destructivas de materiales.
- Planta de Producción de Radioisótopos: se generan 27 productos marcados con ^{131}I y ^{125}I , generadores de tecnecio ($^{99\text{m}}\text{Tc}$), con actividades de 1 mCi hasta 1.4 Ci y 14 productos para ser marcados externamente. Los usos en medicina contemplan tratamiento, diagnóstico y radioinmunoanálisis.
- Laboratorio de Fluorescencia de Rayos X: se cuenta con un equipo de fluorescencia de rayos X por reflexión total, con geometría tradicional de 45° , cámara de espectrometría de geometría variable con mono cromador, generador de rayos X de 60kV, 60mA y detector de Si-Li de alta resolución, analizador multicanal y programa de adquisición de datos WinTXRF.
- Metales de transición interna: se realizan estudios de identificación, separación y recuperación de lantánidos y actínidos; aplicación en residuos radiactivos y producción de molibdeno.

Esta infraestructura es básica para la I+D en centrales nucleoelectricas en México. Con el apoyo del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), se realizan conjuntamente investigaciones que se complementan, con el uso de simuladores computacionales. La infraestructura es utilizada también por los IES, François (2011), en entrevista, menciona que sus alumnos realizan los experimentos académicos y de investigación en estas instalaciones. Otras instituciones internacionales, españolas o iberoamericanas, realizan investigaciones conjuntas con el ININ. Por otro lado también se realizan investigaciones en medicina nuclear y la cría de isotopos. Esto satura los tiempos de utilización del equipo, pues en la actualidad resulta insuficiente para dar cabida a las múltiples disciplinas de investigación que requieren el uso de estas instalaciones. En entrevista con el François (2011), se comenta la necesidad de otro equipo para la I+D de la energía nuclear.

Los proyectos del ININ se enfocan a la investigación básica, aplicada y de desarrollo experimental, para dar respuesta al sector energético relacionando con la energía nuclear: Su línea de investigación en Seguridad Nuclear y radiológica considera el contar con el personal, el conocimiento y las instalaciones para asesorar en la implantación de las medidas adecuadas de manipulación y resguardo de materiales nucleares y radiactivos, de

la seguridad para el traslado a través del país y en el manejo de contingencias para la protección a la población y medio ambiente.

Con respecto a la línea de investigación relacionada con la tecnología de reactores nucleares, pretende participar activamente con la comunidad internacional en el desarrollo de los reactores nucleares de cuarta generación, así como de realizar investigación básica para el aprovechamiento de la energía nuclear de fusión. Como se pudo observar el apartado 2.3, el mayor número de artículos publicados por las IES, tienen vinculación con el ININ, CNSNS y CFE, a través de la Central Nuclear de Laguna Verde. En los párrafos siguientes realizaremos una semblanza de la infraestructura que el Estado mexicano a provisto a los IES para realizar la investigación básica, aplicada y experimental en el campo específico de las centrales nucleoelectricas.

La Facultad de Ingeniería y el Instituto de Física de la UNAM, reportan en el análisis cuantitativo, vinculaciones con el ININ. El Grupo de Ingeniería Nuclear (GRIN) se incorporó a la Facultad de Ingeniería de la UNAM (FI UNAM, 2011), en 1999, con el fin de realizar y promover la formación de recursos humanos en el campo de la Ingeniería Nuclear y ciencias afines. Actualmente está formado por cinco doctores y dos maestros en ciencias y sus actividades principales de investigación las realizan en el Laboratorio de Análisis en Ingeniería de Reactores Nucleares, ubicado en el Campus Morelos de la Facultad de Ingeniería, en Jiutepec, Morelos. Académicamente, participan activamente, impartiendo asignaturas en el Módulo de Sistemas Energéticos de la Carrera de Ingeniero Eléctrico Electrónico, y en el Posgrado en Ingeniería en Energía (FI UNAM, 2011). Los proyectos vinculados son los siguientes:

- Diseño de combustible y de recargas para la Central Laguna Verde (CLV)
- Implementación de modelos refinados para el análisis y el diseño de núcleos de reactores nucleares en estado estacionario (CLV)
- Apoyo al entrenamiento y capacitación del personal de la CLV en aspectos de física de reactores y administración de combustible.
- Diseño de núcleos de reactores BWR con ciclos de combustible avanzados (CLV).

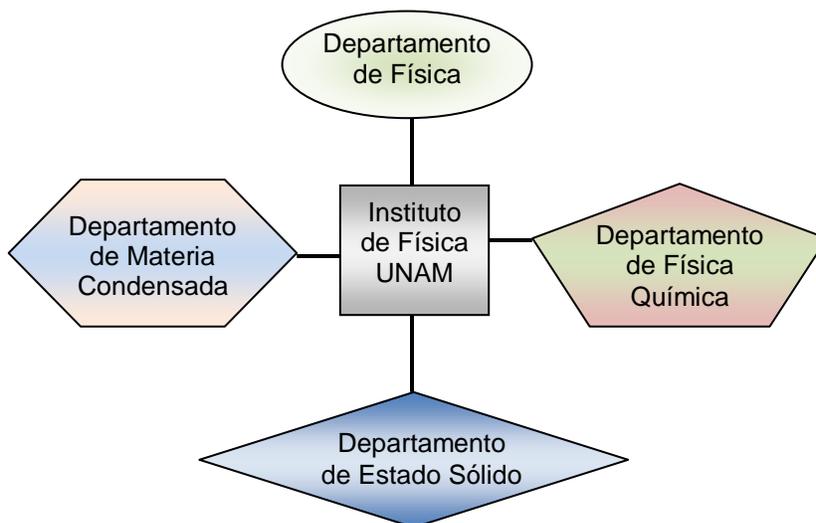
Figura 2.8.2. Instalaciones del Laboratorio de Análisis en Ingeniería de Reactores Nucleares, Facultad de Ingeniería, UNAM. Jiutepec, Morelos.



Fuente: Facultad de Ingeniería UNAM (FI UNAM, 2011)

El Instituto de Física de la UNAM (IFUNAM, 2011), fue creado en 1939. A lo largo de seis décadas ha crecido y madurado como institución académica para convertirse en uno de los centros de investigación en física más importantes del país, adquiriendo un sólido prestigio a nivel nacional e internacional. El Instituto de Física ha contribuido de manera notable al desarrollo de la Física en el país lo cual se refleja la calidad de sus aportaciones científicas y en la publicación de cerca de 5000 artículos, la mayoría en revistas de circulación internacional, además de otros múltiples productos de investigación. En la figura 2.8.3, se muestran los departamentos del IFUNAM.

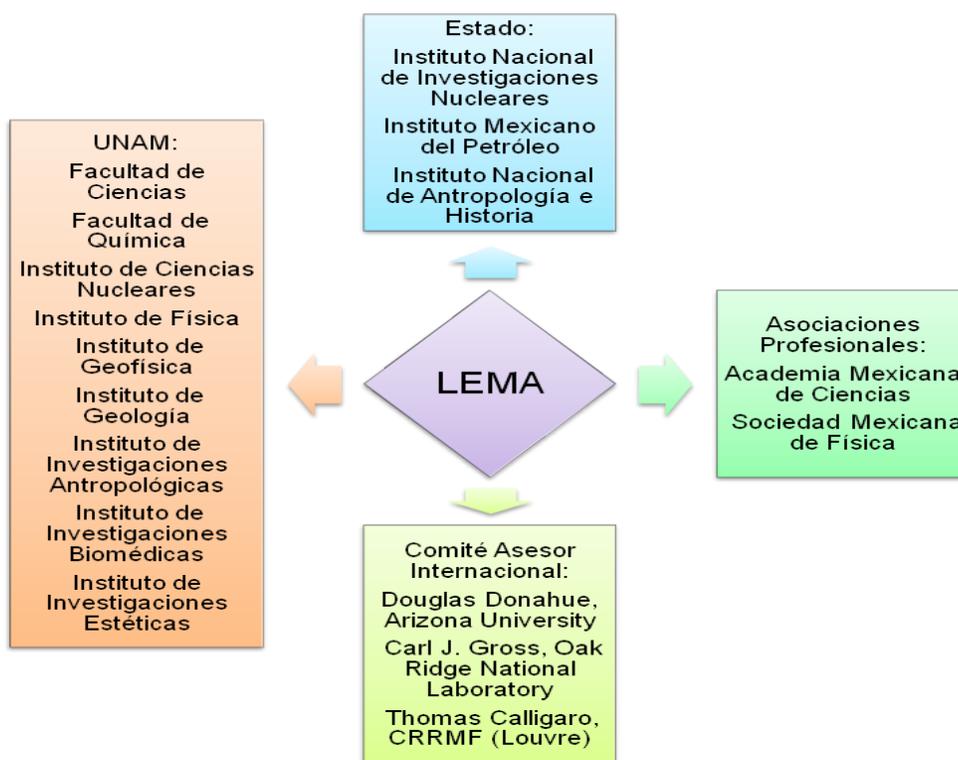
Figura 2.8.3. Departamentos que integran el Instituto de Física de la UNAM (2011)



Fuente: IFUNAM (2011).

Como resultado de lo anterior sus académicos han obtenido un gran número de premios y distinciones. Como la Medalla Gustavo Baz Prada y el Premio de Investigación 2009 en la categoría de ciencias exactas, entre otros (IFUNAM, 2011). La docencia y formación de recursos humanos ha sido una actividad primordial para el Instituto de Física. La participación e impacto que el IFUNAM ha tenido en la Facultad de Ciencias y en el Posgrado en Física a lo largo de más de 70 años es notable. Esta actividad se ha ampliado en los últimos años con la participación activa de nuestros académicos en el Posgrado en Ciencias e Ingeniería de Materiales, así como en otras Facultades y Posgrados. El Instituto de Física ha desarrollado una importante infraestructura de laboratorios en los cuales se cultivan una gran diversidad de técnicas experimentales. A continuación mencionaremos los principales laboratorios con los que cuenta el IFUNAM y alguno de sus proyectos. La figura 2.8.4 muestra la red de conocimiento que el LEMA realiza con otras instancias de investigación científica.

Figura 2.8.4. Estructura de la red de conocimiento del Laboratorio de Espectrometría de Masas con Aceleradores (LEMA), del Instituto de Física de la UNAM (2011).



Fuente: Elaboración propia con información de IFUNAM (2011).

Laboratorio de espectrometría de masas con aceleradores (LEMA). Descripción del proyecto: La espectrometría de masas con aceleradores de partículas (AMS por sus siglas en inglés) es una técnica altamente sensible que permite medir concentraciones hasta del orden de una parte en 10^{16} de diferentes isótopos. LEMA se integra con dos partes principales: 1) Un sistema compacto basado en un acelerador de 1MV, equipado con una fuente de iones mixta (sólidos y gases), un espectrómetro para la inyección a baja energía y un separador isotópico para alta energía; 2) Un laboratorio para preparación de muestras. Las aplicaciones son muy variadas, entre otras: la investigación a nivel molecular (genética), al diagnóstico clínico, las neurociencias, la nutrición, el metabolismo, la farmacocinética.

El más reciente acelerador del IFUNAM es un *Tandem Peletrón* modelo 9SDH-2 de la NEC (*National Electrostatics Corporation*). Este acelerador comenzó su operación en Abril de 1995.

Figura 2.8.5. Acelerador *Tandem Peletron* del Instituto de Física de la UNAM (2011)



Fuente: IFUNAM (2011)

El acelerador de partículas *Peletrón* es un acelerador electrostático de tipo *tandem* de 3 MV, capaz de acelerar una gran variedad de iones en un amplio rango de energías. Estos iones son generalmente empleados en experimentos de Física Nuclear, implantación, Retrodispersión de Rutherford (RBS), PIXE y otras técnicas.

El *Laboratorio del 5.5* del Instituto de Física de la UNAM, cuenta con un acelerador *Van de Graff* 5.5 MV. Este acelerador ofrece haces de iones positivos acelerados a energías desde fracciones de MeV hasta decenas de MeV, para iones múltiplemente cargados. Debido a su fuente de iones positivos (actualmente es una fuente

de radiofrecuencia que ioniza gases), este acelerador tiene la capacidad para producir sin problemas, haces de gases nobles y de iones con electronegatividad negativa (por ejemplo el Nitrógeno). El laboratorio cuenta actualmente con una línea de experimentación en la que se han desarrollado y utilizado diversas técnicas analíticas de origen nuclear (TAON) conocidas como IBA, por sus siglas en inglés (*Ion Beam Analysis Techniques*), que consisten en análisis de:

- Superficies por retro dispersión de iones (*Rutherford Back Scattering*).
- Materiales por fluorescencia de rayos X (*Particle Induced X-ray emission*).
- Concentración de Hidrógeno (*Nuclear Reaction Analysis*).

Esta línea está equipada con:

- Doblete cuadrupolar (enfoque del haz).
- Rejillas (definición del “objeto” en óptica de iones).
- Monitor de perfil de haz.
- Sistema de alto vacío completo.
- Dos cámaras de reacción.
- Sistema de haz al aire.
- Detectores de rayos X.
- Detectores de Silicio para partículas cargadas.
- Electrónica nuclear.
- Cableado para transmitir información a la sala de control.
- Sistema de adquisición de datos por computadora.
- Astrofísica Nuclear.
- Física Atómica (estudio de rayos-X).
- Física de neutrones.

El edificio en el que se alberga este laboratorio fue diseñado para contener la radiación producida durante su operación al interior de la sala de experimentos, incluido el campo de radiación neutrónica. La figura 2.8.6, muestra las dimensiones de este equipo.

Figura 2.8.6. Acelerador *Van de Graff* 5.5 MV, instalado en el Instituto de Física de la UNAM (2011).



Fuente: IFUNAM (2011).

Durante el año 2010, la infraestructura de este laboratorio se amplió notablemente con la instalación de un imán selector que permitirá dirigir los haces del acelerador a líneas adicionales equipadas de acuerdo al tipo de experimentos especializados que en ellas se realizarán. Otros equipos complementarios para la investigación situados en otros departamentos del IFUNAM.

- Acelerador *Van de Graff* 2 MV
- Acelerador *Van de Graff* 0.7 MV
- Microscopio Electrónico de Barrido
- Gotatrón
- 3 laboratorios de Dosimetría
- Laboratorio de Preparación de Muestras
- Laboratorio de Instrumentación Nuclear

Departamento de Física Química

- Catálisis I, II
- Cerámica Electrónica

- Física de cristales líquidos
- Dispersión de Luz
- Fluidos Complejos
- Magnetismo y Superconductividad
- Refinamiento de Estructuras Cristalinas
- Simulación numérica

Departamento de Estado Sólido

- Resonancia Paramagnética Electrónica
- Metalurgia
- Óptica
- Vibraciones y Ultrasonido

Departamento de Materia Condensada

- Laboratorio de Cristales Ultrapuros
- Laboratorio superconductores. y Cuasicristales
- Laboratorio halogenuros Alcalinos
- Rayos X
- Microscopio Electrónico 4000 EX
- Microscopio Electrónico 100 CX
- Procesamiento Digital de Imágenes
- Laboratorio de Preparación de Muestras
- Películas Delgadas y Rocío Piroclítico

El Instituto de Física cuenta con la infraestructura de apoyo necesaria para la operación continua.

- Taller mecánico con máquinas controladas por computadora.
- Laboratorio de electrónica.
- Biblioteca.
- Servicios de Cómputo e Internet.
- Secretaría Administrativa.

El IFUNAM ha generado nuevas instituciones de investigación, docencia y difusión de la ciencia mediante la formación de académicos que se incorporaron a esas dependencias en su etapa inicial y en muchas ocasiones debido a que la creación de estas Instituciones se gestó en el mismo Instituto. Entre otros se pueden mencionar: el Centro de Materiales,

actualmente Instituto de Investigaciones en Materiales; el Centro de Instrumentos ahora Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico; el Centro de Ciencias de la Materia Condensada actualmente Centro de Nano ciencias y Nanotecnología; el Centro de Ciencias Físicas actualmente Instituto de Ciencias Físicas, y el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada. Los últimos tres centros fueron sub dependencias foráneas del IFUNAM hasta constituirse en dependencias universitarias independientes. Adicionalmente el Instituto de Física ha contribuido a la formación de instituciones científicas externas a la UNAM y ha jugado un papel relevante en la definición e implementación de políticas y programas científicos, no sólo a nivel nacional, sino con impacto en Latinoamérica.

El IFUNAM tiene una enorme responsabilidad social, compromiso que se responde al realizar investigación de excelencia y al formar investigadores y especialistas de alto nivel; además se amplía por medio de las tareas de difusión y de vinculación con los sectores de investigación, educación, salud, productivo y el público en general. Con esto se contribuye al desarrollo tecnológico y en general a enriquecer el acervo cultural del país (IFUNAM, 2011).

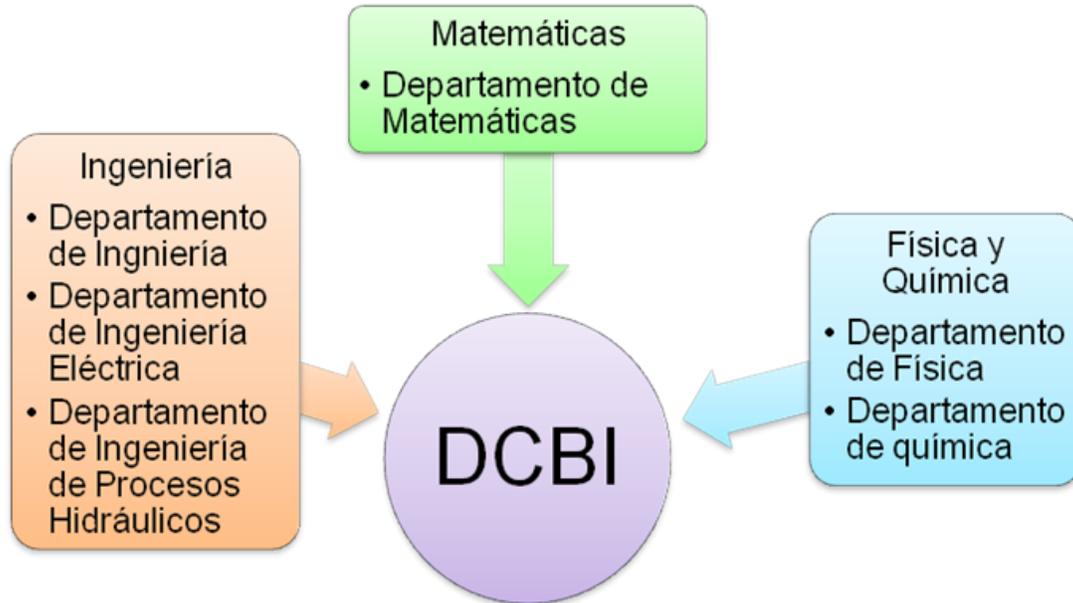
La UAM también ha contribuido en la I+D de proyectos tecnológicos relacionados con la energía nuclear, específicamente con las centrales nucleoelectricas. En el apartado 3.3, en el análisis bibliométrico una de las instancias de la UAM, que más publicaciones reportan es la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la unidad Iztapalapa, a la que nos referiremos en seguida. La creación de la UAM fue a partir de una iniciativa de Ley enviada al congreso de la Unión por el presidente de México Lic. Luis Echeverría Álvarez (1971- 1976), en 1973.

Su primer Rector General fue el Arq. Pedro Ramírez Vázquez, la Unidad Iztapalapa, la primera en iniciar actividades docentes en septiembre de 1974, siendo su primer Rector el Dr. Alfonso Fernández González, y el primer director de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería (DCBI), fue el Dr. Carlos Graef Fernández.

La DCBI de la UAM-I, mantiene entre sus principales objetivos formar profesionales altamente capacitados, generar conocimiento y aplicarlo innovadoramente en las disciplinas que cultiva, mantener un vinculo estrecho entre docencia e investigación y

difundir adecuadamente sus resultados académicos. La figura 2.8.7, muestra los departamentos que integran la DCBI de la UAM-I.

Figura 2.8.7. Departamentos que integran la estructura de la DCBI de la UAM-I (2011).



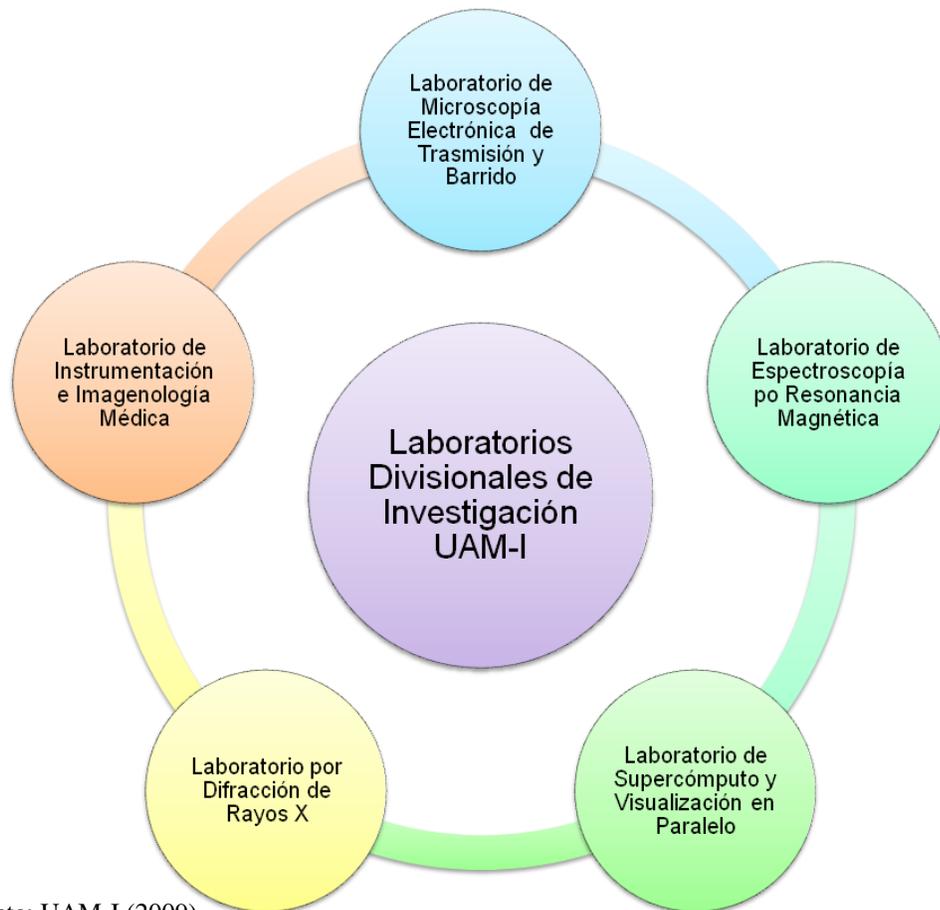
Fuente: UAM-I (2009).

La DCBI ha mantenido una política de actualización permanente en la infraestructura de sus laboratorios de docencia e investigación. Se cuentan con espacios divisionales para los laboratorios de Método experimental, de Química, de Ingeniería de Procesos e Hidráulica, de Ingeniería en Electrónica, y redes de Ingeniería Biomedica y de Computación. Varios de ellos son considerados como los mejor equipados del país, de acuerdo con evaluaciones externas acreditadas (UAM-I, 2009).

La infraestructura de apoyo a la investigación se mantiene actualizada gracias a los apoyos que los investigadores obtienen de diversos organismos de financiamiento a la ciencia y a la tecnología, tanto nacionales como internacionales. En particular se conserva un flujo anual importante por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), aunque también cuentan con múltiples convenios de vinculación con empresas e instituciones privadas. La optimización del uso de los instrumentos científicos ha sido una de las estrategias de los investigadores, conformando los Laboratorios

Divisionales de Investigación. En la figura 2.8.8, se muestran los Laboratorios de Investigación de la DCBI de la UAM-I.

Figura 2.8.8. Laboratorios de Investigación de la DCBI de la UAM-I (2011)



Fuente: UAM-I (2009)

Estos laboratorios albergan equipos con tecnología de vanguardia, y dan atención a la comunidad de la DCBI, a otras divisiones de la propia UAM y a instituciones externas que solicitan. Recientemente dos de estos laboratorios concursaron y obtuvieron apoyos importantes del CONACYT y de la propia UAM para constituirse como Laboratorios Nacionales, cuyo objetivo es dar acceso oportuno y eficiente a esta tecnología y conformar así redes de investigación especializada en el país.

Estos proyectos son: *Centro Nacional de Instrumentación e Imagenología Médica* y *Delta Metropolitana de Cómputo de Alto Rendimiento* (UAM-UNAM-CINVESTAV), que conjuntamente con otras instalaciones de la UAM-I, conforman una sede de gran

impacto científico y social a nivel nacional. La figura 2.8.9, muestra una secuencia fotográfica de los Laboratorios de la DCBI de la UAM-I.

Figura 2.8.9. Laboratorios del DCBI de la UAM-I. En a) Laboratorio de Microscopía Electrónica de Trasmisión y Barrido; b) Laboratorio de Espectroscopia por Resonancia Magnética; c) Laboratorio de Supercómputo y Visualización en Paralelo



Fuente: UAM-I (2009)

El Instituto Politécnico Nacional (IPN) realiza la I+D en energía nuclear en la Escuela Superior de Física y Matemática (ESFM), específicamente en el Departamento de Física (DF), según los resultados bibliométricos del apartado 2.3.

El Consejo Técnico Consultivo General del Instituto Politécnico Nacional autorizó, en su sesión del día 2 de marzo de 1961, la creación de la Escuela Superior de Física y Matemáticas y el establecimiento de la carrera profesional de Licenciado en Ciencias Fisicomatemáticas. Al año siguiente, en 1962, la ESFM inicia actividades en el nivel de posgrado al abrir los cursos de la Maestría en Ingeniería Nuclear. El IPN se convirtió en la única institución que en el país capacitaba a especialistas en este campo emergente de la

industria energética. Por el número y calidad de los investigadores que fueron contratados para este posgrado, al poco tiempo de ofrecer sus cursos fue considerada la mejor maestría en ingeniería en América Latina. La ESFM se ubica en la Unidad Zacatenco del IPN, “Adolfo López Mateos”.

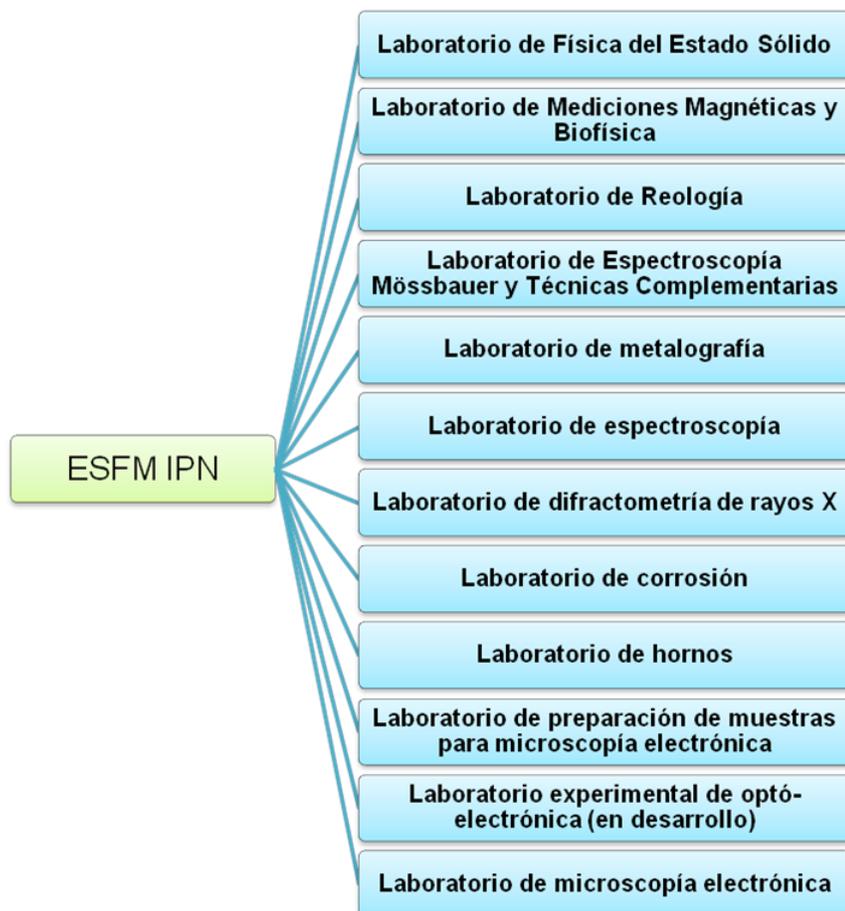
En 1996, la ESFM, solicita el ingreso al Padrón de Programas de Posgrado de Excelencia para Ciencia y Tecnología el Programa de Maestría de Ingeniería Nuclear, el dictamen fue de no aprobada, por no cumplir con el mínimo de miembros de la planta académica de tiempo completo, que se estableció por el Comité de Ciencias Aplicadas en Ingeniería, fuera de cinco. A finales de la década de los 90's, atendiendo al exhorto que hiciera el CONACYT a las instituciones de educación superior para revisar, actualizar y diversificar su oferta educativa, varias instituciones, entre ellas la UNAM y la UAM (que son junto con el IPN los principales referentes en investigación a nivel nacional), realizaron una reforma en sus estudios de posgrado para ofrecer posgrados unificados. La UNAM, en las áreas de Física y Matemáticas, ofrece los posgrados en Ciencias Físicas y en Ciencias Matemáticas respectivamente. Por su parte, la UAM oferta simplemente el Posgrado en Ciencias, incluyendo en él a toda su planta de Profesores investigadores (con doctorado). Lo anterior se traduce, entre otras cosas, que ante los organismos responsables de evaluar su desempeño (CONACYT, ANUIES, entre otras), presentan programas con más de 120 investigadores como en el caso de la UNAM y de alrededor de 50 para la UAM, con una oferta mucho muy extensa.

El esquema adoptado por la ESFM fue la denominada “Unificación del Posgrado”, que integra a las Maestrías en Ciencias en Física, Matemáticas e Ingeniería Nuclear para constituir la Maestría en Ciencias Fisicomatemáticas, así como los Doctorados en Ciencias en Física y Matemáticas creando el Doctorado en Ciencias Fisicomatemáticas. La operación de ambos programas de posgrado inició en enero de 2009 y se encuentran en proceso de ingresar al Padrón Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.

Infraestructura básica está compuesta de 36 salones de clases, 4 aulas de cómputo, laboratorios de investigación de física general y avanzada, de electrónica, termometría (laboratorio acreditado), 121 cubículos para profesores y 50 espacios de trabajo

exclusivamente para alumnos de posgrado y una Biblioteca de licenciatura y posgrado. El posgrado de la ESFM cuenta con 16 laboratorios y equipos periféricos, que se muestran en la figura 2.8.10.

Figura 2.8.10. Laboratorios dentro de la ESFM IPN Zacatenco (2011).



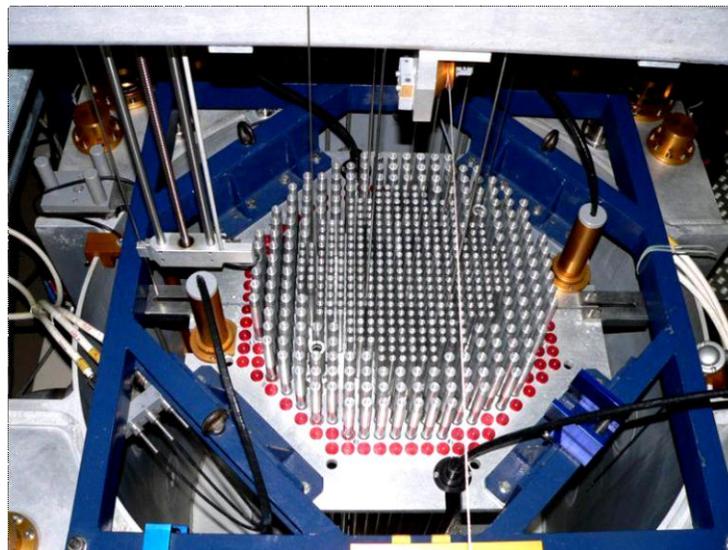
Fuente: ESFM (2011)

Las actividades de investigación se llevan a cabo en laboratorios, los cuales cuentan con el apoyo de un equipo de cómputo con las siguientes características:

- 120 computadoras
- 70 computadoras IBM
- 3 Servidores *Unix, Pentium III*
- 1 Servidor *Toshiba 8 GB*
- 4 Computadoras estaciones de trabajo, *Pentium III*
- 1 *Alpha DecSystem*
- 12 impresoras *LexMark T520 Post Script*.

La unificación tiene una fuerte componente estratégica que permite un posgrado con un gran número de investigadores de prestigio, la mayoría de ellos, alrededor de 54, están en el Sistema Nacional de Investigadores (SNI), en la cual se propicia el trabajo interdisciplinario, creando el marco para ofrecer la opción de un posgrado de alta calidad diferente a la oferta de otros posgrados nacionales. Actualmente (2011), no se están realizando inscripciones de alumnos de nuevo ingreso al "Doctorado y en Ciencias en Física", ni a la "Maestría en Matemáticas", dado que dichos programas forman parte del nuevo programa unificado "Doctorado en Ciencias Fisicomatemáticas" y "Maestría en Ciencias Fisicomatemáticas", dentro del cual el alumno podrá elegir la línea que más le convenga según sus intereses y formación académica previa. En los equipos periféricos se encuentra un Reactor Nuclear subcrítico de agua ligera y uranio natural, que se muestra en la figura 2.8.11.

Figura 2.8.11. Barras de control en el núcleo de un reactor nuclear



Fuente: ESFM (2011).

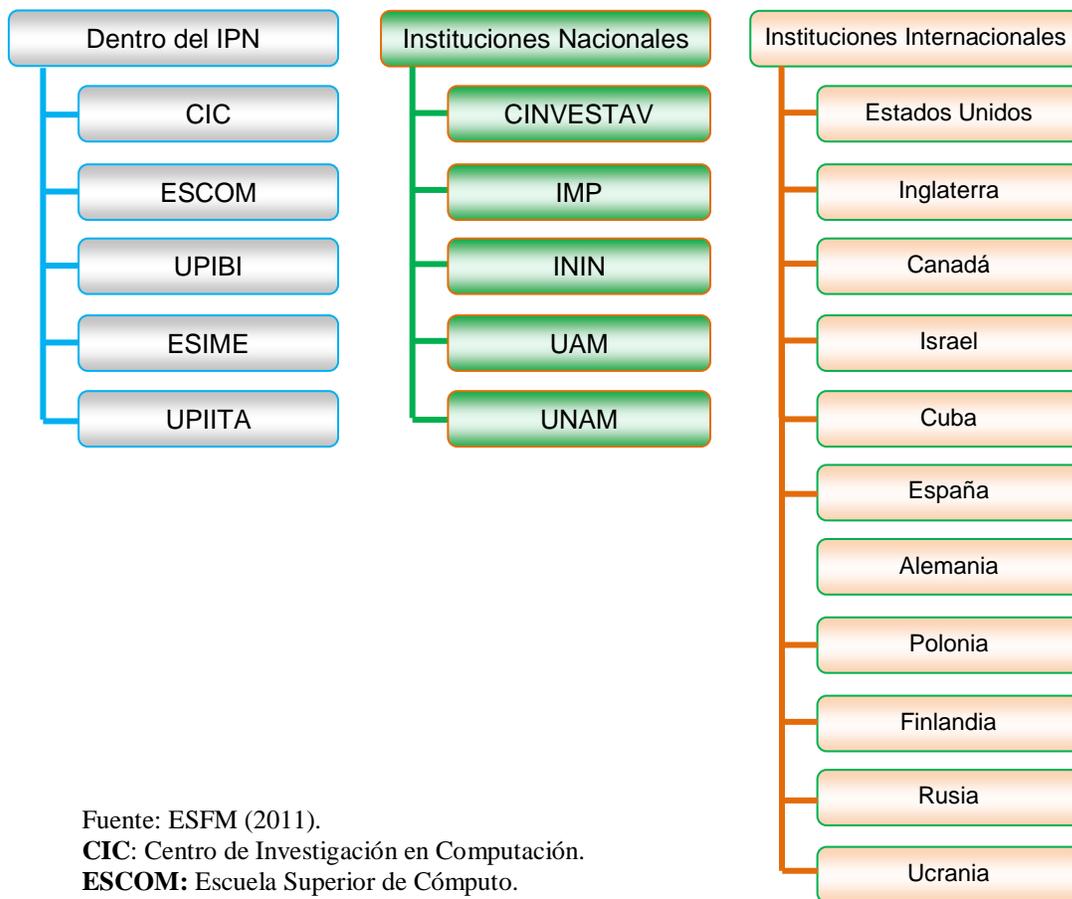
Las líneas de investigación en Física Teórica incluyen, entre otros campos, los siguientes temas:

- Física de Altas Energías: Fenomenología de interacciones electro débiles, Grupo de renormalización y masas de los quarks, Correcciones radioactivas de los decaimientos de bariones. Modelos extendidos.

- Física Matemática: Funciones especiales, invariancia y operadores escalera. Análisis de la ecuación de Landau- Lifshitz. Estudio de objetos extendidos relativistas. Mecánica cuántica supersimétrica.
- Física Nuclear: Estudio de las propiedades de bariones pesados con extrañeza.

La vinculación de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación en al ESFM IPN, se da con diferentes instituciones nacionales y extranjeras.. La figura 2.8.14, muestra esta red de conocimiento.

Figura 2.8.14. Vinculación de la ESFM IPN con diferentes organizaciones.



Fuente: ESFM (2011).

CIC: Centro de Investigación en Computación.

ESCOM: Escuela Superior de Cómputo.

UPIBI: Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología

ESIME: Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

UPIITA: Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas.

IMP: Instituto Mexicano del Petróleo.

CINVESTAV: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN.

En lo que respecta al sector productivo, la vinculación no es tan intensa; dado que esencialmente se realiza investigación básica en la ESFM. Se tienen colaboraciones con

algunas empresas y con el gobierno del Distrito Federal, a través de asesorías y servicios especializados. Lo anterior es posible gracias a la experiencia de los investigadores, así como a lo sofisticado del equipo de laboratorio con que cuenta. Existen proyectos de investigación vinculados con diversas instituciones nacionales, tales como el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE), entre otras. En la literatura consultada no se especifican los nombres de los institutos u organismos internacionales con quien la ESFM se vincula.

De acuerdo a legislación en energía nuclear y las políticas públicas en torno a la seguridad energética a través de la diversidad de las fuentes generadoras de energía, el Estado se ha avocado a proporcionar los apoyos necesarios para proveer de infraestructura tecnológica a los IES, orientados a la investigación y desarrollo de proyectos nucleoelectricos, como lo afirman François [2011] y Espinosa [2011]. El empirismo de Haeussler (2010), que investiga cómo los científicos deciden compartir la información con sus colegas, formando redes de conocimiento, se hace evidente en este análisis, al confirmar que cada dependencia de los IES estudiados, dedicadas al campo del conocimiento de la energía nuclear y su aplicación a proyectos tecnológicos nucleoelectricos, desde su fundación, han evolucionando en sistemas de redes de conocimiento cada vez más complejos.

Grimaldi *et al* (2011), propone un nuevo paradigma sobre el papel de los sistemas públicos de investigación que dio inicio durante la década de los 1970's, en Estados Unidos de Norteamérica, donde los IES participan más abiertamente en los programas de desarrollo socioeconómico. En México la energía nuclear también toma un nuevo rumbo al orientar las políticas de Estado, conforme a los planes de expansión del sector eléctrico, que incursionan en los proyectos nucleoelectricos, es el caso de Laguna Verde, donde los IES son incluidos.

Con esta evidencia podemos concluir que el estado mexicano provee de ciertos insumos científicos y tecnológicos para la investigación y desarrollo en energía nuclear derivando en proyectos tecnológicos nucleoelectricos. En el Capítulo 3, mostraremos cual

es el gasto en I+D, que invierte el Estado para los proyectos en energía nuclear y si estos son suficientes, realizando un comparativo con universidades internacionales en la producción científica y tecnológica. Se puede afirmar que la infraestructura puede servir tanto para diversificar la investigación nuclear en México, como para incursionar en el desarrollo tecnológico de SMR, siempre y cuando los proyectos tecnológicos de esta índole estén dentro de la cartera de las prospectivas tecnológicas de Estado.

Capitulo 3.

Los presupuestos asignados a las IES para la investigación y desarrollo nucleoelectrico.

Cuanto más perfecto es el conocimiento tanto más perfecto es el amor

San Agustín

El Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (2011-2025), (POISE), con base en el artículo 36 bis de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, planifica a corto y largo plazo, las mejores opciones de inversión y producción de energía que permita satisfacer la demanda futura de electricidad a un costo mínimo y con un nivel adecuado de confiabilidad y calidad. Las centrales nucleoeeléctricas están consideradas en el bloque de las energías limpias, con una vida económica de 60 años, casi el doble de cualquier otro tipo de fuente generadora de electricidad, sin embargo, las políticas de financiamiento están más enfocadas en este momento a las fuentes de energías renovables, basados en la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE). La participación de la tecnología nuclear disminuirá su porcentaje de capacidad de generación para el servicio público de 2.6% al 2.0% en el periodo de 2009-2025. Es decir no se proyecta un crecimiento nucleoeeléctrico en este periodo (POISE, 2010).

El Informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), sobre la Ciencia 2010 (UNESCO, 2010), asegura que un factor positivo que distingue a la UE de otras muchas regiones es su disposición a reconocer que sólo puede mejorar sus resultados en materia de ciencia, tecnología e innovación y de I + D, unificando las capacidades de los Estados Miembros, actitud que ha hecho surgir varios organismos y programas europeos multilaterales, como la Organización Europea de Investigaciones Nucleares (CERN), en que los distintos países colaboran, entre ellos México, concebidos para estimular la investigación en la industria.

EUREKA es un programa de cooperación tecnológica entre las naciones europeas, abierto también a países no comunitarios, como México. Son proyectos que deben desarrollar nuevos productos, procesos o servicios orientados al mercado, creando una colaboración entre empresa, universidades y centros de investigación, la empresa decide el objetivo del proyecto, sin existir restricciones temáticas, todas las tecnologías tienen cabida, siempre que el proyecto tenga un carácter innovador. Eureka avala los proyectos aprobados mediante un "sello de calidad y facilita la financiación pública y/o privada. Eureka puede fomentar el desarrollo de proyectos en áreas tecnológicas estratégicas (Segovia, 2011). Con este tipo de programas existe la posibilidad de crear un desarrollo

transversal para el sector nucleoelectrico en México, como lo hacen entre otros países Alemania y Francia, que veremos como se realiza la colaboración en la I+D del sector nucleoelectrico de la región e incursionan productos innovadores competitivos al mercado mundial, de igual forma como se han unido estratégicamente Japón y Estados Unidos. De ahí la necesidad de fortalecer la gestión tecnológica.

Canadá que se ha visto menos afectado por la recesión de la economía mundial que los Estados Unidos de América o Europa, gracias a la fortaleza de su sistema bancario y a un mercado inmobiliario que evitó muchos de los excesos del país vecino. Además, la baja tasa de inflación, unida a los ingresos derivados de sus abundantes recursos naturales, ha amortiguado el impacto de la recesión global en la economía del país, permitiendo invertir fondos a proyectos nucleares, otorgando becas postdoctorales y financiación a la investigación en términos más generales (UNESCO, 2010).

Bajo este escenario, las aportaciones de las IES, a la investigación y desarrollo nucleoelectrico en México, referenciadas en el análisis bibliométrico del capítulo 2, muestran un apego a las líneas de investigación internacionales y dentro de las políticas públicas y de estado para dar seguimiento a los programas de mantenimiento y expansión del sector nucleoelectrico en México en el futuro. La producción científica y tecnológica (CyT) de las IES, es lograda por los esfuerzos que el Estado mexicano realiza para dotar con una infraestructura tecnológica suficiente para el logro de esta actividad de I+D, como lo hemos mostrado en el capítulo 2.

En este capítulo contrastaremos esta producción CyT, con la inversión que realiza el Estado en investigación y desarrollo (I+D) en los IES y la compararemos con los países que cuentan con el mayor número de nucleoelectricas en el mundo, Estados Unidos de Norteamérica con 104, Francia con 59, Japón 54, Rusia 31, Corea 20 y Canadá 18. Finalmente analizaremos hacia donde se orienta el mercado tecnológico a través de un análisis de patentes, y cuáles son las posibilidades de que México pueda ingresar a este mercado.

Cabe mencionar que se realizaron esfuerzos para obtener información desagregada sobre los proyectos de investigación y desarrollo nucleoelectricos de los IES, pero el IFAI

y CONACYT se reservan esta información por ser de carácter estratégico para el país. Las IES no cuentan con bases de datos específicas, teniendo los mismos problemas para obtener información fidedigna, tal y como lo mencionan las aportaciones de Grimaldi et al (2010) y Crespi et al (2010), en el capítulo 1 de esta investigación. Para salvar este inconveniente se realizó una estimación del financiamiento a través de una proyección del gasto en investigación y desarrollo del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, órgano oficial para la investigación nuclear en México, promediando los costos del financiamiento de proyectos vinculados con la Comisión Federal de Electricidad, encargada de la producción nucleoelectrica. Para esto se revisó el historial de 2005-2010, de los proyectos sectoriales, mixtos e institucionales del CONACYT, encontrándose solamente uno en los casos de éxito del CONACYT (2006). Este caso de éxito nucleoelectrico, detallado en el siguiente apartado tiene un impacto socioeconómico que aún las políticas públicas no han puesto en marcha.

3.1. Países y universidades internacionales que más aportan conocimiento en centrales nucleoelectricas y las tendencias de la investigación.

Para ubicar en el contexto de los esfuerzos de los gobiernos y las universidades en la investigación y desarrollo de proyectos tecnológicos relacionados con la energía nuclear, se proporciona un breve análisis de la producción científica internacional.

A través de los años, la producción científica y tecnológica ha sido medida principalmente por metodologías y cuantificaciones bibliométricas, cienciométricas y en años recientes por la webmetría. Estos parámetros han permitido conocer cuestiones tales como el grado de apropiación social de la ciencia y la tecnología y sus repercusiones, los canales más eficaces para la difusión, las formas de estimular a los jóvenes para la investigación en los diferentes campos de la ciencia y los cambios en la percepción pública hacia las cuestiones científicas y tecnológicas (CONACYT, 2009).

Asimismo, en los últimos años se han desarrollado otros indicadores en la materia, aquellos que evalúan y analizan cuantitativamente la actividad de los portales universitarios a través de Internet y los contenidos de las instituciones en la red, así como el grado de especialización académica. El catálogo utilizado por el *Ranking* Mundial de

Universidades en la WEB (RMUW), incluye universidades y otras Instituciones de Educación Superior por recomendación de la UNESCO. El RMUW analiza cuatro factores:

- Tamaño (S). Número de páginas obtenidas a partir de los motores de búsqueda.
- Visibilidad (V). El número total de enlaces externos recibidos.
- Ficheros ricos (R). Los archivos son seleccionados tras valorar su relevancia en el entorno académico y editorial, así como su volumen en cuanto al uso con respecto a otros formatos: Adobe Acrobat (.pdf), Adobe PostScript (.ps), Microsoft Word (.doc) y Microsoft Powerpoint (.ppt).
- Scholar (Sc). Google Académico provee el número de artículos y citas de cada dominio académico.

Estos factores tratan de captar la calidad y los puntos fuertes académicos e institucionales, mientras que con otros se intenta fomentar la publicación web. El RMUW es desarrollado y operado por el Laboratorio de Cibermetría del Centro de Información y Documentación Científica (CINDOC) de España. Se basa en el análisis cuantitativo de los accesos y contenidos. De las primeras 50 instituciones listadas en el RMUW, 40 (80%) de ellas son estadounidenses, el Instituto Tecnológico de *Massachussets*, la Universidad de *Harvard*, la Universidad de *Stanford*, y la Universidad de *Berkeley* en California han sido por varios años las instituciones más importantes de acuerdo con los estándares medidos por este *ranking*.

A través del RMUW las instituciones muestran la importancia de su actividad – académica, de investigación y contenido– registrado en sus respectivos portales en la web, como reflejo de su desarrollo económico y tecnológico, los Estados Unidos poseen los institutos más activos dedicados a la Investigación y Desarrollo Experimental (IDE). En la tabla 3.1.1, muestra la posición en el RMUW, de las IES públicas UNAM, IPN y UAM, de un consolidado de doce mil universidades en todo el mundo.

Tabla 3.1.1. Ranking Mundial de Universidades en la WEB (RMUW), UNAM, UAM e IPN, 2011.

| RANKING MUNDIAL | IES | POSICIÓN | | | |
|-----------------|---|----------|-------------|----------------|---------|
| | | TAMAÑO | VISIBILIDAD | FICHEROS RICOS | SCHOLAR |
| 49 | UNAM | 23 | 108 | 38 | 10 |
| 593 | UAM | 532 | 737 | 525 | 662 |
| 616 | IPN | 969 | 614 | 789 | 654 |
| 737 | Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) | 224 | 553 | 422 | 2,421 |

Fuente: Elaboración propia con datos de *Ranking Mundial de Universidades en la WEB (RMUW, 2011)*

Las estadísticas sobre patentes nos proporcionan información acerca de las áreas de investigación de un país, particularmente sobre las tendencias tecnológicas que se van desarrollando con el tiempo. Los indicadores de patentes se basan principalmente en las solicitudes de éstas. La Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) define a una patente como el derecho exclusivo concedido a una invención, es decir, un producto o procedimiento que aporta, en general, una nueva manera de hacer algo o una nueva solución técnica a un problema.

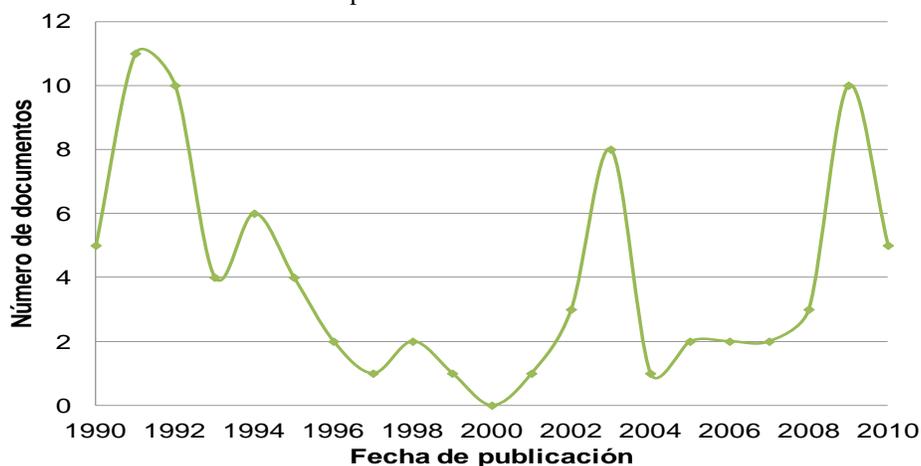
En México, las estadísticas sobre patentes son generadas por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), en tanto que los datos de patentes solicitadas y concedidas a mexicanos en todo el mundo, tienen como fuente la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), con excepción de aquellas que se solicitan y conceden en México, para lo cual se utilizan las cifras del IMPI. Los indicadores relativos a comparaciones internacionales se obtienen de la publicación de la OCDE *Main Science and Technology Indicators 2009-1*. Asimismo, ambas fuentes tienen rezagos de información, por lo que se presentan las cifras más recientes a que se tuvo acceso (IGECT, 2009).

La Clasificación Internacional de Patentes (CIP), establecida por el Arreglo de Estrasburgo de 1971, prevé un sistema jerárquico de símbolos independientes del idioma para clasificar las patentes y los modelos de utilidad con arreglo a los distintos sectores de

la tecnología a los que pertenecen. La Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI, 2011), relacionada con la CIP, facilita la búsqueda de información en patentes relacionadas con tecnologías específicas, consolidadas, las más recientes, y dar con posibles asociados con miras a la realización de nuevas actividades de I+D y a la explotación comercial.

La búsqueda de patentes se realizó con el programa *Patent Integration*, en la base de datos de la *United States Patent and Trademark Office's* (USPTO), utilizando los boléanos <"small nuclear reactor">, <"nuclear safety"> y <"nuclear fuel">. Los 83 resultados obtenidos para el boléano <"small nuclear reactor">. La gráfica 3.1.1, muestra la evolución de las publicaciones de las patentes en el periodo de 1990-2010.

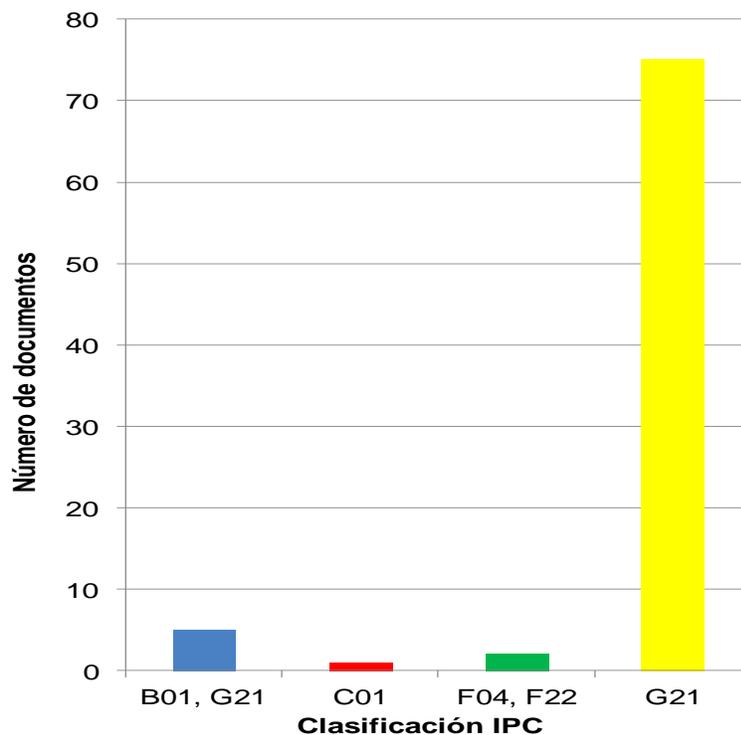
Gráfica 3.1.1. Número de patentes publicadas por año, para el booleano <"small nuclear reactor">, en el periodo de 1990-2010.



Fuente: Elaboración propia con datos de USPTO (2011) obtenidos con el programa *Patent Integration*.

La CIP divide la tecnología en ocho secciones, con unas 70.000 subdivisiones, cada una de las cuales cuenta con un símbolo que consiste en números arábigos y letras del alfabeto latino. La sección G, enlista las patentes relacionadas con la Física, la clase G21, se refiere a la Física nuclear, comprende 14 clases y 80 subclases. Las patentes pueden estar clasificadas por más de una sección como observamos en los resultados de la búsqueda <"small nuclear reactor">, que se muestran en la siguiente gráfica 3.1.2.

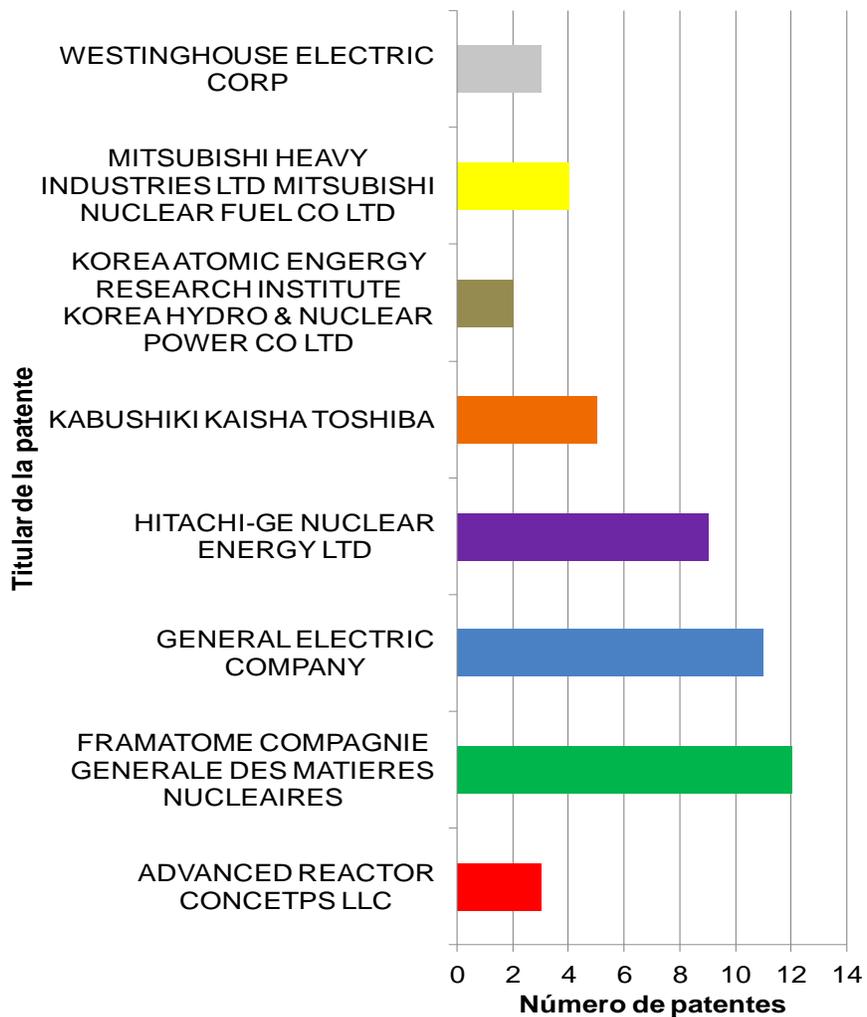
Gráfica 3.1.2. Clasificación de las patentes reportadas en la búsqueda de <"small nuclear reactor">, del periodo 1990-2010.



Fuente: USPTO (2011).

La clasificación G21, es la clasificación con el mayor número de patentes reportadas, algunas otras patentes son clasificadas en otras secciones como por ejemplo la B01, que se refiere a las técnicas industriales diversas, específicamente a procedimientos o aparatos físicos o químicos en general; la clase F04, clasifica las tecnologías de maquinas de líquidos de desplazamiento positivo, bombas para líquidos o para fluidos compresibles; la clase F22, es para las tecnologías que producen vapor, y la clase C01, son las tecnologías relacionadas con la química orgánica. Las empresas con el mayor número de patentes publicadas se muestran en la gráfica 3.1.3.

Gráfica 3.1.3. Empresas con el mayor número títulos de patentes con el booleano < "small nuclear reactor">, de 1990-2010.



Fuente USPTO, (2011).

El resto de las patentes reportadas pertenecen a empresas con una sola publicación. La nacionalidad de las empresas titulares del mayor número de patentes coincide con los tres principales países con el mayor número de nucleoelectricas, Estados Unidos de Norteamérica, Francia y Japón. La federación Rusa y Canadá no presentan patentes de manera individual.

En noviembre de 2006, se realizó una alianza estratégica entre *Hitachi* (80.01%) y *General Electric* (19.99%), con el fin de unir fuerzas para construir, mantener y promover

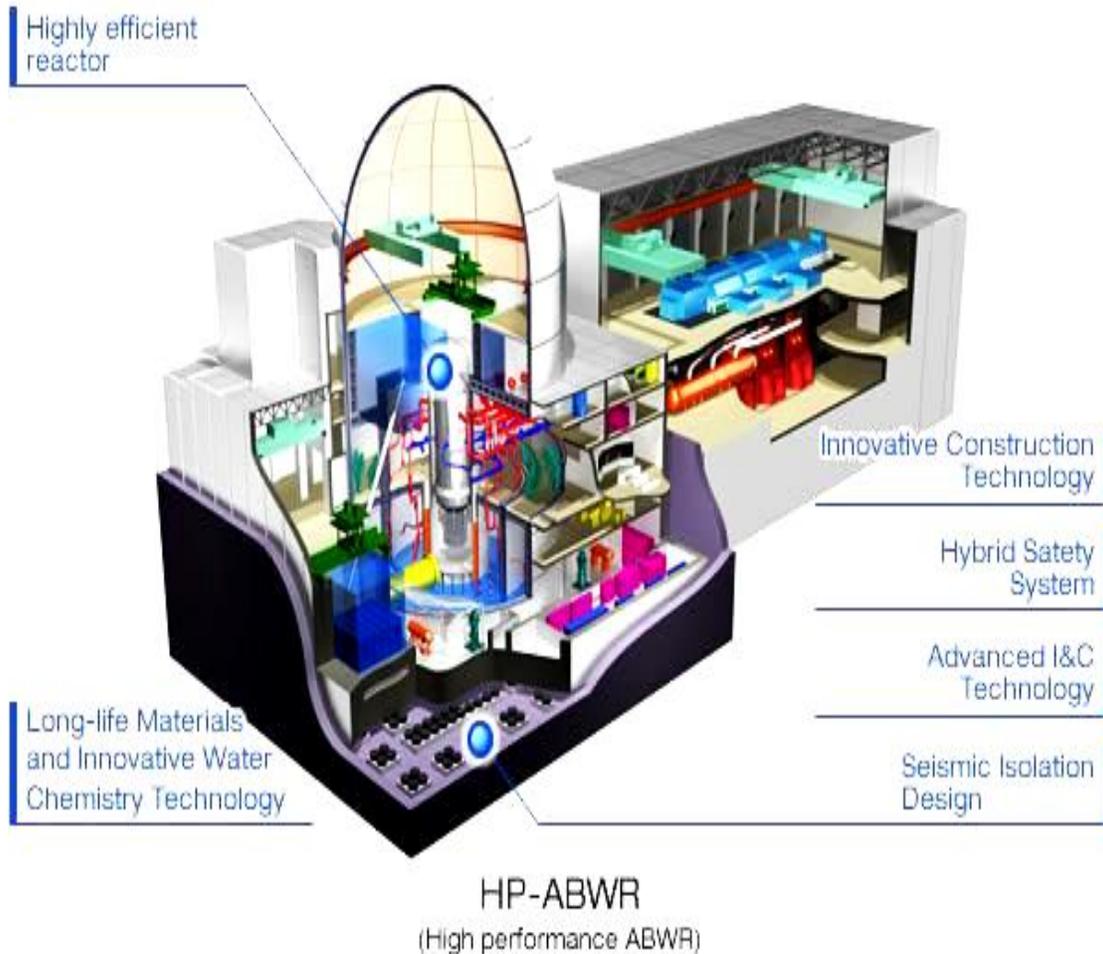
plantas de energía nuclear en todo el mundo. *Hitachi-GE Nuclear Energy Ltd.* (HGNE), con su sede en Japón, hereda el recurso de *know-how* de la experiencia acumulada desde su fundación en 1950, y pretende crear nuevos conocimientos para la globalización de negocio nuclear.

Sus contrapartes de América del Norte, *GE-Hitachi Nuclear Energy Canada Inc.* (GES-C) y *GE Hitachi Nuclear Energy* (GEH), comenzó su negocio en Canadá y los Estados Unidos de Norteamérica, el 4 de junio de 2007. HGNE, establece una base sólida para crear sinergias con GES-C y GEH, el objetivo es proporcionar a la sociedad servicios de alta calidad en todas las fases del negocio de la energía nuclear: I & D, diseño, fabricación, construcción, ejecuciones de prueba, operación y mantenimiento del sistema de reactores de agua ligera, reactores rápidos, criador de isótopos y sistemas de ciclo de combustible nuclear (HGNE, 2011).

HGNE tiene planes para la construcción de al menos 100 nuevas plantas nucleoelectricas en las próximas dos décadas. Una cuarta parte de ellas se construirán en Estados Unidos y se tiene programado que inicien operaciones en 2020. Se prevé que se construyan muchas más en naciones que están creciendo rápidamente -como China y la India- para satisfacer sus necesidades energéticas en medio de los altos precios del petróleo y la gasolina. Tanto Hitachi como GE han trabajado tradicionalmente con Toshiba en los reactores de agua hirviendo y es posible que ahora esa relación triangular se disuelva.

El proyecto de desarrollo HGNE, para la próxima generación de reactores de agua ligera, es una iniciativa nacional que reúne a gobiernos, empresas de servicios públicos de energía eléctrica, fabricantes y otros, para trabajar en un reactor de agua ligera de reemplazo, que se prevé la construcción masiva alrededor de 2030. El proyecto establecerá un concepto óptimo de planta que combina seis tecnologías clave. La figura 3.1.1, muestra el diseño de la planta nucleoelectrica.

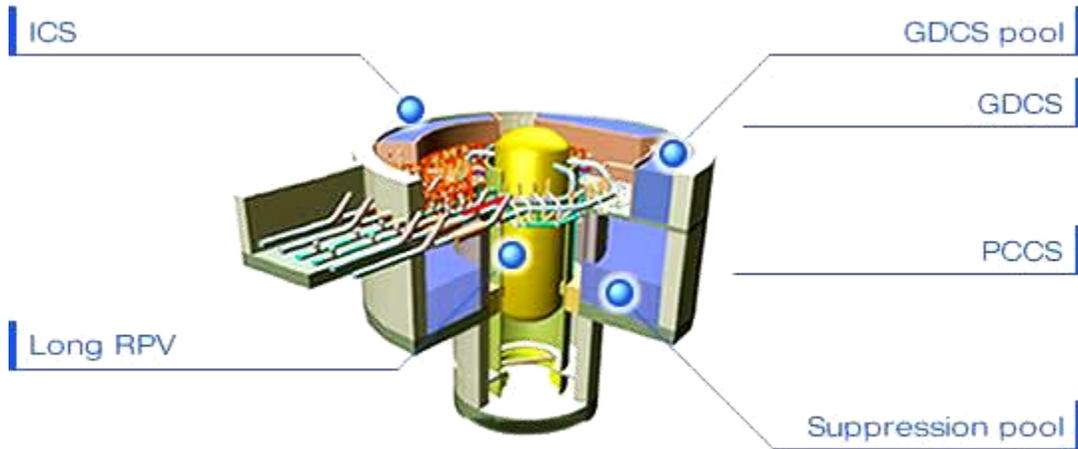
Figura 3.1.1. Diseño de la planta nucleoelectrica con un reactor de agua ligera de remplazo.



Fuente: HGNE, (2011).

Otro de los proyectos de HGNE, es el desarrollo de un reactor económico simplificado de agua hirviendo (ESBWR), se está trabajando en el diseño, análisis y pruebas. La búsqueda de un reactor económico y sencillo es para disminuir los costos de instalación y mantenimiento, con sistemas de seguridad de inyección de agua por gravedad, refrigeración natural, entre otros componentes. La figura 3.1.2, muestra el diseño del prototipo del reactor ESBWR.

Figura 3.1.2. Diseño del prototipo del reactor ESBWR, de la empresa *Hitachi-GE Nuclear Energy Ltd.* (HGNE)



Fuente: HGNE, (2011).

Westinghouse Electric Company proporciona el combustible, servicios, tecnología, diseño de plantas y equipos para la industria nuclear comercial de energía eléctrica. La tecnología nuclear de *Westinghouse* ayudará a proporcionar a las generaciones futuras una fuente generadora de electricidad de manera segura, limpia y fiable. La trayectoria tecnológica de *Westinghouse Electric Company*, se inició en la era del vapor, en el siglo XIX, George Westinghouse, funda *Westinghouse Electric Company* en 1886, obtiene la patente "*System of Electrical Generation.*", a partir de este suceso inicia su acenso en los negocios eléctricos. Las patentes de Nikola Tesla, contribuyeron al éxito de *Westinghouse* en sus inicios, siendo uno de ellos el primer motor de corriente alterna.

En 1906 establece formalmente el departamento de investigación y desarrollo, iniciando investigaciones en diferentes campos de la ciencia, diseña fusiles para el ejército del Zar, sillas de ruedas para enfermos, tostadoras de pan, construye plantas generadoras de electricidad con diesel, fabrica los primeros receptores de radio, radares, la primera máquina automática lavadora de ropa, después de muchos otros inventos en 1948 inicia la construcción de Laboratorio *Bettis Atomic Power* en *West Mifflin*, Pensilvania, iniciando la edad de la energía nuclear con fines pacíficos, creando el primer prototipo para submarinos

nucleares. Crea, compra y vende empresas, actividad que le ha permitido mantenerse en el mercado como líder en una diversidad de productos.

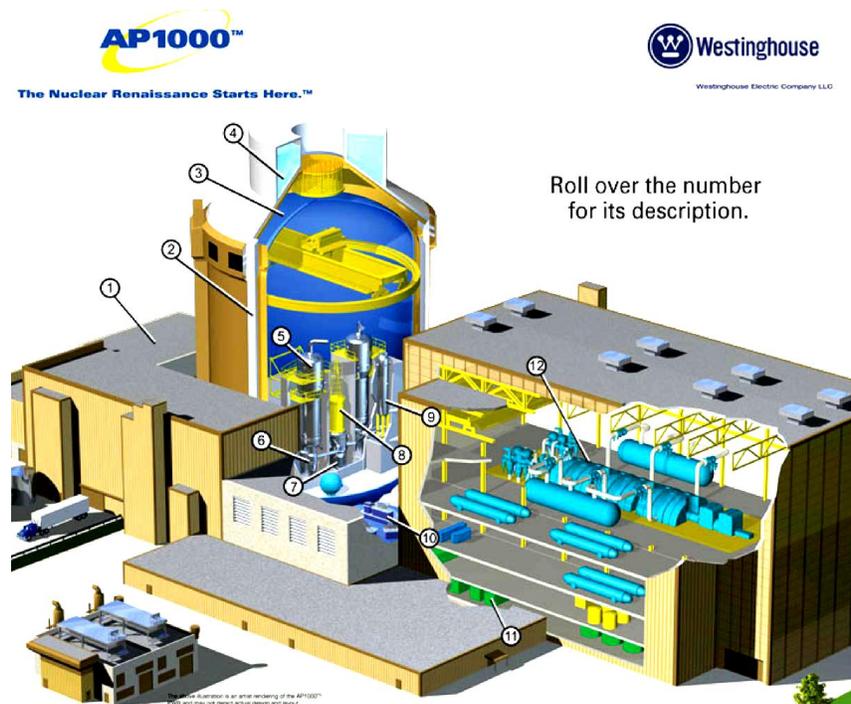
La investigación primaria y las actividades de desarrollo tecnológico en *Westinghouse Electric Company*, se llevan a cabo en el Departamento de Ciencia y Tecnología, apoyan a sus clientes comerciales de la industria nuclear, el departamento forma parte del Centro de Investigación “*George Westinghouse*”, ubicado en el Parque Tecnológico de *Churchill*, Pennsylvania. La investigación actual se centra en cinco áreas principales: sistemas de energía, procesos químicos, los materiales y la corrosión, la fiabilidad de materiales y análisis de decisión. Los científicos e ingenieros del Departamento de Ciencia y Tecnología son de los principales expertos del mundo en sus campos, esta experiencia ayuda a *Westinghouse* a avanzar en el desarrollo tecnológico de la energía nuclear para el beneficio de sus clientes y usuarios de electricidad en todo el mundo. Ha formado un Centro de Materiales de la Excelencia, para centrarse en lo siguiente:

- Soluciones innovadoras a los problemas materiales relacionados con los componentes operativos de la planta, incluidas las iniciativas *Owners Group*.
- Proporcionar mayores oportunidades para el crecimiento y desarrollo personal.
- Apoyo a iniciativas de unidad estratégica de negocios que requieren conocimientos de materiales y soluciones.
- Actividades de desarrollo de materiales para futuros productos, servicios y mercado de las plantas nuevas que puedan ser necesarios.
- Crecimiento de los negocios y el liderazgo de la industria para la evolución de nuevos materiales, las cuestiones materiales y la degradación de los componentes de la planta.

En 2006, recibe la certificación internacional por parte de la Comisión Reguladora Nuclear, al diseño de su reactor de primera generación *III+* modelo *Westinghouse AP1000*, convirtiéndose en la primera generación de reactores de agua a presión. En ese mismo año *Toshiba Corp.* y sus socios, *Shaw Group* y *IHI*, adquieren *Westinghouse BNFL*. Con esta

alianza inician la construcción de cuatro plantas de energía nuclear AP1000 en China, la figura 3.1.3, muestra el diseño del prototipo (Westinhouse, 2011)

Figura 3.1.3. Diseño de una planta nuclear con reactor *Westinghouse AP1000*, 2007.



Fuente: *Westinhouse* (2011)

Alrededor del 50 por ciento de las plantas de energía nuclear en funcionamiento a nivel mundial, y cerca del 60 por ciento en los Estados Unidos, se basan en la tecnología de Westinghouse. En todo el mundo, los 8.500 empleados de *Westinghouse Electric Company* continúan siendo pioneros en valor agregado y servicios de ingeniería. Las cuatro líneas de productos de Westinghouse son automatización nuclear, combustible nuclear, servicios nucleares y plantas de energía nuclear. Son muchas las aportaciones científicas y tecnológicas que *Westinghouse Electric Company*, ha desarrollado para el beneficio social, esto debido a su temprana integración de un departamento de investigación y desarrollo en la corporación.

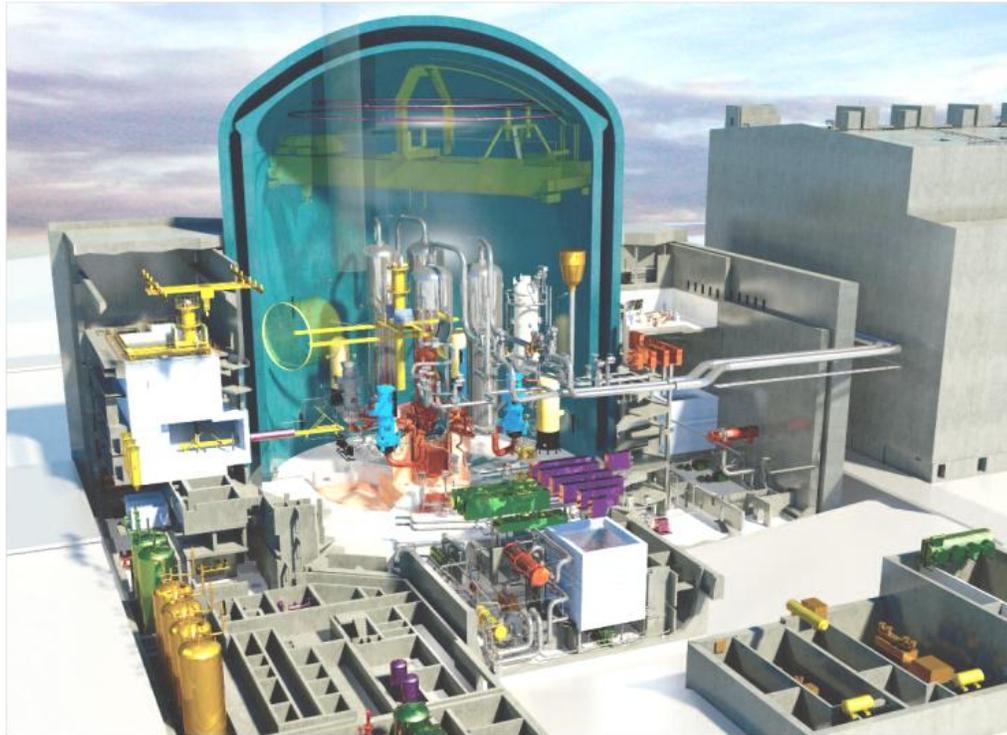
Otras de las compañías con el mayor número de patentes es la empresa francesa publica *Framatome Compagnie Generale des Matieres Nucleaires (Cogema)*, que actualmente se conocen como AREVA NP, AREVA NC y AREVA TA. Estas empresas

fueron creadas el 3 de septiembre de 2001, por la fusión de *Framatome* (actualmente AREVA NP), *Cogema* (hoy AREVA NC) y *Technicatome* (hoy AREVA TA). Su principal accionista es el sector público francés a través de la Comisión de Energía Atómica y Energías Alternativas (CEA), que posee el 78,9%. El escrito de la CEA es similar a la del Departamento de Energía de Estados Unidos de Norteamérica. Uno de sus socios es el consorcio alemán SIEMENS, que posee el 34 % de las acciones de la filial AREVA NP, encargada de la construcción del reactor nuclear *EPR* , un avanzado reactor nuclear con sistema de generación *III + PWR*, similar al desarrollo tecnológico de *Hitachi-GE Nuclear Energy Ltd. (HGNE)*.

AREVA es una empresa líder en el mundo de la energía nuclear. Es la única compañía con una presencia en cada actividad industrial vinculada a la energía nuclear: minería, química, enriquecimiento de uranio, combustibles, servicios de ingeniería, de propulsión nuclear y de reactores, tratamiento y reciclaje de combustible, la estabilización y el desmantelamiento de centrales nucleares. Una de las cuatro filiales que constituyen el núcleo de AREVA es *AREVA NP* que desarrolla y construye reactores nucleares, Siemens tenía una participación del 34% en *AREVA NP* hasta abril de 2011. El reactor de marca registrada *EPR* es un descendiente directo de los reactores *Konvoi*, de los reactores más modernos en Francia y Alemania (AREVA, 2011)

El reactor *EPR* fue diseñado por equipos de *Siemens* y *Framatome*, es decir una colaboración entre Francia y Alemania El diseño *EPR* integra los resultados de décadas de I &D, en particular los realizado por el CEA (Comisión de Energía Atómica de Francia) y el de Centro de Investigación de *Karlsruhe* Alemania. El reactor *EPR* es el resultado de la experiencia y el aprendizaje de la operación de miles de años-reactor de agua presurizada (*PWR*), esta experiencia se capitaliza a través de los 87 reactores *PWR* que AREVA opera en todo el mundo actualmente. La figura 3.1.4, muestra el diseño de la central nuclear con un reactor *EPR* de *AREVA NP*.

Figura 3.1.4. Diseño de la central nuclear que alberga un reactor nuclear EPR AREVA, de fabricación franco-alemana, en 2011.



Fuente: AREVA, (2011).

AREVA ofrece tres tipos de reactores de última generación (III +), los modelos EPR™, ATMEA1 y KERENA, El rango de potencia de estos reactores va de 1.100 MW a más de 1.650 MWe. Con el fin de permanecer en la vanguardia de la tecnología, la unidad de Servicios Nucleares de Negocios, de AREVA PN, diseña sus técnicas de inspección de seguridad, a través de sensores que reportan a una base de datos. Un ejemplo de ello son los sistemas de inspección de la vasija del reactor, MIS 7 y TWS, que se han beneficiado de las innovaciones en materia de robótica y el software de inspección, que permiten una reducción considerable en los tiempos de mantenimiento, mientras que al mismo tiempo la mejora de la fiabilidad de los resultados.

El submarino robot SUSI, permite que se examinen en detalle estructuras internas o elementos combustibles. La nueva herramienta, JASPER, facilita la inspección fiable de las barras control. RANGER, es una máquina nueva para la inspección de los tubos en los generadores de vapor, fue diseñada para una rápida instalación en las áreas de inspección. Contribuye, entre otras cosas, a una reducción en la exposición del empleado a la

radiación. Estas herramientas ayudan a reducir los cortes de la unidad y mejorar su funcionamiento y la disponibilidad. Gracias a su diseño, también ayudan a limitar el tiempo de los trabajadores de mantenimiento "exposición a la radiación.

La tendencia de estas empresas fabricantes de reactores nucleares, no está orientada a los de pequeña y mediana escala, se abocan a la mejora continua de los reactores de nueva generación denominados III+, con potencias de más de 1000 MWe, y que aportan nuevos sistemas de enfriamiento, seguridad y tiempos de instalación entre tres a cinco años, disminuyendo notablemente los costos de mantenimiento.

Las alianzas estratégicas realizadas por estas empresas, perfilan un nuevo mercado tecnológico, que tienden a producir reactores nucleares más económicos, accesibles a los países en desarrollo como China e India. Los reactores nucleares de pequeña y mediana escala, aun están en el proceso de prueba y licenciamiento, por lo que se estima que salgan al mercado dentro de cinco años (WNA, 2011).

La literatura revisada no muestra una colaboración con los IES en la investigación y desarrollo de los productos de estas empresas, ya que cuentan con departamentos de investigación y desarrollo propios, AREVA cuenta con su propia universidad *Areva University*, El *Japan Atomic Energy Research Institute*, que reporto una patente, es un organismo descentralizado del estado japonés, cuenta con el *Technology and Education Center*, para la formación de recursos humanos para la investigación y desarrollo y la operación de las centrales nucleares en Japón. *GE Hitachi Nuclear Energy* (GEH) tiene un convenio con la escuela de ingeniería de la Universidad de Ciencia y Tecnología para colaborar en la formación de ingenieros nucleares para el desarrollo y funcionamiento de las centrales nucleares en Polonia.

Como mencionamos en las semblanzas de las empresas con el mayor numero de patentes en desarrollo nuclear, los avances tecnológicos en materia de reactores nucleares se centran en los prototipos denominados Reactores Avanzados de Generación III y Generación IV, los primeros se encuentran en funcionamiento en Japón, los segundos aun están en la etapa de diseño y estarán operación hasta cerca del 2020.

Proveedores de reactores en Estados Unidos, Japón, Francia, Rusia y Canadá entre otros países, tienen una docena de nuevos diseños de reactores nucleares en etapas avanzadas de planificación, mientras que otros están en una etapa de investigación y desarrollo. Reactores de cuarta generación están en la etapa de concepto.

Las iniciativas conjuntas crean ventajas competitivas para las empresas. *AREVA* con *Mitsubishi Heavy Industries* (MHI), desarrollan un proyecto para la fabricación de combustible; *General Electric* con *Hitachi* forman la empresa *GE Hitachi Nuclear Energy* (*GEH*), dedicada a los servicios relacionados con las nucleoelectricas; y *Westinghouse* con *Toshiba*, penetran en los mercados asiáticos.

Los modelos de reactores *Light Water Reactors* (moderado y enfriado por agua) y *Heavy Water Reactors* (moderado y enfriado por agua pesada), son los que están compitiendo en el mercado tecnológico nuclear. La tabla 3.1.2, muestra las principales empresas que están actualmente licenciadas para comercializar estos reactores.

Tabla 3.1.2. Empresas con licenciamiento para realizar la comercialización de reactores nucleares.

| Country and developer | Reactor | Size MWe gross | Design Progress | Main Features (improved safety in all) |
|---|--------------------------|----------------|--|---|
| US-Japan (GE-Hitachi, Toshiba) | ABWR | 1380 | Commercial operation in Japan since 1996-7. In US: NRC certified 1997, FOAKE. | <ul style="list-style-type: none"> • Evolutionary design. • More efficient, less waste. • Simplified construction (48 months) and operation. |
| USA (Westinghouse) | AP600 AP1000 (PWR) | 600 1200 | AP600: NRC certified 1999, FOAKE. AP1000 NRC certification 2005, under construction in China, many more planned there. Amended US NRC certification expected Sept 2011. | <ul style="list-style-type: none"> • Simplified construction and operation. • 3 years to build. • 60-year plant life. |
| Europe (Areva NP) | EPR US-EPR (PWR) | 1750 | Future French standard. French design approval. Being built in Finland, France & China. Undergoing certification in USA. | <ul style="list-style-type: none"> • Evolutionary design. • High fuel efficiency. • Flexible operation |

| | | | | |
|--|----------------------------|----------------------|--|--|
| USA (GE- Hitachi) | ESBWR | 1600 | Developed from ABWR, undergoing certification in USA, likely construction there. | <ul style="list-style-type: none"> • Evolutionary design. • Short construction time. |
| Japan (utilities, Mitsubishi) | APWR US-APWR EU-APWR | 1530 1700 1700 | Basic design in progress, planned for Tsuruga US design certification application 2008. | <ul style="list-style-type: none"> • Hybrid safety features. • Simplified Construction and operation. |
| South Korea (KHNP, derived from Westinghouse) | APR-1400 (PWR) | 1450 | Design certification 2003, First units expected to be operating c 2013. Sold to UAE. | <ul style="list-style-type: none"> • Evolutionary design. • Increased reliability. • Simplified construction and operation. |
| Europe (Areva NP) | Kerena (BWR) | 1250 | Under development, pre-certification in USA | <ul style="list-style-type: none"> • Innovative design. • High fuel efficiency. |
| Russia (Gidropress) | VVER-1200 (PWR) | 1290 | Under construction at Leningrad and Novovoronezh plants | <ul style="list-style-type: none"> • Evolutionary design. • High fuel efficiency. • 50-year plant life |
| Canada (AECL) | Enhanced CANDU-6 | 750 | Improved model Licensing approval 1997 | <ul style="list-style-type: none"> • Evolutionary design. • Flexible fuel requirements. |
| Canada (AECL) | ACR | 700 1080 | undergoing certification in Canada | <ul style="list-style-type: none"> • Evolutionary design. • Light water cooling. • Low-enriched fuel. |
| China (INET, Chinergy) | HTR-PM | 2x105 (module) | Demonstration plant due to start building at Shidaowan | <ul style="list-style-type: none"> • Modular plant, low cost. • High temperature. • High fuel efficiency |

Fuente: WNA, (2011)

Las certificaciones de los reactores nucleares en Estados Unidos de Norteamérica, las realiza la Comisión de Regulación Nuclear (NRC), tienen parámetros de seguridad y eficiencia que permiten a los fabricantes y usuarios de reactores nucleares que cumplan con la normatividad internacional de la Asociación Internacional de Energía Atómica. (AIEA). Los reactores medianos de 600 MWe, tiene características de seguridad pasiva, la frecuencia proyectada para daños en el núcleo es 100 veces menor que los requisitos actuales de NRC.

El reactor nuclear modelo AP600 de *Westinghouse* obtuvo la certificación de la NRC 1999. Estas aprobaciones NRC fueron las primeras certificaciones genéricas para reactores nucleares y son válidos por 15 años. Las empresas de servicios públicos en Estados Unidos, podrán obtener la licencia de la NRC tanto para construir y operar un reactor antes de que comience la construcción. Los costos de instalación operación de una central nucleoelectrica han disminuido considerablemente, ahora el siguiente paso es crear procesos de licenciamiento menos burocráticos (WNA, 2011).

Como hemos mencionado en este apartado el mercado tecnológico de los reactores nucleares está centrado en los países que tienen el mayor número de centrales nucleoelectricas, Estados Unidos, Japón y Francia, y que reportan el mayor numero de patentes como titulares. Las IES no tienen participación por si solas en la investigación y desarrollo de estos proyectos tecnológicos, se vinculan y realizan colaboraciones con estas empresas conforme a convenios.

La *World Nuclear Assosiation* (WNA, 2011), tiene la Universidad Nuclear Mundial (WNU), que es una asociación constituida como una organización sin fines de lucro y comprometida con la mejora de la educación internacional y el liderazgo en las aplicaciones pacíficas de la ciencia y la tecnología nuclear. Los programas de la WNU están destinados a complementar el aprendizaje nuclear, llenando las necesidades insatisfechas de educación y capacitación a nivel internacional. En septiembre de 2010, más de 2.000 profesionales del sector nuclear y estudiantes de más de 60 países han participado en dichos programas.

3.2. Los presupuestos asignados para la investigación y desarrollo nucleoelectrónico comparados con otras redes de investigación.

En este apartado mostraremos la evidencia de las políticas públicas en México para impulsar el desarrollo de la investigación científica y la innovación, a través de diferentes incentivos, que han evolucionado en función del aprendizaje y la adopción de modelos de gestión tecnológica. Grimaldi et al (2010), señala que a partir de la Ley *Bayh-Dole*, los gobiernos federales de diferentes países impulsaron el apoyo de la investigación científica y tecnológica de las IES públicas y la formación de redes de conocimiento, como una prioridad del desarrollo sustentable de los países.

La investigación y el desarrollo experimental (I+D) comprenden el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones (Frascati, 2002:110)

El Manual de Frascati (2002), trata de la medición de la investigación y del desarrollo experimental que comprende la *investigación básica*, la *investigación aplicada* y el *desarrollo experimental* (Figura 3.1). La I+D es una actividad que requiere importantes transferencias de recursos entre unidades, organismos y sectores, principalmente de la administración pública. El concepto amplio de Actividades Científicas y Tecnológicas (ACT) ha sido elaborado por la UNESCO según la “Recomendación relativa a la normalización internacional de las estadísticas de ciencia y tecnología” (UNESCO, 1978). Además de I+D, las actividades científicas y tecnológicas comprenden la enseñanza y la formación científica y técnica (STET) y los servicios científicos y técnicos (SCT) (Frascati, 2002:16).

La *investigación básica* consiste en trabajos experimentales o teóricos (figura 3.2.1) que se emprenden principalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de los fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada. La *investigación aplicada* consiste también en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos; sin embargo, está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico.

Figura 3.2.1. Elementos que integran la Investigación y Desarrollo (I+D).



Fuente. Elaboración propia con información de Frascati, 2002.

El *desarrollo experimental* consiste en trabajos sistemáticos que aprovechan los conocimientos existentes obtenidos de la investigación y/o la experiencia práctica, y está dirigido a la producción de nuevos materiales, productos o dispositivos; la puesta en marcha de nuevos procesos, sistemas y servicios, o a la mejora sustancial de los ya existentes.

En el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, se establece la necesidad de crear condiciones para que México se inserte en la vanguardia tecnológica e impulsar la competitividad del país. La investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación son precursores esenciales de la competitividad y del crecimiento económico, por lo que se debe impulsar una mayor vinculación entre científicos, tecnólogos y académicos con la planta productiva nacional. El Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2008-2012 (CONACYT, 2008) propone fortalecer la apropiación social del conocimiento y la innovación, y el reconocimiento público de su carácter estratégico para el desarrollo integral del país, así como la articulación efectiva de todos los agentes involucrados para alcanzar ese fin.

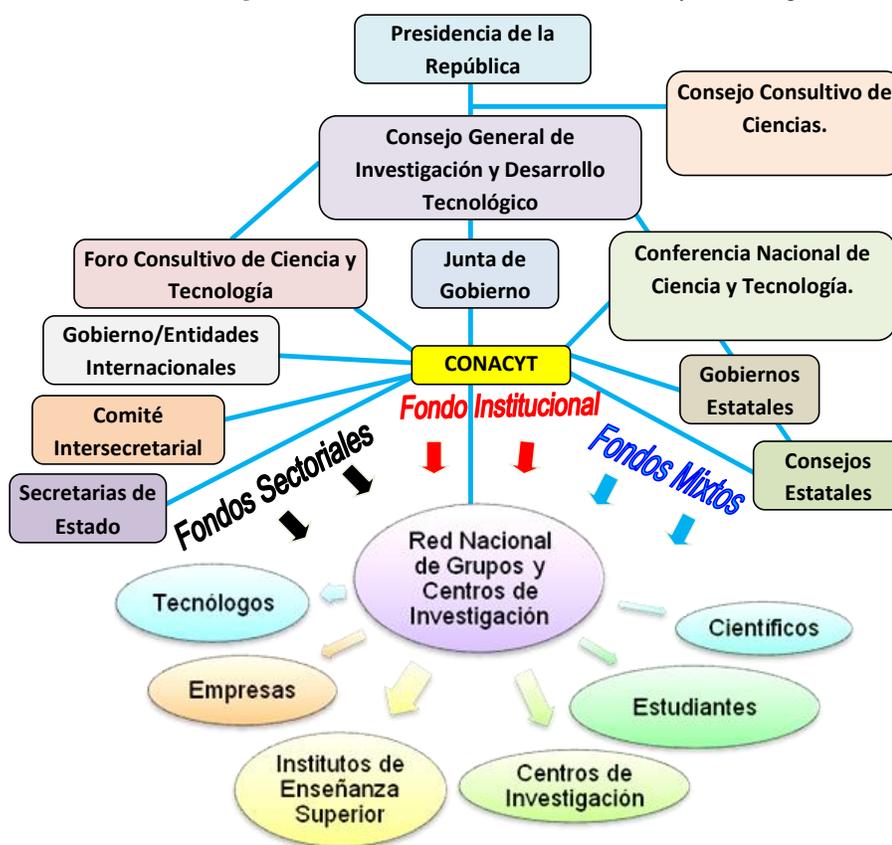
La educación formal es la principal vía para el proceso de socialización del conocimiento. La competitividad de los países está estrechamente vinculada con la amplitud y calidad de sus sistemas educativos, en particular los de educación superior. Algunos países han decidido ubicar a la Ciencia, la Tecnología y la Innovación (CTI) como prioridad en sus políticas públicas, logrando acceder a estadios más avanzados de desarrollo.

Para fortalecer el desarrollo socialmente equilibrado y sustentable, se requiere una actividad creciente con la participación coordinada de todo el Sistema Nacional de Ciencia

y Tecnología (SNCYT), además de un financiamiento público y privado suficiente. La Ley de Ciencia y Tecnología, aprobada en 2002, es el instrumento rector en la materia pues proporciona el marco en el que se desenvuelve el SNCYT.

El Sistema constituye la estructura por medio de la que se promueven y desarrollan las actividades científicas, tecnológicas y de innovación; está integrado por las instituciones del Gobierno Federal y de los gobiernos de las entidades federativas que promueven estas actividades, los centros e instituciones de investigación públicos y privados, las IES y las empresas (figura 3.2.2).

Figura 3.2.2. Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología



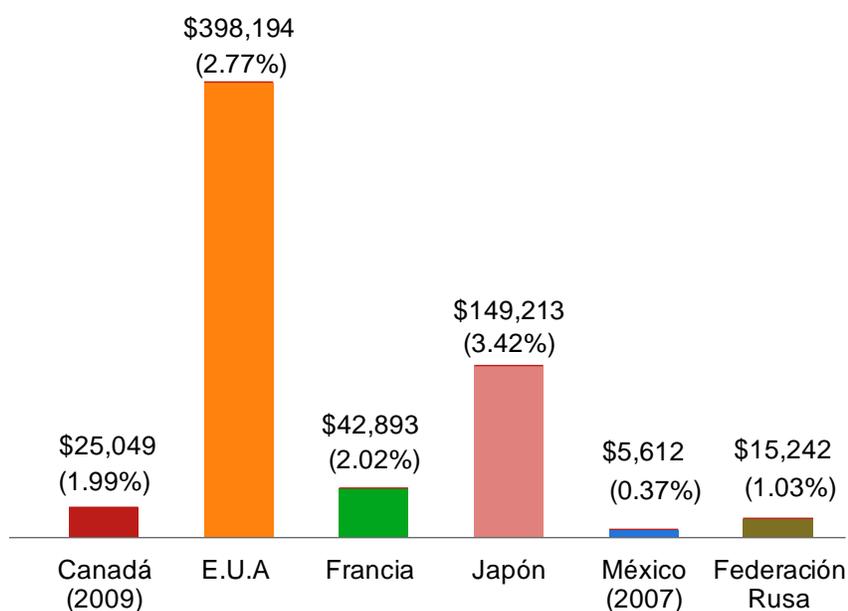
Fuente: Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2008-2012 (CONACYT, 2008)

El Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012 establece como meta global para el 2030 colocar a México en el lugar 20 de los países mejor evaluados, de acuerdo con el índice de competitividad de la infraestructura que elabora el Foro Económico Mundial. Para lograrlo y cumplir con la meta de que México alcance el liderazgo latinoamericano en

el 2012, es necesario apoyar la formación acelerada de especialistas, principalmente en ingeniería de diseño, así como fortalecer a las empresas dedicadas a esta tarea.

El financiamiento nacional de la ciencia y la tecnología tiene dos grandes componentes. Por un lado se encuentra el del sector público, que comprende a la administración pública, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y las entidades federativas y, por otro, la inversión que realiza el sector privado. En México, el principal aporte de inversión en ciencia y tecnología ha provenído del sector público. En la gráfica 3.2.1, se muestra un comparativo del Gasto en Investigación y Desarrollo Experimental (GIDE), entre México y los países con el mayor número de nucleoelectricas en operación.

Gráfica 3.2.1. GIDE por país con sistemas nucleoelectricos y su porcentaje del PIB (%), 2008.



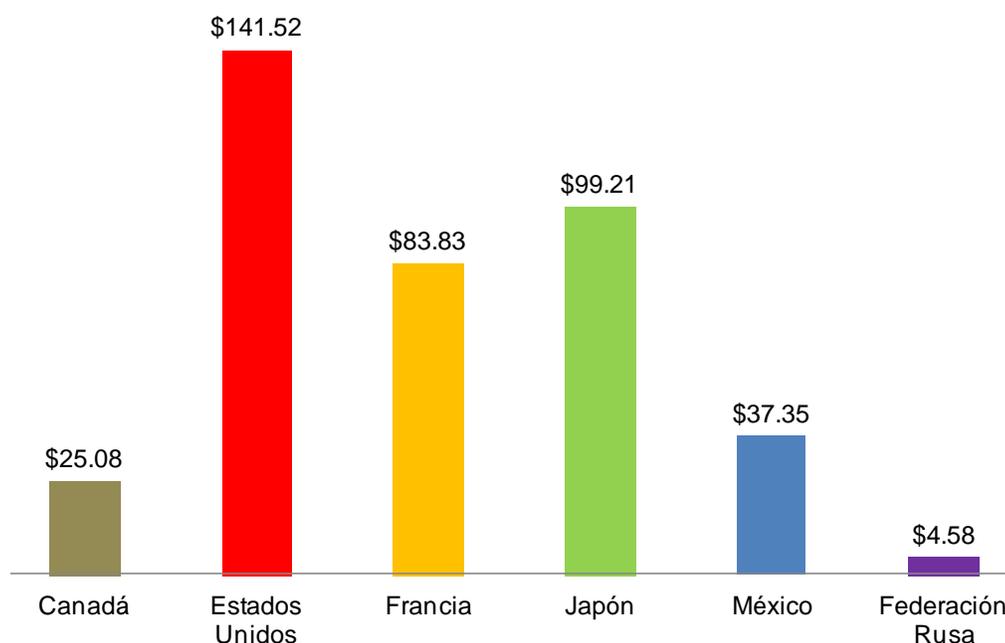
Nota: La paridad del poder adquisitivo (PPP por sus siglas en inglés) es la tasa de conversión de moneda que elimina las diferencias en niveles de precios entre países.

Fuente: Elaboración propia con información de: Para México INEGI-CONACYT, Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico, 2008 (CONACYT, 2009). Para la Federación Rusa: El Banco Mundial (BM, 2011); Para el resto de los países OECD, *Main Science and Technology Indicators*, 2010/1.

Este gasto en Investigación y desarrollo experimental, es considerado como una inversión y debe de generar una utilidad. Para el caso el Banco Mundial toma como referencia las exportaciones de productos de alta tecnología. Las exportaciones de

productos de alta tecnología son productos altamente intensivos en investigación y desarrollo, como son los productos de las industrias aeroespacial, informática, farmacéutica, de instrumentos científicos y de maquinaria eléctrica, incluyendo las nucleoelectricas. La gráfica 3.2.2, se muestran las exportaciones de productos de alta tecnología en miles de millones de US\$, a precios actuales, de los países con mayor número de nucleoelectricas comparadas, con México, para el año 2009, en esta gráfica se incluyen el número de investigadores por cada millón de habitantes en el país.

Gráfica 3.2.2. Exportaciones de productos de alta tecnología en miles de millones de US\$, a precios actuales, de los países con mayor número de nucleoelectricas, comparadas con México, para el año 2009; Investigadores dedicados a investigación y desarrollo (por cada millón de personas) en 2006.



Fuente: elaboración propia con información del Banco Mundial, (BM, 2011).

Las exportaciones de alta tecnología representan ingresos significativos para las economías de estos países, donde las redes de conocimiento implican un capital intelectual de alto desempeño. Los investigadores dedicados a investigación y desarrollo son profesionales que diseñan o crean nuevos conocimientos, productos, procesos, métodos o sistemas, y a la gestión de los proyectos correspondientes. Se incluyen los estudiantes

De manera ilustrativa, la Tabla 3.2.1, muestra un comparativo entre México y los países que cuentan con el mayor número de nucleoelectricas, desde el punto de vista de sus

exportaciones de productos de alta tecnología, el número total de investigadores por millón de habitantes, el total de su producción nucleoelectrica en MWe, y su porcentaje de la producción eléctrica total, y el índice de desarrollo humano. Los países con un desarrollo nucleoelectrico sistematizado, muestran un índice de desarrollo humano dentro de los primeros 20 sitios del *ranking* internacional (Banco Mundial, 2011).

Tabla 3.2.1. Indicadores relacionados con el gasto en investigación y desarrollo experimental y la producción nucleoelectrica.

| País | Canadá | Estados Unidos | Francia | Japón | México | Federación Rusa |
|---|-----------|----------------|------------|------------|------------|-----------------|
| *Exportaciones (E) 2009. Miles de millones de US\$ | \$25.08 | \$141.52 | \$83.83 | \$99.21 | \$37.35 | \$4.58 |
| *Investigadores (I) por millón de habitantes (miles) | 4.26 | 4.66 | 3.43 | 5.57 | 0.34 | 3.26 |
| Productividad (E/I)/100 | 0.059 | 0.303 | 0.244 | 0.178 | 1.095 | 0.014 |
| **Producción nucleoelectrica en 2010 (kWh) | 85.5 | 807.1 | 410.1 | 280.3 | 5.6 | 159.4 |
| **Porcentaje del total producido | 5.9 % | 19.6 % | 74.0 % | 29.2 % | 3.6 % | 17.1 % |
| ***Índice de desarrollo humano | 0.888 (8) | 0.902 (49) | 0.882 (14) | 0.884 (11) | 0.750 (56) | 0.719 (65) |

Fuente: Elaboración propia con datos de *CONACYT (2010). ** Investigadores dedicados a investigación y desarrollo (por cada millón de personas). Banco Mundial (BM, 2011). *** Organización de Naciones Unidas (ONU, 2011)

El índice de desarrollo humano es un indicador que está relacionado con la degradación ambiental que intensifica la desigualdad mediante su impacto adverso en las personas de menores recursos y la forma en que las desigualdades en desarrollo humano profundizan el deterioro ambiental (ONU, 2011). En este trabajo no desarrollaremos un modelo que implique la relación entre la capacidad nucleoelectrica y el índice de desarrollo humano, la información presentada es solamente reflexiva, que nos acerque a un indicador

que justifique el gasto en ciencia y tecnología nucleoelectrico y que se refleje en un beneficio social.

En la literatura consultada no se encontró información desagregada referente al GIDE en proyectos nucleoelectricos, el CONACYT reporta en el Informe General del Estado de la Ciencia y Tecnología 2009 (CONACYT, 2009), el Gasto Federal en Ciencia y Tecnología (GFCyT) para el ejercicio fiscal 2009 fue por 45,974 millones de pesos, monto mayor en 3%, en términos reales, al de 2008. Cabe señalar que el indicador IDE/PIB fue de 0.44% en 2008 y para 2009 de 0.45%. La tabla 3.2.2, muestra los presupuestos asignados para algunos ramos y sectores administrativos.

Tabla 3.2.2. GFCyT POR SECTOR ADMINISTRATIVO, 2005-2009. (Porcentaje de los Millones de pesos a precios de 2009)

| | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|-------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Gasto Federal en Ciencia y Tecnología (GFCyT) para el ejercicio fiscal | 39,125 | 38,930 | 40,125 | 46,021 | 45,974 |
| Ramo | Sector Administrativo | % | % | % | % | % |
| 08 | Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación | 4.42 | 5.41 | 5.82 | 5.50 | 5.62 |
| 09 | Comunicaciones y Transportes | 0.23 | 0.31 | 0.29 | 0.36 | 0.25 |
| 10 | Economía ^{1/} | 2.1 | 2.81 | 3.62 | 5.05 | 3.15 |
| 11 | Educación Pública ^{2/} | 29.32 | 30.50 | 30.14 | 28.02 | 29.41 |
| 12 | Salud y Seguridad Social | 4.99 | 5.23 | 6.53 | 8.88 | 9.17 |
| 13 | Marina | 0.46 | 0.53 | 0.60 | 0.86 | 0.80 |
| 16 | Medio Ambiente y Recursos Naturales | 1.41 | 1.43 | 1.50 | 1.28 | 1.36 |
| 17 | Procuraduría General de la República | 0.026 | 0.021 | 0.020 | 0.24 | 0.20 |
| 18 | Energía ^{3/} | 13.57 | 12.77 | 13.23 | 14.47 | 13.04 |
| 38 | Conacyt ^{4/} | 23.4 | 26.41 | 27.33 | 30.31 | 36.80 |

Fuente: Elaboración propia con información del IGCYT 2009 (CONACYT, 2010)

En el año 2009 el sector Energía participó con el 13 por ciento del total del gasto en ciencia y tecnología, cifra inferior en 2.5 puntos porcentuales a lo reportado el año previo y representa una disminución de 14.3 por ciento en términos reales respecto a 2008.

El periodo 2007-2009 el gasto en ciencia y tecnología del sector educativo, prácticamente se ha mantenido, por lo que su participación en el GFCyT disminuyó 4.3 puntos porcentuales al pasar de 33.7 por ciento en 2007 a 29.4 por ciento en 2009. La tabla 3.2.3, se observa el GFCyT para los IES.

Tabla 3.2.3. Porcentaje de la participación del Gasto Federal de Ciencia y Tecnología (GFCyT), 2005-2009, de los sectores administrativos y principales entidades pertenecientes a la Educación Pública (Millones de pesos a precios de 2009)

| Sector administrativo / Entidad | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| GFCyT en Educación Pública | 14,320 | 13,890 | 13,542 | 13,541 | 13,523 |
| Porcentaje por entidad | % | % | % | % | % |
| UNAM | 43.99 | 41.05 | 40.07 | 40.99 | 40.83 |
| CINVESTAV-IPN | 13.57 | 15.56 | 14.24 | 14.47 | 15.12 |
| UAM | 11.38 | 10.96 | 11.00 | 10.69 | 11.66 |
| IPN | 15.16 | 14.99 | 14.85 | 14.08 | 15.91 |
| El Colegio de México, A.C. | 3.65 | 3.53 | 4.01 | 3.57 | 3.66 |
| Otros | 12.24 | 13.91 | 15.18 | 15.62 | 12.08 |

Fuentes: CONACYT (2010)

Las principales entidades del sector Educación Pública que participan en el GFCyT en 2009, son la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) con 40.8 por ciento; el Instituto Politécnico Nacional (IPN) 15.9 por ciento, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV), 15.1 por ciento, y la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) 11.7 por ciento. En conjunto, estas cuatro entidades representan el 83.5 por ciento del GFCyT del sector.

En este sector destaca el CINVESTAV que durante dos años consecutivos ha tenido variaciones reales positivas, sin descartar a la UNAM, el IPN y la UAM, que durante 2009 tuvieron incrementos reales de su gasto en ciencia y tecnología de 25.3, 12.9 y 8.9 por ciento, respectivamente, respecto al año previo. Lo que podemos observar en la tabla 3.2.3, es que el presupuesto del CINVESTAV-IPN, rebasa el de la UAM, no por matrícula de estudiantes sino por el número de proyectos en IDE.

Las Universidades reciben una proporción considerable del presupuesto, ya que son las encargadas de crear el nuevo conocimiento vinculado a los objetivos económicos, como se aprecia en la tabla 3.2.4.

Tabla 3.2.4. Porcentaje del GFCyT por objetivos económicos, 2005-2009. (Millones de pesos a precios de 2009)

| Objetivo | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Gasto Federal en Ciencia y Tecnología (GFCyT) para el ejercicio fiscal | 39,125 | 38,930 | 40,125 | 46,021 | 45,974 |
| Porcentaje del GFCyT | % | % | % | % | % |
| Avance general del conocimiento | 57.43 | 57.39 | 55.38 | 53.28 | 56.89 |
| Exploración y explotación de la Tierra | 4.74 | 4.86 | 5.03 | 4.63 | 4.69 |
| Producción y tecnología agrícola | 3.35 | 3.84 | 3.76 | 3.09 | 3.46 |
| Producción y tecnología industrial | 7.36 | 8.72 | 9.40 | 10.34 | 8.77 |
| Producción, distribución y uso racional de la energía | 16.95 | 14.94 | 14.82 | 15.20 | 13.04 |
| Transportes y telecomunicaciones | 0.28 | 0.36 | 0.33 | 0.38 | 0.25 |
| Protección y mejoramiento de la salud humana | 6.23 | 6.12 | 7.31 | 9.32 | 9.17 |
| Estructuras y relaciones sociales | 2.42 | 2.48 | 2.65 | 2.65 | 2.64 |
| Cuidado y control del medio ambiente | 1.24 | 1.29 | 1.31 | 1.10 | 1.09 |

Fuente: CONACYT (2009)

La central nucleoelectrica de Laguna Verde, Veracruz, está vinculada con los IES y el sector energía, por lo que parte de este GFCyT, se comparte a través de las colaboraciones con el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) y el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). En el año 2009 el sector Energía participó con el 13 por ciento del total del gasto en ciencia y tecnología, cifra inferior en 2.5 puntos porcentuales a lo reportado el año previo y representa una disminución de 14.3 por ciento en términos reales respecto a 2008. La tabla 3.2.5, compara los presupuestos asignados diferentes organismos el sector energía.

Tabla 3.2.5. Participación del GFCyT del sector energético y los organismos que lo integran. (En Millones de pesos a precios de 2009)

| Sector administrativo | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Energía | 5,311 | 4,970 | 5,309 | 6,661 | 5,997 |
| Instituto Mexicano del Petróleo | 67.20 | 77.06 | 77.66 | 64.42 | 67.72 |
| Instituto de Investigaciones Eléctricas | 11.75 | 11.89 | 12.19 | 9.68 | 11.77 |
| Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares | 8.85 | 10.06 | 9.66 | 10.12 | 9.64 |
| Petróleos Mexicanos ^{2/} | 12.20 | 0.99 | 0.49 | 15.76 | 10.87 |

Fuente: CONACYT (2010)

En este sector sobresale el IIE que tuvo un incremento en términos reales de su gasto de 4.3 por ciento respecto a 2008. Los montos porcentuales se aproximan a la proporción de generación de energía por fuente, en este caso la proporción total de energía por fuentes nucleares se aproxima al 3.6% y al 1.2 % de fuentes renovables.

Estos presupuestos coinciden con las metas prospectivas energéticas del Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. El CONACYT, hasta este momento de la consulta, no ha publicado los resultados del total de proyectos asignados para el 2008-2010, para las IES, por lo que se realiza un comparativo en el año 2007, entre el número de proyectos de investigación científica y tecnológica y sus montos asignados por sector. La tabla 3.2.6., muestra estos datos.

Tabla 3.2.6. Proyectos de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico por Sector Administrativo 2007.

| SECTOR | Número de proyectos | MONTO (MILONES DE PESOS) | | |
|---|----------------------------|---------------------------------|----------------|--------------|
| | | D.F. | ESTADOS | TOTAL |
| UNAM | 9,076 | 5,063.8 | 0 | 5,063.8 |
| UAM | 1,267 | 1,328.4 | 0 | 1,328.4 |
| IPN | 1,229 | 32.9 | 12.1 | 45.0 |
| CINVESTAV | 400 | 897.3 | 329.0 | 1,226.4 |
| SEP OTROS | 606 | 220.3 | 25.9 | 246.2 |
| CONACYT | 1,200 | 0 | 1,400.0 | 1,400.0 |
| CENTROS DE INVESTIGACIÓN CONACYT | 3,139 | 310.9 | 2,579.9 | 2,890.8 |
| TOTAL | 27,218 | 12,427.9 | 8,502.3 | 20,930.2 |

Fuente: Elaboración propia con información CONACYT (2007)

La tabla 3.2.6, muestra que la UNAM tiene más proyectos registrados; no reporta proyectos en los estados, a pesar de que existen dependencias en algunos de ellos como es el caso de Morelos. Para conocer el presupuesto promedio por proyecto en las IES y en dos dependencias Secretaría de Energía (SENER) y Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL), se dividió el monto total asignado a cada proyecto entre el número de proyectos, los resultados se muestran en la tabla 3.2.7.

Tabal 3.2.7. Comparativo de los costos unitarios promedio por proyecto en los IES contra la SENER y SEMAR, en 2007.

| SECTOR | Número de proyectos (P) | Monto (M) (Miles de pesos) | Costo unitario por proyecto (M/N) (Miles de pesos) |
|------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---|
| UNAM | 9,076 | 5,063,831 | 558 |
| UAM | 1,267 | 1,328,410 | 1,048 |
| IPN | 1,229 | 45,000 | 37 |
| CINVESTAV | 400 | 1,226,362 | 3,066 |
| SEMAR | 45 | 105,781 | 2,351 |
| SENER | 1,083 | 5,441,403 | 5,024 |

Fuente: Elaboración propia con información del CONACYT (2007).

El IPN se encuentra bastante castigado en el costo unitario promedio de los proyectos, este resultado asevera lo pronunciado en entrevista por el Dr. Edmundo Del Valle (2011), que afirma que los presupuestos asignados para el desarrollo de proyectos en IDE, son insuficientes. Por otro lado en entrevista con el Dr. François (2011), de la UNAM y el Dr. Espinosa (2011), de la UAM, mencionaron que los presupuestos asignados a la IDE, en sus instituciones, son suficientes.

No obstante, el Dr. Juan Rafael Guzmán Arriaga, investigador de la Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM) del IPN, descubrió la producción de energía nuclear sin la generación de desechos radiactivos, como parte de una investigación única en el mundo bajo procesos sustentables. A finales de 2012 se pretende patentar este proceso nuclear más seguros y evitar eventos como el ocurrido en marzo de 2011 en la Central Nuclear de Fukushima, Japón. El Dr. Guzmán Arriaga, realiza otra investigación, con miras a patentar, el diseño de un reactor que disminuya, en gran medida, los desechos radiactivos. (El Universal, 2012).

Estas diferencias presupuestales impactan en la productividad científica y tecnológica de la IES. Como lo observamos en la siguiente tabla 3.2.8, de donde sólo existen dos casos de proyectos exitosos en el sector energía, relacionados con reactores nucleares, reportados al CONACYT en 2006. No se encontró literatura que referencien otros años.

Tabla 3.2.8. Casos de éxito de proyectos reportados en 2006, en el sector energía, con referencia a reactores nucleares.

| Nombre del Proyecto | Rehabilitación de la Planta de Producción de Radioisótopos | Análisis de los Reactores Nucleares Actuales Como una Opción para una Nueva Central Nucleoeléctrica |
|----------------------------------|---|---|
| Instituto | Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) | Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares-Comisión Federal de Electricidad (CFE) |
| Monto total (pesos, 2008) | 8,000,000 | 5,700,000 |
| Duración del proyecto | 4 años | 2.3 años |
| Programa del CONACYT | Fondos sectoriales (FOSEC) | Fondos sectoriales (FOSEC) |
| Clave área PECyT | mt (Materiales avanzados) | mt (Materiales avanzados) |
| Impacto | Mejora de la salud y la calidad de vida; diagnósticos y tratamientos más especializados. Número de estudios de diagnóstico en medicina nuclear: 85,000/año (nivel nacional). Producción nacional y sustitución de productos de importación a precios competitivos | El uso de un reactor nuclear permitiría un ingreso de utilidades a valor presente de 2,000 M de USD. La instalación de un nuevo reactor nuclear representa aproximadamente 1,000 nuevos empleos permanentes y 2,000 temporales. |

Fuente: Elaboración propia con información del CONACYT (2006).

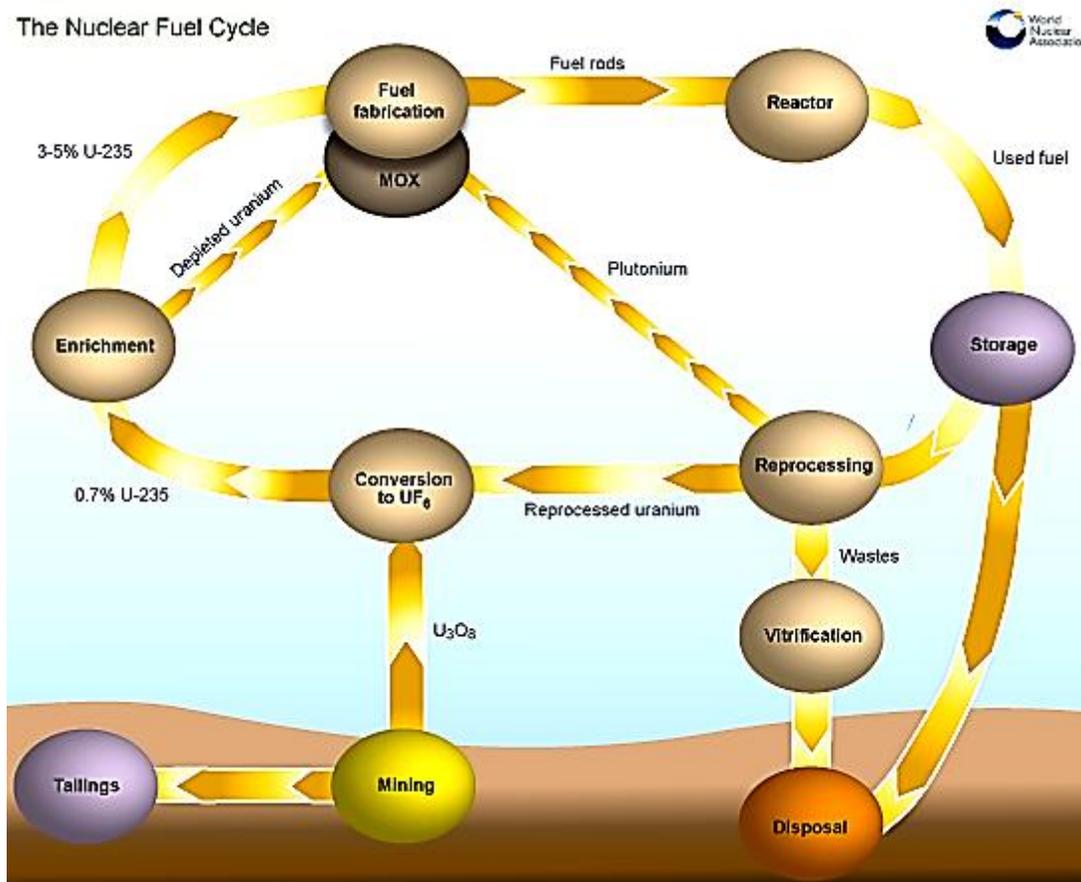
Los montos para este tipo de proyectos son mayores al promedio proporcionado a los IES, no existe información desagregada para identificar si los IES participaron en estos proyectos. En la literatura revisada del CONACYT sólo se vincula un proyecto de energía

con la *Arizona State University*, la Facultad de Ingeniería de la UNAM y el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV). No existen tantos proyectos de investigación y desarrollo relacionados con las centrales nucleoelectricas en México, ya que las políticas de estado no están orientadas en este momento hacia ese campo del conocimiento. En el siguiente apartado revisaremos cuales son las universidades internacionales que más aportan conocimiento a la investigación y desarrollo de nucleoelectricas.

3.3. Los avances en I+D en torno al combustible, los desechos nucleares, la seguridad, los costos de instalación y el mantenimiento.

El ciclo del combustible nuclear se inicia con la extracción de uranio y termina con la eliminación de residuos nucleares, como se observa en la figura 3.3.1.

Figura 3.3.1. Ciclo de combustible nuclear, 2011.

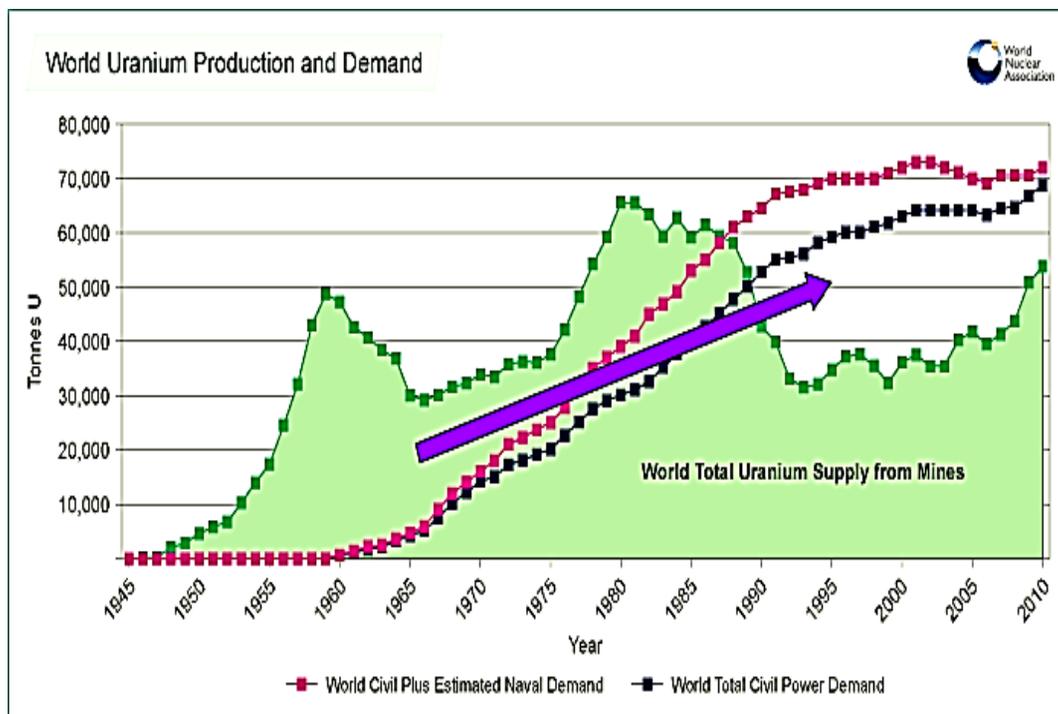


Fuente: WNA, (2011).

El ciclo del combustible nuclear es la serie de procesos industriales que implican la producción de electricidad a partir del uranio en los reactores de energía nuclear. El uranio es un elemento relativamente común que se encuentra en todo el mundo. Se extrae de una serie de países y debe ser procesado antes de que pueda ser utilizado como combustible para un reactor nuclear. El combustible retirado de un reactor, después de haber llegado al final de su vida útil, puede ser reprocesado para producir nuevo combustible. Las diversas actividades relacionadas con la producción de electricidad a partir de las reacciones nucleares se refieren colectivamente como el ciclo del combustible nuclear. Con el reprocesamiento del combustible usado como una opción para la energía nuclear, las etapas forman un ciclo (WNA, 2011).

Kazajstán produce la mayor parte del uranio, 33% del suministro mundial, seguido por Canadá con el 18%, y Australia con el 11%. Existe una mayor demanda mundial de uranio, la gráfica 3.3.1, muestra esta tendencia.

Gráfica 3.3.1. Tendencias de la producción y demanda de uranio en el mundo, junio de 2011.



Fuente: *World Uranium Mining*, (WNA, 2011)

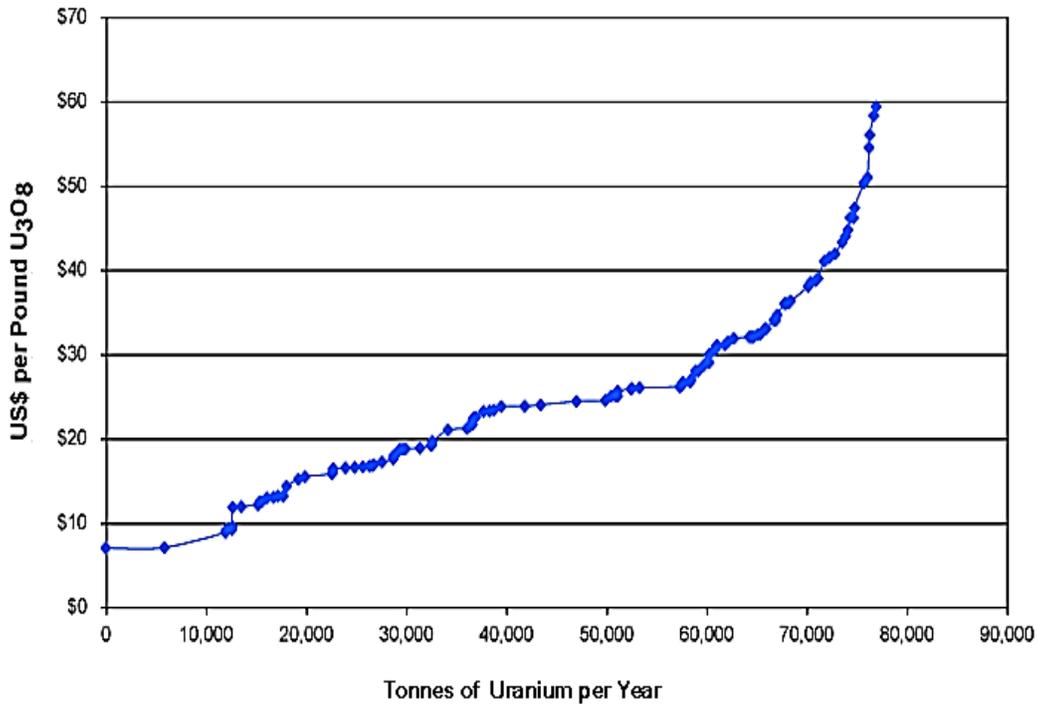
En México las explotaciones mineras de uranio y los primeros trabajos de explotación y beneficio, estuvieron a cargo por la Dirección de Exploración y Explotación, entidad creada por la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN), en abril de 1957, los trabajos iniciaron en los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Sonora y Oaxaca. En sierra de Gómez, Chihuahua, en el municipio de Villa Aldama, se instaló la primera planta piloto, concesionada a la Comisión de Fomento Minero. Por un manejo inadecuado de esta comisión, la planta cerró en 1969, un año y medio después de que había entrado en operación, por lo que el uranio se fue a purificar a España. En 1970 la CNEN informo el descubrimiento y la evaluación de 3157 toneladas globales de oxido de uranio localizados en 34 lugares de México, principalmente en los estados de Chihuahua, Durango, Nuevo León, Sonora, San Luis Potosí y Oaxaca.

En 1976 se realizó una nueva evaluación de las reservas consideradas en 8,332.6 toneladas de oxido de uranio, en 1983 se evaluaron cerca de 15 mil toneladas. En 1979 se crea la empresa paraestatal Uranio Mexicano (URAMEX), para la explotación de estos yacimientos, que finalmente cierra sus operaciones en 1984, por políticas de Estado (Rojas, 1989:111, 138). Estas reservas de uranio aun están en el subsuelo mexicano y representan un potencial de desarrollo económico sustentable.

La producción de las minas de uranio del mundo ahora sólo suministra alrededor del 75% de los requerimientos de las compañías eléctricas, se complementa con suministros secundarios, principalmente por materiales ex militares. La producción mundial de las minas se está expandiendo de manera significativa. Estos mercados de materias primas minerales tienden a ser cíclicos, es decir, los precios suben y bajan sustancialmente a lo largo de los años.

A finales de 1970, y durante los 80s y principios de los 90s, el mercado de uranio, bajo su precio por debajo del costo de producción. En 1996 los precios se recuperan hasta producir de forma rentable, luego vuelve a descender y se recupera con fuerza a finales de 2003. La gráfica 3.3.2, se observa un estimado de la prospectiva del costo de producción de oxido de uranio por libra para el periodo de 2007-2030.

Gráfica 3.3.2. Curva de costos de la producción de uranio: 2007-2030



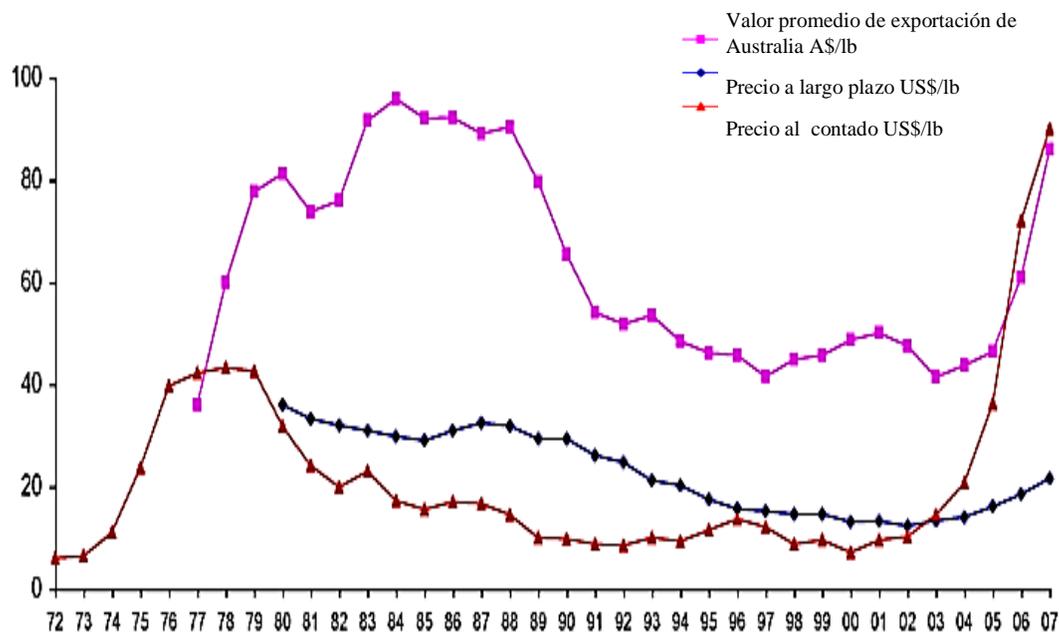
Fuente: *Uranium Markets*, (WNA, 2011)

Las razones por las fluctuaciones de precios de los minerales se relacionan con la demanda y la percepción de la escasez. El precio no puede permanecer indefinidamente por debajo del costo de producción, ni mantenerse en niveles altos, durante el tiempo que les toma a los nuevos productores a entrar al mercado y aumentar la oferta.

La percepción de una escasez, elevó el precio del óxido de uranio en 2007, a cotizarse en cerca de los 100 US Dólar, por libra, estabilizándose a \$ 40-45 en los doce meses a julio de 2010. La mayor parte del uranio es suministrado bajo contratos a largo plazo y los precios reflejan una prima por encima del mercado al contado. Debido a la estructura de costos para la generación de energía nuclear, con alto capital de inversión y bajos costos de combustible, la demanda de combustible de uranio es mucho más predecible que probablemente que cualquier producto otros mineral. Las previsiones de demanda de uranio dependen en gran medida de la capacidad instalada y operable, independientemente de las fluctuaciones económicas. El escenario de referencia *World Nuclear Association* (WNA, 2011) muestra un aumento del 33% en la demanda de uranio

en 2010-20, esto será debido a la construcción de nuevas centrales nucleoelectricas, aumentado en 27 % las unidades en operación. En la gráfica 3.3.3, se observa la fluctuación del precio del oxido de uranio de 1972 a 2007.

Gráfica 3.3.3. Variación anual del precio del oxido de uranio en dólares americanos por libra (US\$/lb), de 1972 a 2007.



Fuente: *Uranium Markets*, (WNA, 2011)

La extensión de las licencias de vida de las centrales nucleoelectricas y el atractivo de la operación continua que representan, son factores que influirán en los precios del mercado del uranio en el mediano plazo. La Agencia Internacional de la Energía de la OCDE, 2008, estima una demanda de electricidad para el año 2030, del doble de 2004, existiendo la posibilidad del crecimiento de la capacidad nuclear con base en los efectos invernaderos que producen otras fuentes de generación eléctrica.

Como el uranio es un recurso no renovable y limitado en la naturaleza, las investigaciones se están orientando, a la utilización de los productos de la fisión del uranio. La mezcla de óxidos (MOX) proporciona aproximadamente el 2% del nuevo combustible nuclear utilizado en la actualidad, se fabrica a partir de plutonio, que es un isótopo producto de la fisión nuclear. En todo el mundo, cada año, cerca de 70 toneladas de plutonio, se elimina durante el abastecimiento de nuevo combustible.

El plutonio se puede recuperar fabricando mezclas de óxidos (MOX) y utilizarlo como combustible nuclear, aumentando la energía derivada del uranio original en un 12%, y si el uranio se recicla también esto se convierte en alrededor del 22%, de combustible reciclado. La compañía nuclear franco-alemana AREVA, asegura que alrededor de ocho conjuntos de combustible reprocesado puede producir un conjunto de combustible MOX, dos terceras partes de un conjunto de combustible de uranio enriquecido, y cerca de tres toneladas de uranio empobrecido (colas de enriquecimiento), además de unos 150 kg de residuos.

Evita la necesidad de adquirir unas 12 toneladas de uranio natural de una mina. Dos plantas, en la actualidad, producen cantidades comerciales de combustible MOX, Francia y Reino Unido, otros países como Japón, Estados Unidos de Norteamérica y Rusia, están en proceso de instalación de estos complejos industriales. La tabla 3.3.1, muestra la producción de MOX, presente y futura de esas industrias, que se utilizaran en reactores de agua ligera BWR, como los de México.

Tabla 3.3.1. Capacidades Mundial de fabricación de combustible de mezcla de óxidos en t / año

| País | Año | |
|--|------------|------------|
| | 2009 | 2015 |
| Francia, Melox | 195 | 195 |
| Japón, Tokai | 10 | 10 |
| Japón, Rokkasho | 0 | 130 |
| Rusia, Mayak, Ozersk | 5 | 5 |
| Rusia, Zheleznogorsk | 0 | 60? |
| Reino Unido, Sellafield | 40 | 0 |
| Total para reactores de agua ligera | 250 | 400 |

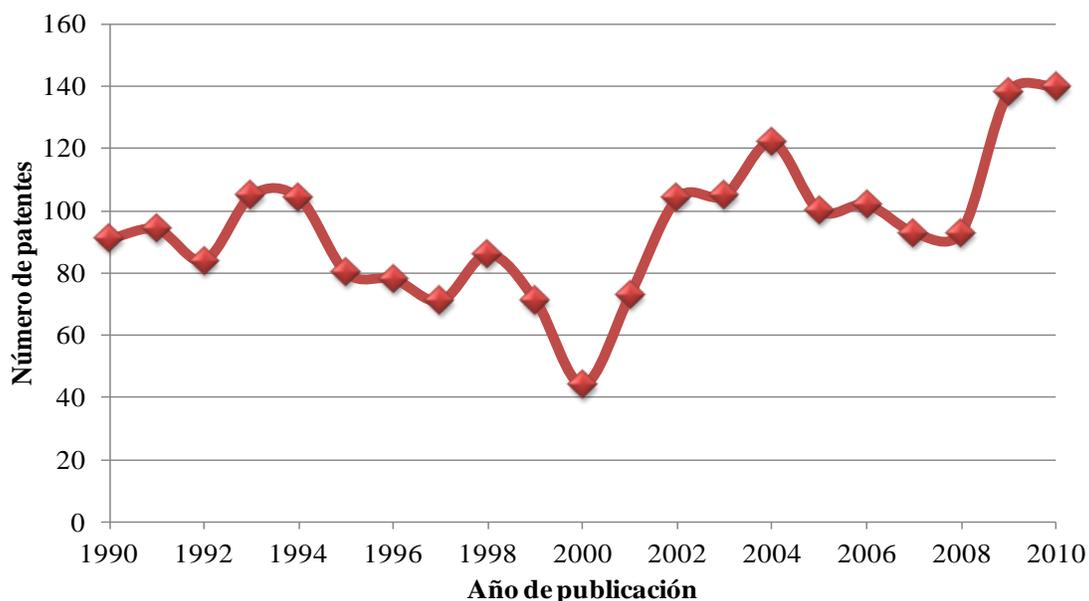
Fuente: *Mixed Oxide (MOX) Fuel*. (WNA, 2011)

El torio es más abundante en la naturaleza que el uranio. Es fértil y no fisionable, y puede ser usado como combustible nuclear en conjunción con el material fisible, al generar uranio-233. El uso de torio como una nueva fuente de energía primaria ha sido una posibilidad tentadora durante muchos años. Extraer su valor energético latente a un costo rentable, requiere fuertes inversiones en investigación y desarrollo. Hay siete tipos de

reactores donde se puede utilizar el torio como combustible nuclear. Entre ellos el BWR, como los que tiene México, que por su flexibilidad permiten opciones de estructura y composición, como la moderación adicional de barras de combustible (Torio WNA, 2011).

En la gráfica 3.3.4, se observa el número de patentes (4,643 en total), publicadas en la base de datos de la *United States Patent and Trademark Office's* (USPTO, 2011), para el boléano <"nuclear fuel">, en el periodo 1990-2010, obtenidas con el programa *Patent Integration*, versión 2.2.6f (2011). Con el fin de no duplicar el recuento de las patentes, sólo se consultó la base de datos de USPTO (2011).

Gráfica 3.3.4. Número de patentes publicadas: 4,745, relacionadas con el combustible nuclear (*nuclear fuel*), en el periodo de 1990-2010.



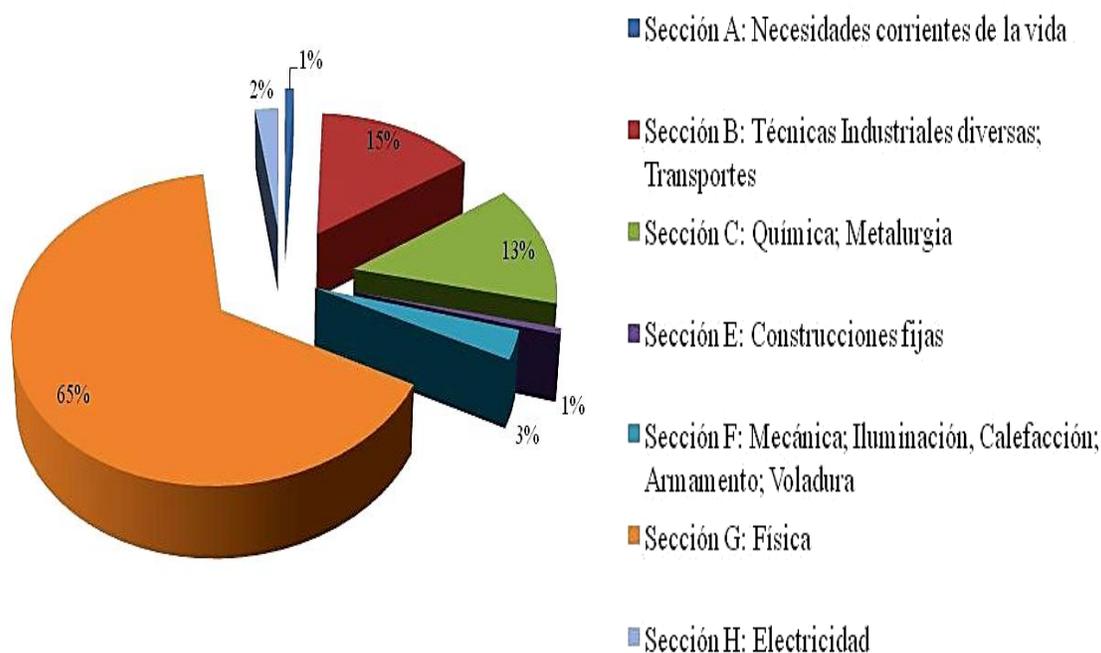
Fuente: USPTO (2011), a través del programa *Patent integration*.

Bajo este escenario de prospectivas tecnológicas para el combustible nuclear (*nuclear fuel*), el mercado tecnológico se rige por la producción de patentes, producto de las actividades científicas y tecnológicas que diferentes instancias privadas y públicas que invierten recursos en investigación y desarrollo. El desarrollo tecnológico del combustible nuclear (*nuclear fuel*), a través del análisis de patentes, tiene una congruencia con los ciclos económicos de *Kondratieff* de corto plazo, la gráfica 3.3.1, y 3.3.3, coinciden en los valles de las ondas para el periodo 2000-2002, donde se percibe un depresión tanto en la

producción minera de uranio como en sus precios, de igual forma este valle se observa en la producción de patentes para el combustible nuclear en este mismo periodo.

El 65% de las 4,745 patentes reportadas, están en la Clasificación Internacional de Patentes (CIP), en la sección G de Física, el mayor número de estas últimas, se reportan en la subclase G21C, que se refiere a los desarrollos tecnológicos de reactores nucleares; pueden estar clasificados también en las subclases: G06G 7/54, de ordenadores analógicos; de reactores de fusión G21B; y explosivos nucleares G21J. La gráfica 3.3.5, muestra el porcentaje del número de patentes por sección de la clasificación CIP, para el combustible nuclear en el periodo de 1990-2010.

Gráfica 3.3.5. Distribución del porcentaje de patentes por sección de la clasificación internacional de patentes en el periodo de 1990-2010. Total de patentes 4,745.

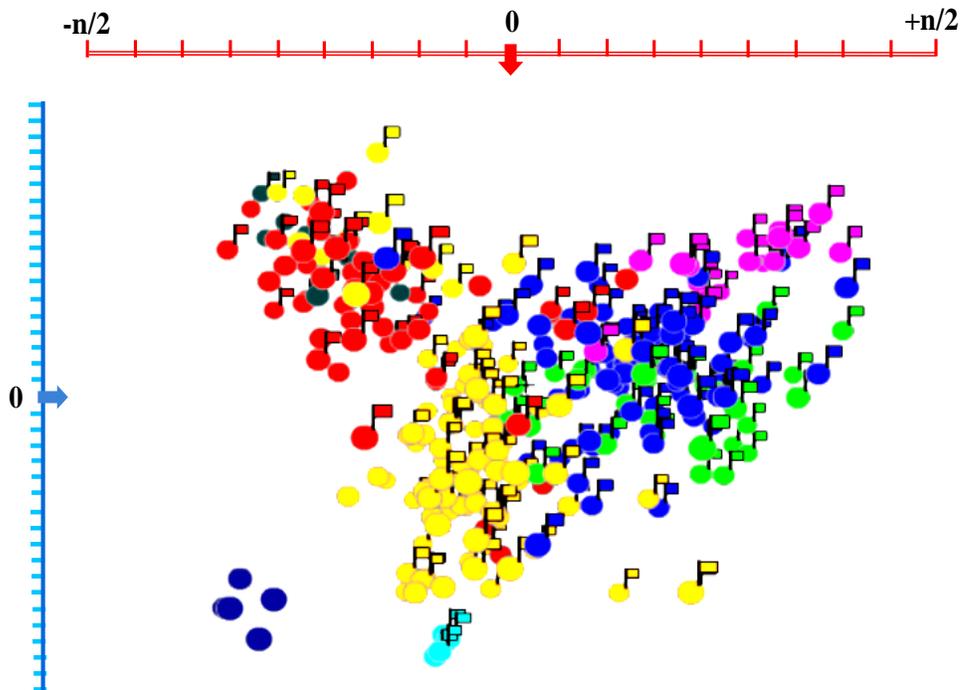


Fuente: USPTO (2011), a través del programa *Patent integration*.

Otra de las clasificaciones es la subclase G21D, que se refiere a la planta de energía nuclear (*nuclear power plant*), en el desarrollo de computadores analógicos eléctricos o magnéticos, y la simulación de la física nuclear clasificada en la subclase G06G 7/54. Como se mencionó en el capítulo 2, el desarrollo tecnológico nucleoelectrónico no se centra en un solo campo de la ciencia. El análisis cuantitativo arrojó información referente a

las investigaciones sobre el cemento *portland*, material indispensable en la construcción de obra civil de las centrales nucleoelectricas, en este apartado corroboramos que estas investigaciones se pueden convertir en patentes, tal como observamos, en la grafica 3.3.5, la sección E de construcciones fijas. La gráfica 3.3.6, nos muestra la distribución de las 4,745 patentes reportadas en la USPTO (2011), alrededor del boléano <"nuclear fuel">, señalando con un banderín las patentes con la clasificación CIP, G21C, para los 10 principales titulares (círculos coloreados) con el mayor número de patentes.

Gráfica 3.3.6. Distribución de las patentes, por relevancia, alrededor del boléano <"nuclear fuel">, en el periodo de 1990-2010, el banderín indica las patentes con clasificación CIP, G21C.

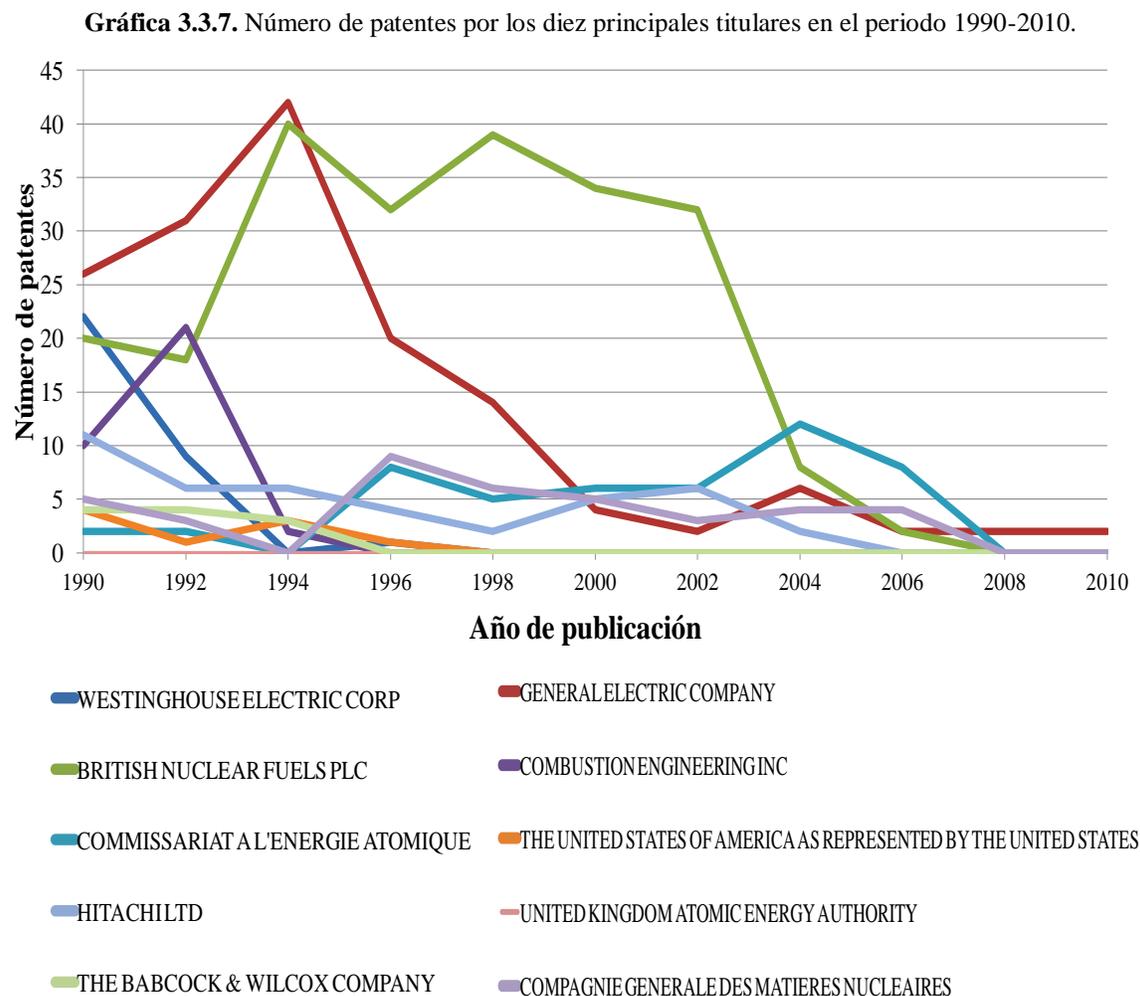


Fuente: USPTO (2011), a través del programa *Patent Integration*.

La nacionalidad de los titulares con mayor número de patentes, clasificadas por la CIP, en la sección G Física, sobre combustible nuclear (*nuclear fuel*), coinciden, algunas de ellas, con los tres países que cuentan con el mayor número de centrales nucleoelectricas, Estados Unidos, Francia y Japón. *Westinhouse Electric Corporation* (282 patentes), *General Electric Company* (270 patentes), *The Babcock & Wilcox Company* (53 patentes), *Combustión Engineering Inc.* (98 patentes), son empresas privadas norteamericanas con un

fuerte arraigo en la investigación y desarrollo de la energía nuclear, que se desarrollaron muy caucanamente con la industria militar estadounidense.

La grafica 3.3.7, muestra el número de patentes por titular, de las diez empresas que reportan el mayor número de patentes en combustible nuclear, en el periodo 1990-2010.



Fuente: USPTO (2011), a través del programa *Patent Integration*.

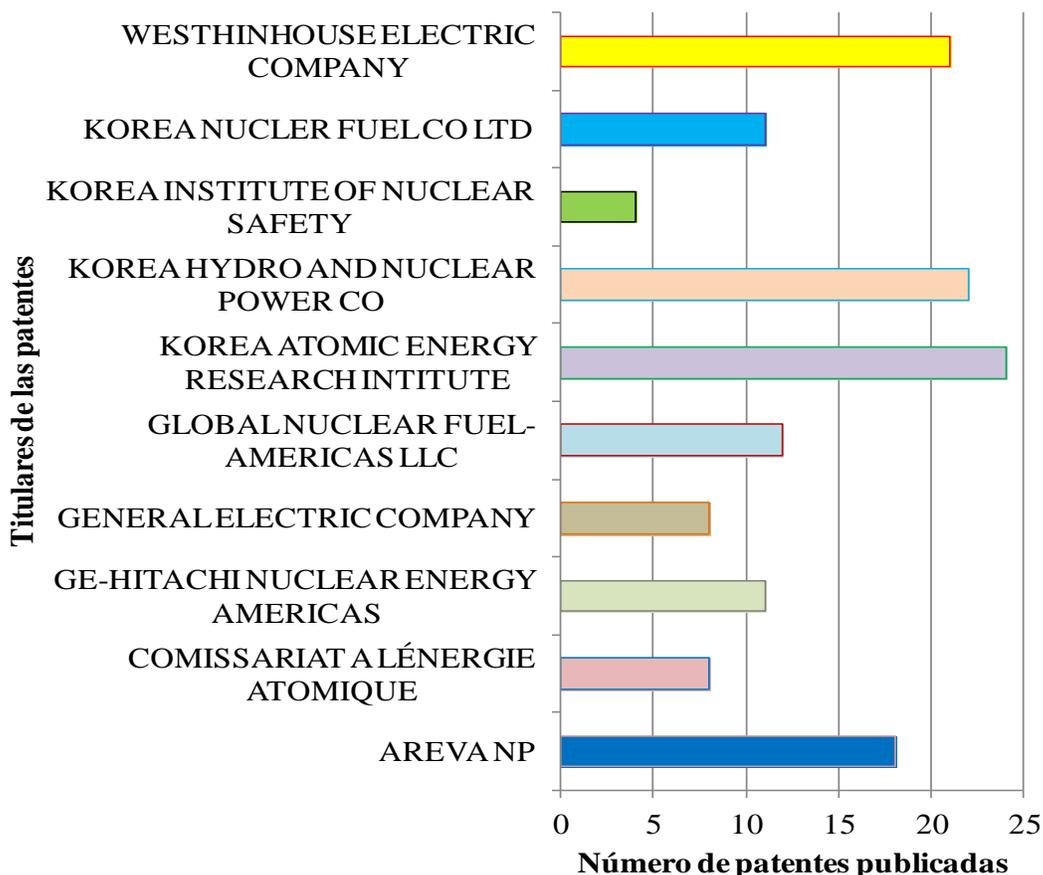
El *Commissariat a L'Energie Atomique* (74 patentes) y *Compagnie Generale des Materies Nucleaires* (41 patentes), son empresas paraestatales francesas. *Hitachi LTD* (78 patentes), es una empresa privada japonesa. El Reino Unido, es otro de los países dentro de los 10 productores con el mayor número de patentes en combustible nuclear (*nuclear fuel*), las empresas *British Nuclear Fuels PLC* (178 patentes) y *United Kindgdom Atomic Authority* (52), son empresas paraestatales.

El emporio industrial de la empresa *The Babcock & Wilcox Company (B&W)*, nace de la patente *Stephen Wilcox patents the water tube boiler*, que es una caldera; en el lenguaje coloquial del anglicismo *boiler*, que es utilizado en México para nombrar al calentador de agua para el baño; los reactores de agua en ebullición (*Boiling Water Reactor, BWR*), también es un *boiler* (caldera) que en lugar de usar gas usa el calor producido por la fisión de los materiales radiactivos. La importancia de la patente de la empresa *B&W*, es un ejemplo que nos dice cómo una invención puede desarrollar toda una industria a lo largo del tiempo. *B&W* en su desarrollo industrial, incorporó en su organización, desde sus inicios en 1867, el departamento de investigación y desarrollo, desde entonces esta empresa ha tenido una participación importante en el desarrollo socioeconómico del pueblo norteamericano, desde su participación en la construcción de una simple caldera para calentar el agua y bañarse en épocas invernales, hasta el desarrollo de materiales y procesos para el *Proyecto Manhattan* en 1943-45; el diseño del primer submarino nuclear *USS Nautilus*, en 1953; y la formación del complejo industrial *Babcock & Wilcox Nuclear Power Generation Group, Inc.*, en 2007 (B&W, 2011).

Con respecto a las patentes relacionadas con el uranio y el plutonio, en el proceso del reciclaje del combustible utilizado en las centrales nucleoelectricas, se reportaron 13 patentes. Las empresas que más reportaron fueron la *Hitachi- General Electric Nuclear Energy LTD* y el *Commissariat a L'Energie Atomique*. En México se tienen registradas 108 patentes con el boleano en combustible nuclear, <"nuclear fuel">. Los titulares son: la *British Nuclear Fuels PLC* (45 patentes); la *Global Nuclear Fuel- Americas LLC* (30 patentes); la *Mitsubishi Nuclear Fuel* (28 patentes); la *Nuclear Fuel IND LTD* (4 patentes); y la *Nippon Nuclear Fuels* (1 patente). El periodo de publicación de estas patentes es de 1990 al 2010 (USPTO, 2011).

En torno a la seguridad la clasificación internacional de patentes (CIP), las ubica en la subclase G21F, que se refiere a la protección contra, la radiación X, radiación gamma, la radiación corpuscular, o el bombardeo de partículas y su tratamiento. Del análisis de patentes se reportan a continuación la selección de los titulares con el mayor número, en la gráfica 3.3.8.

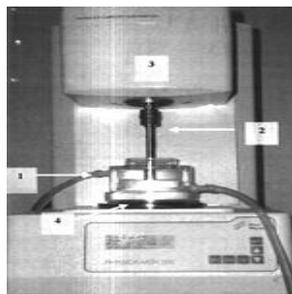
Gráfica 3.3.8. Empresas con el mayor número de patentes publicadas para el booleano < "nuclear safety" >, reportadas en la subclase G21F, de la CIP, en el periodo 1990-2010



Fuente: USPTO (2011), a través del programa *Patent Integration*.

El país más productivo en patentes relacionadas con la seguridad nuclear (*nuclear safety*) es Corea con 61 patentes, seguida de Estados Unidos de Norteamérica con 29 patentes. Estos resultados son congruentes con las líneas de investigación reportadas en el análisis bibliométrico del capítulo 2. Las dos patentes que reporta el Dr. Espinosa en entrevista (2011), de la UAM Iztapalapa, se refieren a 1) Patente. Invento relacionado con un instrumento para medir propiedades reológicas (viscosidad, esfuerzos de corte) en la interfaz de dos fluidos inmiscible; y 2) En conjunto con el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), se tiene un registro de propiedad intelectual de un programa de cómputo para estimar temperaturas de formación en pozos geotérmicos. A continuación presentamos la ficha publicada en la gaceta del Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI, 2011).

La ficha que se presenta, refleja la información que fue publicada en la Gaceta.

| | | |
|--|---|---|
| Figura Jurídica: | Patentes de Invención |  |
| Tipo de documento: | Patente | |
| Oficina, No de Patente y Tipo de documento: | MX 274282 B | |
| Fecha de concesión: | 01/03/2010 | |
| Número de solicitud: | MX/a/2009/006836 | |
| Fecha de presentación: | 18/01/2005 | |
| Inventor(es): | GILBERTO ESPINOSA PAREDES, EDUARDO JAIME VERNON CARTER, JUAN PABLO PEREZ OROZCO, Bella Vista No. 225, Col. San Nicolas Tolentino, 09860, IZTAPALAPA, Distrito Federal | |
| Titular: | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA; Prolongación Canal de Miramontes No. 3855, Col. Ex- Hacienda San Juan de Dios, 14387, TLALPAN, Distrito Federal | |
| Agente: | SARA PÉREZ SALAZAR; Prolongación Canal de Miramontes No. 3855, Col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, 14387, TLALPAN, Distrito Federal | |
| Prioridad (es): | | |
| Clasificación: | <i>E21B47/00 (2006-01)</i> | |
| Título: | METODOLOGIA BASADA EN LA ADAPTACION DE UNA GEOMETRIA BICONO Y UNA CELDA DE MEDICION A UN REOMETRO COMERCIAL PARA LA DETERMINACION DE PROPIEDADES REOLOGICAS INTERFACIALES. | |
| Resumen: | La presente invención está relacionada con la industria manufactura de equipo para laboratorio e industria, y con la metodología para la medición de propiedades físicas de diversos materiales, empleando estos equipos, en diferentes fases e inclusive para alimentos. Más específicamente, se trata de un equipo modificado y una metodología para medir propiedades interfaciales de corte. En contraste con la metodología y equipo del estado de la técnica, los que comprenden las enseñanzas de la presente invención tienen la ventaja de la fácil implementación en los actuales reómetros convencionales que cuentan con un sofisticado equipo que le permita tener mayor sensibilidad durante las mediciones y hace posible la medición de los parámetros mínimos requeridos que puedan ser aplicados junto con el desarrollo de las ecuaciones y modelos existentes en la literatura, en la evaluación de las propiedades reológicas interfaciales. El proceso se caracteriza por los pasos | |

consistentes en la formación de la interfase en primera instancia, y en la determinación de los diferentes parámetros enseguida; dicha formación de interfase se lleva a cabo vertiendo la solución acuosa sobre un baño refrigerante, en seguida bajando el bi-cono, y finalmente, verificando la ubicación del bi-cono en la interfase.

Fuente: IMPI (2011)

En entrevista, el Dr. François (2011), refiere que tenemos una gran brecha científica y tecnológica para alcanzar los estándares que el desarrollo nuclear en México necesita, su institución no reporta ninguna patente; y mientras el estado Mexicano, no considere a la energía nuclear como una prioridad para el desarrollo sustentable, las investigaciones solo serán de soporte para la infraestructura nucleoelectrica actual y no para desarrollos tecnológicos.

La patente cierra el ciclo de investigación y desarrollo de una invención y el periodo de protección que otorga (20 años) brinda la oportunidad de generar mejoras al producto o recuperar la inversión para seguir innovando, como un proceso continuo del investigador o la institución, sin embargo de los quince años que tiene en operación la central nucleoelectrica de Laguna Verde, Veracruz, aun no tenemos el suficiente *know how*, para desarrollar proyectos tecnológicos por sí solos, el aprendizaje que hasta ahora se ha capitalizado no es suficiente, es necesario que las políticas de Estado, se oriente hacia este campo del conocimiento, de tal manera que los investigadores reciban los recursos necesarios para impulsar la investigación y desarrollo y la formación de capital humano, abocado a las centrales nucleoelectricas.

En la clausura de la décima Reunión General Bienal, celebrada en Nueva Delhi, la Asociación Mundial de Operadores Nucleares (WANO, 2011), con el fin promover la excelencia en la operación segura de la energía nuclear comercial, reconocieron las enormes contribuciones hechas por ocho profesionales del sector, entre estos galardonados se encuentra el mexicano Rafael Fernández de la Garza de la Comisión Federal de Electricidad.

La operación de la Central Laguna Verde ha sido exitosa, ya que en el 2006 superó del promedio de las centrales nucleares de los Estados Unidos y del resto del mundo¹, según la *World Association of Nuclear Operators* (WANO, 2006). También obtuvo el Certificado otorgado por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) de Industria Limpia, la renovación de las Certificaciones del ISO-9001 y el ISO-14001, así como la acreditación de los Laboratorios (Rivera, 2007).

Por esos resultados en la Planeación estratégica 2007-2011, se señala que la Central Laguna Verde es una opción viable en México, al continuar con recargas que permitirán un Factor de Capacidad superior a 90% y los otros conceptos que darán la obtención de la calificación Nivel 1 de WANO en este periodo estratégico. Rivera (2007) apunta la buena noticia para la Industria Nuclear en México, que publicó el diario REFORMA el 01 de Noviembre de 2006: “Al presidente de México, Felipe Calderón, le interesa impulsar durante su mandato las fuentes de energía alternas a los hidrocarburos, sabido es que los hidrocarburos (petróleo, carbón ó gas natural) son finitos, mientras que apetito del mundo por la energía es infinito. Como ustedes saben, México posee una planta nuclear que genera energía a partir de uranio enriquecido: la famosa Central termonuclear de Laguna Verde. Declaró que México puede y debe avanzar por el camino de la generación de energía por la vía nuclear”. Estamos por finalizar el 2011 y estas aseveraciones aún están en espera de una política de Estado que conduzca a México por la generación nucleoelectrica.

Hasta aquí hemos analizado los resultados de la investigación y desarrollo en centrales nucleoelectricas, los tres ejes temáticos revisados: reactores nucleares, combustible nuclear y seguridad nuclear, nos muestran que existen avances sistemáticos en la creación de conocimiento. Se ha creado evidencia de que los países que cuentan con el mayor número de centrales nucleoelectricas dominan las perspectivas de este conocimiento y su mercado. Los países que avanzan vertiginosamente como Corea ponen

¹ Mientras que Laguna Verde obtuvo un índice de 95.5% en el año 2006, el promedio de plantas en EEUU fue alrededor de 90% y en el resto del mundo de 80%. Se destaca que las Recargas de Combustible se realizan en forma sistémica en menos de 30 días.

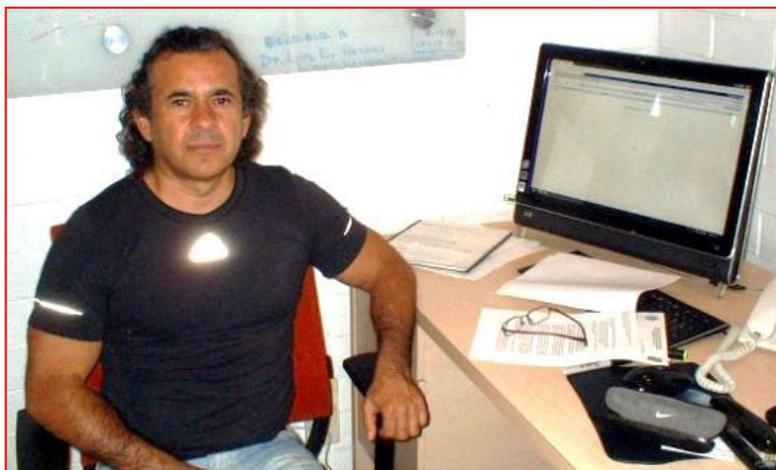
de manifiesto la importancia de las nucleoelectricas para el desarrollo sustentable. México tiene la intención de continuar con su programa de expansión de centrales nucleoelectricas, pero existen diferentes obstáculos que frenan este desarrollo. En el siguiente apartado conoceremos la opinión de tres expertos mexicanos en centrales nucleoelectricas, académicos de las IES, nos propondrán soluciones para alentar la investigación y desarrollo en las IES en este campo de la ciencia.

3.4. La propuesta de las IES para impulsar la I+D en centrales nucleoelectricas.

Con el fin de no caer en una posición subjetiva que mal interprete los conceptos relacionados con los obstáculos que presentan los investigadores de las IES, para el desarrollo de sus proyectos tecnológicos y conocer las propuestas que tienen para impulsar o desalentar la investigación y desarrollo en centrales nucleoelectricas, exponemos de manera textual, las respuestas a dos preguntas realizadas a tres científicos miembros del Sistema Nacional de Investigadores, referenciados en el análisis cuantitativo del Capítulo 2 como investigadores-académicos de las IES. Los entrevistados son:

El Dr. Gilberto Espinosa Paredes investigador y académico de la UAM-Iztapalapa.

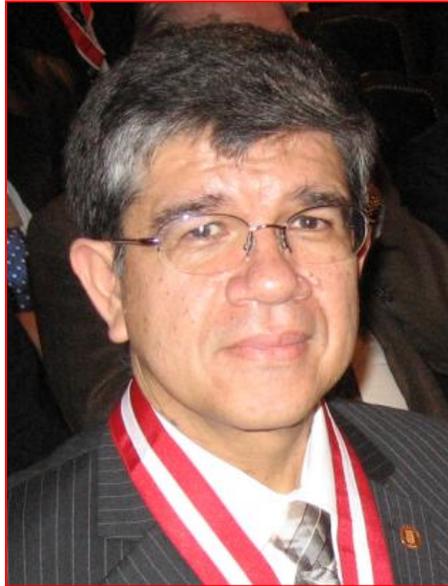
Figura 4.4.1. Imagen de la Entrevista video grabada al Dr. Espinosa (2011)



Fuente: Imagen propia, tomada en el cubículo del Dr. Gilberto Espinosa Paredes, Departamento de Ingeniería de Procesos Hidráulicos, Edificio T, oficina 250. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (2011)

Dr. Edmundo del Valle Gallegos de la ESFM-IPN.

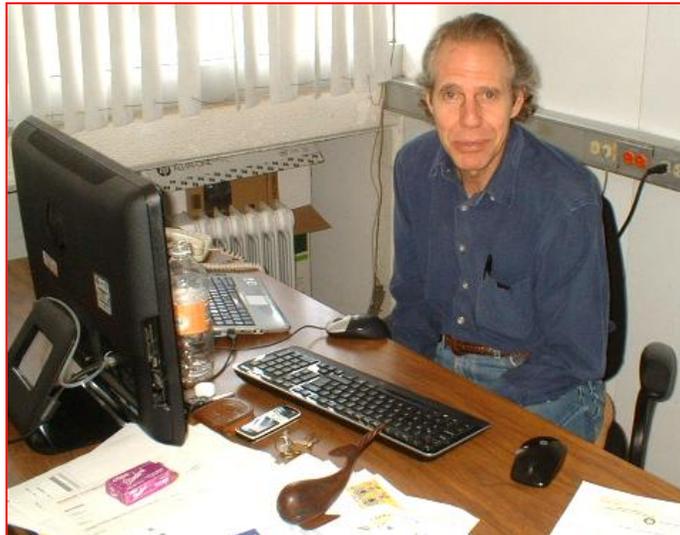
Figura 3.4.2. Imagen del Dr. Del Valle (2011)



Fuente: Imagen proporcionada por el Dr. Gallegos (2011)

Dr. Juan Luis François Lacoutre de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Figura 3.4.3. Imagen de la Entrevista video grabada al Dr. François (2011)



Fuente: Imagen propia, tomada en el cubículo del Dr. Juan Luis François Lacoutre. Edificio T de Posgrado, 2° piso. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México (2011).

Las entrevistas al Dr. Espinosa y al Dr. François, fueron video grabadas en sus oficinas, y se anexan en un disco compacto en los anexos de esta investigación; la del Dr.

Del Valle se realizó vía internet, y también se incluye en los anexos. La primera pregunta realizada es la siguiente:

“¿Cuáles son los principales obstáculos que enfrentan para el desarrollo de sus proyectos?”

El Dr. Espinosa responde:

“...La respuesta no está en el sentido político, México tiene un proyecto muy ambicioso, de acuerdo con la prospectiva nacional, de crecer el 4% anual, eso abre las posibilidades tanto en alternativas energéticas como en las convencionales; en las alternativas incluyendo la nuclear...más bien en lugar de ser una amenaza, los obstáculos vienen siendo los elementos que se requieren para generar energía eléctrica; para contar con todas las fuentes de energía incluyendo la nuclear...los obstáculos siguen siendo científicos, tecnológicos; de los problemas cotidianos que se presentan al atacar un problema y entenderlo...”

El Dr. Del valle menciona al respecto:

“...Los muy reducidos recursos con que se apoya a un proyecto... no es suficiente, pues el área de la ingeniería nuclear requiere más apoyos para fortalecerse nuevamente ya que otras áreas como lo es la experimental necesita recursos fuertes para actualizarse...”

La opinión del Dr. François es la siguiente:

“...El principal obstáculo que yo vería es la falta de definición de una política nacional en el sector nuclear, es decir, que hubiera realmente una posición favorable a desarrollarla por la tecnología nuclear y construir nuevos reactores; visto esto desde un sentido más amplio, no solo ir y comprar reactores e instalarlo, sino crear una capacidad nacional tanto de desarrollo como de industria, que pudiera apoyar este desarrollo, como lo han hecho otros países, en particular el más reciente, podemos hablar de Corea del Sur, que actualmente ya es un país independiente y vende reactores nucleares a otros países, tecnología nuclear, pilas de combustible; entonces creo que el principal obstáculo es que no tengamos una definición con la cual realmente el producto de los trabajos vean un futuro; los mismos estudiantes vean que hay un futuro en el cual se van a desarrollar en el área...nosotros estamos haciendo nuestro mejor esfuerzo en base al conocimiento, a los convenios que tenemos, etcétera; pero falta que realmente se vuelquen, se viertan, en un desarrollo tecnológico que sirva al país de manera concreta...”

Como podemos observar son tres puntos de vista diferentes, que convergen a lo político y lo económico; mencionando tres principales factores que inciden en el desarrollo de sus proyectos, para el Dr. Espinosa el científico y el tecnológico; para el Dr. Del Valle el factor financiero, que es insuficiente; y para el Dr. François no hay una directriz en las

políticas de estado que asegure el buen desarrollo de los proyectos. La segunda pregunta fue la siguiente:

¿Qué propone usted para impulsar o desalentar la investigación y desarrollo en materia de centrales nucleoelectricas en México?

El Dr. Espinos comenta:

“...Desde mi punto de vista creo que desde 1973, tal vez antes, en México se tiene una inercia en materia nuclear, y ya una tradición, entonces a pesar de todas las vicisitudes que se han presentado a lo largo de toda esta historia, sigue habiendo gente interesada en formarse en estas líneas de investigación...seguimos habiendo gente interesada en investigar, en hacer investigación, ahora ya con los nuevos reactores de generación III+ y de IV generación, entonces, es complicado poder morir digamos, desde el punto de vista de investigación nuclear y de formación de recursos...tenemos una central que en este año inicia con su nueva repotenciación, estamos hablando de 120%, y también con una nueva vida útil de otros sesenta años, aproximadamente entre las dos unidades, entonces tenemos mucho que hacer durante tos esos años...”

El Dr. Del Valle indica al respecto:

“...Antes de que sea demasiado tarde considero de vital importancia que quienes dirigen nuestro país definan un plan de desarrollo en energía que incluya abiertamente a la tecnología nuclear, estableciendo con toda claridad la potencia eléctrica que deberán generar para que de esto se realice un análisis detallado de la cantidad de recursos humanos que será necesario formar en las diferentes ingenierías y muy en particular los ingenieros nucleares que requerirá nuestro país para enfrentar tal reto. Lo contrario es lo que estamos viviendo día con día lo que definitivamente está desalentando la investigación y desarrollo en esta materia...”

El Dr. François explica:

“...Voy hablar de alentar porque no quisiera que desapareciera...creo que lo que tenemos que hacer es coordinar el sector energético, en particular el relacionando con la energía nuclear...si queremos ser un país que domine en cierta medida la tecnología nuclear, tenemos que ponernos una estrategia, que tenga metas; probablemente al principio, para ir más rápido, tengamos que asimilar tecnología ya existente, extranjera, e irla incorporando, para que después nosotros podamos desarrollar la nuestra con apoyo tanto de los institutos de investigación, como de universidades; pero también una industria nacional que pudiera incorporarse a este esfuerzo: pero necesitamos plantearnos estrategias con objetivos a futuro...así, solita, una universidad que diga voy a hacer un reactor, es imposible realmente...”

Lo fundamental, para alentar la I+D en centrales nucleoelectricas en México, es coordinarse y plantarse estrategias a futuro; capitalizar el aprendizaje y la experiencia de la nucleoelectrica de Laguna Verde; no esperar más, porque nuestra dependencia tecnológica

nos puede conducir a un condicionamiento operante sin libertad de elección. Cabe señalar que entre las IES no sólo coinciden o divergen sobre el apoyo que las políticas públicas que el Estado promueve para la investigación y desarrollo de las centrales nucleoelectricas en México, sino que existe un impulso diferenciado a la investigación sobre energía nuclear en ellos, así se observó en el análisis bibliométrico y de la propia voz de los investigadores entrevistados, no existe duplicidad en las líneas de investigación. Quizá uno de los retos a vencer es la poca atención que en los círculos gubernamentales se le presta al sector nuclear. Prevalece una falta de integración entre quienes toman decisiones y diseñan las políticas públicas, quienes legislan en la materia y la comunidad científica. El puente necesario entre estos agentes es el gestor tecnológico.

5. Conclusiones

No estudio por saber más, sino por ignorar menos

Sor Juana Inés de la Cruz

Para poner de manifiesto las aportaciones de las IES en México, había estado ausente el análisis empírico a partir de los indicadores cuantitativos y de patentes, por lo que esta investigación aporta descubrimientos en torno al complejo vínculo de universidad-Estado-empresa. Se pudo constatar, que si bien el Estado ha canalizado esfuerzos para fortalecer el vínculo universidad-empresa, las IES aún tienen obstáculos a vencer para comercializar y difundir las tecnologías desarrolladas en los laboratorios de investigación y en otras partes del campus. Una innovación en el proceso de vinculación de las IES con la empresa, es la creación de las Oficinas de Transferencia Tecnología, que han generado un potencial de ingresos, que suelen ser reinvertidos en la investigación académica. Este modelo vinculación en México, coincide con los casos teórico empírico de los diferentes autores estudiados. La creación de redes de investigación nacionales e internacionales ha permitido la colaboración y fortaleciendo este sector.

Dadas las características del sector eléctrico mexicano, la Comisión Federal de Electricidad es la instancia legal para administrar la única central nucleoelectrica en México, la de Laguna Verde Veracruz. La vinculación de las universidades con esta empresa, se lleva a cabo a través de los institutos públicos de investigación del sector energía como son: el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares el Instituto de Investigaciones Eléctricas, y la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias. Las IES participan principalmente en actividades de consultoría y capacitación en diferentes especialidades, bajo los tres tópicos estudiados, diseño de reactores, seguridad y combustible nuclear.

Contrastando, la vinculación universidad-Estado-empresa más dinámica, se muestra en los países con el mayor número de nucleoelectricas operando, como son Estados Unidos, Francia, Japón, Rusia y Corea, entre otros, donde prevalecen sistemas y arreglos institucionales que permiten la comercialización de la investigación generada en las universidades, así como la creación de vínculos entre la investigación básica universitaria y las necesidades de la sociedad, generando *spin off* académicos. Las universidades en México no participan con *spin-offs* académicos en el sector nucleoelectrico, debido a sus limitaciones legales.

El análisis de la producción científica y de patentes, los indicadores muestran que Japón, Francia, Rusia, Corea y Estados Unidos marcan la pauta tecnológica en investigación y desarrollo de centrales nucleoelectricas. Las universidades en México aportan el 0.49 % de la producción científica nucleoelectrica mundial, y cuenta con sólo dos patentes. Los principales esfuerzos se canalizan a seguridad nuclear, diseño de nuevos materiales, el reciclaje de los combustibles y el diseño de reactores nucleares con mayor eficiencia.

La organización internacional de las empresas nucleoelectricas (*World Nuclear Association*), ha permitido una serie de medidas normativas que aseguran una vigilancia continua al factor humano que opera en sus instalaciones y a la infraestructura que las engloba. Las IES toman como líneas de investigación, la normatividad, regulación, desarrollo e innovación en procesos operativos y de diseño materiales para reactores. Esto muestra los esfuerzos para desarrollar capacidades tecnológicas en áreas afines al desarrollo de tecnología nuclear. Se descubrió que muchas de estas investigaciones carecen de una gestión tecnológica (incluyendo un esquema de vinculación) eficiente para promover los avances y logros, así como para implementar los cambios tecnológicos, que disminuyan nuestra dependencia tecnológica.

Respecto a la trayectoria tecnológica de Laguna Verde, la vinculación con las universidades le ha permitido innovar en los procesos de operación y administración de la nucleoelectrica, siendo un proceso de mejoramiento continuo, esta práctica le ha otorgado certificaciones internacionales por su buen manejo. Las experiencias obtenidas durante los diecinueve años de operación de la primera unidad de Laguna Verde (y catorce de la segunda unidad), han demostrado que el país es capaz de operar centrales nucleoelectricas, con parámetros de seguridad, calidad y economía, comparables a los de las mejores plantas del mundo.

Sin embargo México aun no capitaliza este aprendizaje en desarrollos tecnológicos propios, no cuenta con patentes suficientes para poder incursionar en un mercado tecnológico y competir a nivel mundial. Es preciso seguir estrategias y líneas de política específicas para promover el avance tecnológico, una de ellas es proveer de un mayor

apoyo financiero directo a la investigación en ciencia y tecnología para el descubrimiento de nuevas ideas, así como garantizar una adecuada propiedad intelectual, del mismo modo crear un vínculo estrecho entre el sector público, la academia y el sector empresarial.

Otro descubrimiento de esta investigación es relativo a las limitadas expectativas laborales que tienen los egresados de estas áreas, lo que supone un capital humano especializado en el sector nucleoelectrico que se enfrenta a limitadas opciones de ejercer o de aplicar su conocimiento. Adicionalmente, los escasos presupuestos derivados de las Políticas de Estado, no consideran a la energía nuclear como fuente alternativa, ni como energía limpia. Los programas, Especiales de Ciencia y Tecnología e Innovación y el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2011-2025, carecen de una directriz específica del sector nucleoelectrico. Sin embargo el entusiasmo y el amor por la ciencia han permitido a investigadores mexicanos tener presencia en las redes científicas internacionales, así como generar y difundir en sus aulas, nuevo aprendizaje tecnológico.

La falta de una Política específica para el sector nucleoelectrico está ligada con la percepción social que se tienen en torno a la seguridad y contaminación. En México, aun existe un gran desconocimiento social de lo que es una central nucleoelectrica, de sus ventajas ambientales y económicas que se pueden derivar de ella. Es labor del Estado concientizar a la sociedad sobre sus alcances, el ejemplo que tenemos de otros países, convencidos de la sustentabilidad y el impulso al desarrollo económico que implica esta tecnología.

Es loable el fuerte impulso que el Estado esta realizando para el sector de las energías renovables como la eólica, solar y biocombustible; y a los sistemas de captura de gases contaminantes, como el CO₂, derivado de las fuentes que utilizan energías fósiles. Con estas acciones se pretende disminuir los gases de efecto invernadero, esto se acentúa a un más con la reciente aprobación del poder Legislativo de la Ley del Cambio Climático, sistematizando esta política de sustentabilidad. Con la diversificación para la generación de energía eléctrica se tiene una mejor perspectiva en la seguridad de su suministro. Esto es un incentivo para que los mercados tecnológicos entren a una dinámica de competencia impulsando la inversión privada y la innovación. Sin embargo las nucleoelectricas no

tienen este mismo alcance, las limitaciones legales para que la iniciativa privada invierta en esta tecnología mantienen estancadas las investigaciones y con una dependencia tecnológica que no impulsa la competitividad en este sector.

Existe un capital humano altamente capacitado y con pocas posibilidades de desarrollo. Modificaciones a la legislación, por ejemplo al Artículo 27 constitucional, permitiría una economía transversal para el sector nucleoelectrico, creándose Empresas de Base Tecnológica, *Spin Off* académicos y corporativos, para incursionar en la cadena productiva nucleoelectrica. Tenemos un mercado potencial muy cerca, el de Estados Unidos con 104 centrales nucleoelectricas, al cual podríamos suministrar productos y servicios. Ya hemos capitalizado experiencias exitosas en otros sectores de la industria como es la automotriz y la aeronáutica, con las cuales se han desarrollado regiones del país.

Se puede decir que prevalece un escenario desventajoso para la I+D del sector nucleoelectrico en México, derivado de la incertidumbre que presentan la seguridad de las centrales nucleoelectricas, a raíz de los diferentes accidentes que se han suscitado a lo largo de la historia de esta tecnología, y en particular el último surgido en Fukushima, Japón en 2011, la percepción social se ha recrudecido en algunas regiones del mundo para su no proliferación, aunado a esto, el escaso presupuesto y las limitadas posibilidades de empleo a los egresados de ciertos programas académicos.

A pesar de las oscilaciones en los programas nucleoelectricos del mundo, muchos países han mantenido políticas energéticas que contemplan la utilización creciente de fuentes nucleares. Tal es el caso de Francia, Japón, Finlandia, Rusia, China, India, Corea, Sudáfrica, Suiza, Paquistán, Taiwán y México.

La problemática puesta de manifiesto en este documento, plantea la necesidad de continuar desarrollando líneas de investigación que se desprenden de esta tesis, como la evaluación de proyectos tecnológicos nucleoelectricos, con pequeños y medianos reactores, que impulsen sectores como el de la minería; proponer un estudio para que se promulguen políticas publicas que den a los investigadores que han patentado o pretenden hacerlo, financiamientos para la comercialización y la creación de empresas de base tecnológica. La fuerte tendencia mundial para que las IES tengan recursos financieros propios, a través de

la creación de *spin Offs* académicos y oficinas de transferencia tecnológica, requiere de una gestión y un estudio de factibilidad del entorno de la cadena productiva nucleoelectrica para incursionar con los conocimientos derivadas de las IES y no se queden solo en el papel. Las centrales nucleoelectricas son una fuente de energía sustentable.

Bibliografía.

Abdel, Musik Guillermo y Romo Murillo David (2004). *Sobre el Concepto de Competitividad*. Serie de Documentos de Trabajo en Estudios de Competitividad Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM) Centro de Estudios de Competitividad. México D. F. [En línea]. Recuperado el 25 de mayo de 2011.
http://cec.itam.mx/docs/Concepto_Competitividad.pdf

Agencia Internacional de Energía (AIE, 2008). *World Energy Outlook 2008 (WEO, 2008). Resumen ejecutivo*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Paris, Francia. [En línea]. Recuperado el 23 de marzo de 2011. Páginas 6-9.
http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2008/WEO2008_es_spanish.pdf

Agencia Internacional de Energía (AIE, 2010). *World Energy Outlook 2010 (WEO, 2010). Resumen ejecutivo*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Paris, Francia. [En línea]. Recuperado el 13 de marzo de 2011. Páginas 8-12.
http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2010/weo2010_es_spanish.pdf.

Agencia Internacional de Energía. *World Energy Outlook 2008 (WEO, 2008). Resumen ejecutivo*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Paris, Francia.

Alba, Fernando (1997). *Introducción a los energéticos, pasado, presente y futuro*. El Colegio Nacional. México D. F.

Alcántar, Enríquez Víctor Manuel, Arcos Vega José Luis, Mungaray Lagarda Alejandro (2006). *Vinculación y Posicionamiento de la Universidad Autónoma de Baja California, con su entorno social y productivo*. Universidad Autónoma del Estado de Baja California. Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Enseñanza Superior. México D. F.

Ambriz, J. J. e I. Velasco, (1981). *La Licenciatura de Ingeniería en Energía*. Revista Foro Universitario, STUNAM. Agosto de 1981. [En línea]. Recuperado el 24 de abril de 2011.
http://cbi.izt.uam.mx/iph/transform.php?xml=profesor&pagina_id=74

Araiza Martínez Enrique (2006). *Simulación de transitorios y accidentes en el sistema de suministro nuclear de vapor de un reactor BLUR-5 empleado TRAC-BF1*. Tesis nivel de posgrado. Maestro en Ciencias (Ingeniería Nuclear). Escuela Superior de Física y Matemáticas. Instituto Politécnico Nacional. México.

Arellano, Gómez, Juan *et al* (2007). *La Energía Nuclear y la Disminución de Gases de*

Efecto Invernadero. Seminario Cambio Climático, el Caso de México 5 de septiembre de 2007. Palacio de Minería. Universidad Nacional Autónoma de México- Academia de Ingeniería, A. C. [En línea]. Recuperado el 17 de mayo de 2011.

AREVA, (2011). *AREVA's Reactors and Services operations*. [En línea]. Recuperado el 23 de noviembre de 2011. <http://www.aveva.com/EN/operations-1597/manufacturing-and-maintaining-nuclear-safety-and-performance-reactor-operations.html>

Argonne National Laboratory (ANL, 2006). *U. S. Department of Energy*. International Nuclear Safety Center, [En línea]. Recuperado el 8 de junio de 2011. <http://www.ne.anl.gov/research/ierc/intnlcoop.html>

Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES, 1996). Manual Práctico sobre Vinculación Universidad-Empresa. [En línea]. Recuperado el 2 de noviembre de 2011. Universidad de Barcelona Fundación Bosch. Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI). http://www.anui.es/servicios/d_estrategicos/libros/lib28/presenta.htm

Babcock, Wilcox & Company, (B&W, 2011). *History*. [En línea]. Recuperado el 17 de noviembre de 2011. <http://www.babcock.com/about/history.html>

Banco Mundial (BM, 2011). *Federación Rusa*. Indicadores en gasto de investigación y desarrollo. [En línea]. Recuperado el 8 de noviembre de 2011. <http://datos.bancomundial.org/pais/federacion-de-rusia>

Banco Mundial (BM, 2011). *Investigadores dedicados a investigación y desarrollo (por cada millón de personas)*. [En línea]. Recuperado el 13 de noviembre de 2011. C:\Documents and Settings\Propietario\Mis documentos\Maestria 3 Semestre 2011\Tesis\Capitulo 3\Investigadores dedicados a investigación y desarrollo (por cada millón de personas) Datos Tabla.mht

Bauer, Mariano (1984). *Carbón y Uranio como fuentes energéticas en México*. Programa Universitario de Energía. Coordinación de la Investigación Científica. Universidad Nacional Autónoma de México.

Bazán-Perkins, S.D., (2005) *La energía nuclear, una alternativa de sustentabilidad para resolver la demanda eléctrica en México. (Primera parte)*. Ingeniería, Investigación y Tecnología VI. 3. 187-205, 2005 (artículo arbitrado). Facultad de Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México. [En línea]. Recuperado el 5 de mayo de 2011. <http://www.ejournal.unam.mx/ict/vol0603/ICT06304.pdf>

Becerra, Rodríguez Noé (2008). *Nuevas Formas de Vinculación Academia-Empresa: la Visión de las Empresas*. Trabajo de grado, Maestría en Economía y Gestión de la Innovación. Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco. México D. F. Página 20-26.

Beiser, Arthur (1978). *Conceptos de Física Moderna*. McGraw-Hill de México, S. A de C. V. Naucalpan Estado de México.

Calva, Téllez E. (1988). *Laguna Verde ¿Un juego con el futuro?*, G. Vesari Editores, México, D. F.

Castan, Leopoldo (1963). *Energía Nuclear*. Enciclopedias Gasso. Barcelona, España.

Castañeda, Miguel, Medina Miguel, Quintanilla Juan, Coordinadores (1984). *Carbón y Uranio como fuentes energéticas en México*. Foro Permanente del Programa Universitario de Energía. Coordinación de la Investigación Científica. Universidad Nacional Autónoma de México.

Comisión Federal de Electricidad (2011). *Estadísticas* [En línea]. Recuperado el 7 de junio de 2011.

<http://www.cfe.gob.mx/QuienesSomos/estadisticas/Paginas/Indicadoresdegeneración.aspx>.

Comisión Nacional de Seguridad Nacional y Salvaguardias (CNSNS, 2011). *Normas Oficiales Mexicanas*. [En línea]. Recuperado el 28 de octubre de 2011.

http://www.cnsns.gob.mx/acerca_cnsns/marco_normativo/normas_oficiales_mexicanas.p

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2006). *Informe General del Estado de la Ciencia y la Tecnología en México 2006*. [En línea]. Recuperado el 29 de marzo de 2011. Dirección de Análisis Estadístico.

<http://www.siicyt.gob.mx/siicyt/docs/Estadisticas3/Informe2006/Inicio.pdf>

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2009). *Indicadores de Actividades Científicas y Tecnológicas*. Edición de bolsillo. [En línea]. Recuperado el 29 de marzo de 2011.

http://www.siicyt.gob.mx/siicyt/docs/contenido/Indicadores_2009.pdf

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, 2006). *Caso de éxito de proyectos reportados, 2006*. [En línea]. Recuperado el 13 de noviembre de 2011.

<http://www.siicyt.gob.mx/siicyt/images/casosexi2006.pdf>

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, 2007). *Número de Proyectos de*

Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico por Sector Administrativo 2007. [En línea]. Recuperado el 13 de noviembre de 2011.

http://www.siicyt.gob.mx/siicyt/cms/paginas/proyectos.jsp?pOpcion=Menu_Principal

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, 2008). Programa Institucional 2008-2012. [En línea]. Recuperado el 8 de noviembre de 2011.

<http://www.siicyt.gob.mx/siicyt/docs/contenido/ProgInst0812.pdf?pSel=>

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, 2008). *Programa Institucional 2008-2012*. [En línea]. Recuperado el 8 de noviembre de 2011.

<http://www.siicyt.gob.mx/siicyt/docs/contenido/ProgInst0812.pdf?pSel=>

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, 2009). *Informe General del Estado de la Ciencia 2009. Estadísticas*. [En línea]. Recuperado el 6 de noviembre de 2011.

<http://www.siicyt.gob.mx/siicyt/cms/paginas/IndCientifTec.jsp>

Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2011). *Indicadores Demográficos 1990-2030*. [En línea]. Recuperado el 7 de junio de 2011.

http://www.conapo.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=125&Itemid=203

Corona Treviño Leonel (2002), *Tecnología, innovación y ciclos económicos*. Teorías económicas de la innovación tecnológica. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales. Escuela Superior de Economía. México.

Crespi G., D'Este P., Fontana R., and Geuna A. The impact of academic patenting on university research and its transfer. *Research Policy*. Volume 40, Issue 1, February 2011. ELSEVIER. Page 55-68.

Del Valle, Gallegos Edmundo y François Lacouture Juan Luis (2007), *Estado Actual y Futuro en México de la Especialidad: Ingeniería Nuclear*. III Congreso Nacional de la Academia de Ingeniería “La Ingeniería en el Desarrollo de México” 17, 18 y 19 de Octubre de 2007 Palacio de Minería, México, D. F. [En línea]. Recuperado el 13 de abril de 2011.

<http://www.ai.org.mx/Estado/pdf/Estado%20Actual%20y%20Futuro%20en%20M%20E9xico%20de%20la%20Ingenier%20EDa%20Nuclear%20Congreso%202007.pdf>

Demirbas, Ayhan (2011). *Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes*. Original Research Article. *Energy Conversion and Management*, Volume 52, Issue 2 , February 2011 , Pages 1280-1287.

Díaz Nava, Moisés Josué (2009). *Aplicación del método de opciones reales en la evaluación de un programa de instalación de plantas nucleoelectricas*. Tesis Licenciatura (Ingeniero Eléctrico Electrónico)-UNAM, Facultad de Ingeniería. México, 2009.

Didriksson, Axel (2002). *La universidad del Futuro. La relación entre la educación superior, la ciencia y la tecnología*. Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de estudios sobre la universidad. Plaza y Valdés Editores. México. Página 35-55.

Dosi, Giovanni (1982). *Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change*. [En línea] Science Policy Research Unit, University of Sussex, Brighton U.K. Recuperado el 8 de junio de 2011.
http://www.eawag.ch/forschung/cirus/lehre/fruehere_veranstaltungen/hs08/downloads_ewv/Dosi_1982.pdf

Duarte, M. José Enrique (2005). *Vinculación Universidad-Sector Productivo. Hacia un modelo innovador para el desarrollo tecnológico*. Tesis doctoral. Universidad de Venezuela. Caracas, Venezuela.

Eibenschutz, Juan (2008). *La opción nuclear en México. La crisis del petróleo en México*. Foro Consultivo Científico y Tecnológico. Tecnológico der Monterrey. Club de Roma sección Mexicana. Páginas 163-170. [En línea]. Recuperado el 3 de junio de 2011.
http://www.foroconsultivo.org.mx/libros_editados/petroleo.pdf

Eisberg, Robert y Resnick Robert (2006). *Física Cuántica. Átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas*. Capítulo 5: Teoría de Schrödinger de la mecánica cuántica. LIMUSA WILEY. México, D. F. Páginas 159-162.

El Universal (2012). *Mexicano produce energía nuclear sin desechos*. Nota publicada el miércoles 25 de enero de 2012. Notimex/El Universal. [En línea]. Recuperado el 30 de abril de 2012. <http://www.eluniversal.com.mx/articulos/68670.html>

Electric Power Research Institute (EPRI, 2006). *Technology Pathways Toward Nuclear Energy in a Sustainable Energy System: Interim Report. Interim Report*. 1011770. [En línea]. Recuperado el 8 de junio de 2011.
<http://my.epri.com/portal/server.pt?space=CommunityPage&cached=true&parentname=ObjMgr&parentid=2&control=SetCommunity&CommunityID=405>

Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM, 2011). *Antecedentes e Historia*. [En línea]. Recuperado el 3 de noviembre de 2011. Instituto Politécnico Nacional.

[http://www.sepi.esfm.ipn.mx/WPS/WCM/CONNECT/SEPIESFM/SEPIESFM/INICIO/CO
NOCENOSSEPIESFM/ANTECEDENTES_HISTORICOS/INDEX.HTM](http://www.sepi.esfm.ipn.mx/WPS/WCM/CONNECT/SEPIESFM/SEPIESFM/INICIO/CO
NOCENOSSEPIESFM/ANTECEDENTES_HISTORICOS/INDEX.HTM)

Etzkowitz, Henry (2008). *The Triple Helix. University-Industry-Government. Innovación in Action*. Routledge, N. Y. Páginas, 16, 19, 45.

Facultad de Ingeniería UNAM (FI UNAM, 2011). *Grupo de Ingeniería Nuclear*. [En línea]. Recuperado el 5 de noviembre de 2011. <http://laimn.fi-p.unam.mx/>

Fernández, de la Garza Rafael et al (2009). *La nucleoelectricidad una oportunidad para México. Reporte Final* [en línea]. Academia de Ingeniería de México. <http://www.sociedadnuclear.org.mx/archivos/nucleoelectricidad/La%20Nucleoelectricidad%20-%20Reporte%20Final.pdf>

Fernández, Zayas José Luis (2003). *Los retos de la vinculación en el siglo XXI*. Ediciones Abedul. México D. F. Página 55.

François, L. J. L. (2010). *Programas de Estudio en Sistemas Nucleoeléctricos*. Facultad de Ingeniería UNAM. Taller sobre la Participación de las Instituciones de Educación Superior en una Propuesta de Expansión de la Generación Nucleoeléctrica en México. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. 22 de abril de 2010. México D. F. [En línea]. Recuperado 28 de marzo de 2011

François, Lacouture Juan Luis et al (2009). *La educación de la ingeniería nuclear* [en línea]. Estudio del estado del arte y prospectiva de la ingeniería en México y el Mundo Ingeniería Nuclear. Academia de Ingeniería. <http://www.sociedadnuclear.org.mx/archivos/taller-sobre-la-Participacion/Energia%20nuclear.pdf>

Francoz Rigalt, Antonio (1988). *Los principios y las instituciones relativas al derecho de la energía nuclear. La Política Nuclear*. Instituto de Investigaciones Jurídicas. Serie G Estudios Doctrinales, Núm.112. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. [En línea]. Recuperado el 5 de noviembre de 2011. <http://www.bibliojuridica.org/libros/1/221/pl221.htm>.

Frisch, Otto R. (1965). *La física atómica contemporánea*. Fondo de Cultura Económica, Tiempo Presente, N° 69. México D. F.

García Colin, Sherer Leopoldo y Bauer Ephrussi Mariano, Coordinadores. (1996) *Energía, Ambiente, y Desarrollo Sustentable (El Caso de México)*. El Colegio Nacional. Programa

Universitario de Energía. UNAM. México D. F.

García Colin, Sherer Leopoldo y Bauer Ephrussi Mariano, Coordinadores (1989). *Energía en México. El arranque del siglo XXI. Realidades y Opciones*. El Colegio Nacional. México D. F.

García Colin, Sherer Leopoldo y Varela Ham Juan Rubén, Coordinadores (1989). *Contaminación Atmosférica. Tomos I, II, III, IV y V*. El Colegio Nacional. México D. F.

García, Córdoba Fernando (2007). *La investigación Tecnológica*. Capítulo 6. La innovación: El concepto. Limusa, Noriega Editores. México D. F. Páginas 165-180.

García, Córdoba Fernando (2010). *La Tesis y el trabajo de tesis*. LIMUSA. México D. F.

García, Hernández Edwina (2003). *In Memoriam: M. en C. Roberto Mendiola Gómez Caballero (1933-2003)*. Revista Contacto Nuclear. Páginas 39-41. [En línea]. Recuperado el 13 de junio de 2012.

<http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/MENDIOLA.pdf>

General Electric (2011). *La historia de la Luz*. [En línea]. Recuperado el 31 de mayo de 2011. <http://www.gelighting.com.mx/industrial/lernabout/historiadelaLuz.aspx>

Girouard, Pierre (1993). *Technological Spin-Offs from Nuclear Energy*. Journal OECD Observer. Volume: a. Issue: 181. Publication Year: 1993. Page Number: 11. [En línea] Recuperado el 25 de abril de 2011. <http://www.questia.com/PM.qst?a=o&d=98936223>

Gómez, Viquéz Hortensia y Guzmán Alenka (2011). ¿El fortalecimiento del sistema de patentes favorece la innovación en países emergentes? La evidencia de América Latina y Asia en la industria farmacéutica, 1990-2004. *La Innovación en México. Instituciones y políticas públicas*. Instituto Politécnico Nacional y Miguel Porrúa. México, D. F. Páginas 103-129.

González, de Cossío Francisco (1995). *Crónicas de la Compañía de Jesús en la Nueva España*. Coordinación de Humanidades. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. p: viii.

Grimaldi R., Kenney M., Siegel D. S., and Wright M. *30 years after Bayh-Dole: Reassessing academic entrepreneurship*. *Research Policy*. Volume 40, Issue 8, October 2011. ELSEVIER. Page 1045-1057.

Haeussler C. *Information-sharing in academia and industry: A comparative study*. Research Policy. Volume 40, Issue 1, February 2011. ELSEVIER. Page 105-122.

Hitachi-GE Nuclear Energy Ltd. (HGNE, 2011). *Organitacion*. [En línea]. Recuperado el 11 de noviembre de 2011. <http://www.hitachi-hgne.co.jp/en/about/outline/index.html>

Humberto Merritt Tapia, (2007). “*Globalización y desempeño industrial: El aporte de los Centros de Investigación al desarrollo tecnológico de México*”. Innovación Tecnológica en la Globalización. Compilador Mario Sánchez Silva. CIECAS-IPN. México.

Hyperion Power Generation Inc, 2011. *Small Reactor*. [En línea]. Recuperado el 17 de abril de 2011. <http://www.hyperionpowergeneration.com>

Infiesta, Saboriti Jesus (Infiesta, 2011). *Hitachi y GE apuestan por la energía nuclear*. [En línea]. Recuperado el 12 de noviembre de 2011. <http://www.fabila.com/noticia.asp?id=543>

Instituto de Física UNAM (IF UNAM, 2011). *Laboratorios e Infraestructura*. [En línea]. Recuperado el 3 de noviembre de 2011. <http://www.fisica.unam.mx/laboratorios.php>.

Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI, 2011). Patentes de Invención N° MX/a/2009/006836. Gilberto Espinosa Paredes. UAM Iztapalapa. [En línea]. Recuperado el 17 de noviembre de 2011. http://siga.impi.gob.mx/wb/SIGA/SIGA_detalle_ficha?&ID_FICHA=4026801

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2011) *Estadística. Economía*. [En línea]. Recuperado el 26 de mayo de 2011. <http://www.inegi.org.mx/Sistemas/temasV2/Default.aspx?s=est&c=23824>

Instituto Nacional de Estudios Históricos de la Revolución Mexicana (INEHRM, 2011). *Los informes presidenciales en México. Galería de imágenes*. [En línea]. Recuperado el 5 de noviembre de 2011. <http://www.inehrm.gob.mx/Portal/PtMain.php?pagina=exp-informes-presidenciales-galeria>.

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ, 2011). *Acerca del ININ*. [En línea]. Recuperado el 5 de noviembre de 2011. <http://www.inin.gob.mx/plantillas/opcionesmenuprincipal.cfm?idopc=1>

Insunza Vizuet Georgina (2009). *Breve Guía para la Elaboración de Trabajos Académicos*. Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales del Instituto Politécnico Nacional.

Isunza, Vizuet Georgina y Gil Estrada José Luis (2011). *Eco-innovación para la vivienda en México*. La innovación en México. Instituciones y Políticas Públicas. Instituto Politécnico Nacional y Miguel Ángel Porrúa. México D. F. Página 132.

Jiménez, Domínguez Rolando Vladimir (2007). *La importancia de la innovación tecnológica en la restructuración de la industria eléctrica de México*. Innovación tecnológica en la globalización. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales. México, D. F.

Jiménez, Domínguez Rolando Vladimir (2010). *Energía, desarrollo y globalización: Los dilemas de la soberanía*. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales. México, D. F.

Kondratieff, N. D. (1935), *The Long Waves in Economic Life*. Review of Economic Statistics, Vol. 17, Nov., pp. 105-115.

Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear (LRA27CMN, 1998). Publicada: D. O. F. del 4 de febrero de 1985. Reforma: D. O. F. del 23 de enero de 1998.

Martín del Campo, Márquez Cecilia *et al* (2009). *Estudio del estado del arte y prospectiva de la ingeniería en México y el Mundo. Ingeniería Nuclear*. Academia de Ingeniería. [En línea]. Recuperado el 24 de mayo de 2011.

<http://www.sociedadnuclear.org.mx/archivos/taller-sobre-la-Participacion/Energia%20nuclear.pdf>

Matsuib, Y., Solís, R. J., Fua, H., Ivanova K., Hottab, A., (2002). *Developing and modeling of the “Laguna Verde” BWR CRDA benchmark*. Annals of Nuclear Energy Volume 29, Issue 5, March 2002, Pages 585-593.

Mello De Faria (2006). *Desarrollo organizacional. Enfoque Integral*. Editorial LIMUSA. México D. F.

Mendiola Roberto (1984). *Tecnología de reactores y de diseño de plantas nucleoelectricas*. Programa Universitario de Energía. Coordinación de la Investigación Científica. Universidad Nacional Autónoma de México.

Merritt, Tapia Humberto y Mandujano Pérez Olga Goretty (2011). *La innovación industrial en México y su efecto en la vinculación academia-industria*. La Innovación en México. Instituciones y políticas públicas. Instituto Politécnico Nacional y Miguel Porrúa. México, D. F. Páginas 96.

Nuclear Energy Agency (NEA) (1991). *Small and Medium Reactors. Volumen 1: Technical Supplement. Volumen 2: Status and prospects*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Paris, France.

Nuclear Energy Agency (NEA, 2003). *Nuclear Energy Today*. Nuclear Energy Agency. Organisation for Economic Co-operation and Development. Francia.

Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA, 2011). *Small Nuclear Power Reactors* [En línea]. Recuperado el 24 de abril de 2011. <http://www.world-nuclear.org/info/default.aspx?id=534&terms=Small%20and%20Medium%20Reactor>

Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE, 2002), *Manual de Frascati (2002). Medición de las actividades científicas y tecnológicas*. Fundación Española de Ciencia y Tecnología. [En línea]. Recuperado el 30 de marzo de 2011. http://www.conacyt.gob.sv/Indicadores%20Sector%20Academcio/Manual_de_Frascati_2002.pdf

Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE, 2005), *Manual Oslo 2005*. [En línea]. Recuperado el 25 de abril de 2011. http://www.conacyt.gob.sv/Indicadores%20Sector%20Academcio/Manual_de_Oslo%2005.pdf

Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE, 2010) *Main Science and Technology Indicators (MSTI, 2010/1)*. List of indicators [En línea] <http://www.oecd.org/dataoecd/52/43/43143328.pdf>

Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2011). *Informe sobre Desarrollo Humano 2010*. [En línea]. Recuperado el 13 de noviembre de 2011. <http://hdr.undp.org/es/informes/mundial/idh2010/capitulos/>.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2010). *Informe de la UNESCO sobre la Ciencia, 2010*. [En línea]. Recuperado el 30 de abril de 2012. <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001898/189883s.pdf>

Organización de Naciones Unidas (ONU, 2011). *Japón subestimó riesgo de tsunami, afirma la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA)*. Centro de noticias de ONU. 1 de junio de 2011. [En línea]. Recuperado el 2 de junio de 2011. <https://visit.un.org/spanish/News/fullstorynews.asp?newsID=21065&criteria1=nuclear&criteria2=salud>

Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI, 2011). *Clasificación Internacional de Patentes (CIP)*. [En línea]. Recuperado el 13 de noviembre de 2011. <http://www.wipo.int/classifications/ipc/es/>

Ortiz, J. J. y Requena, I. (2004). *Using a multi-state recurrent neural network to optimize loading patterns in BWRs*. Annals of Nuclear Energy Volume 31, Issue 7, May 2004, Pages 789-803

Padilla Arteaga, Sergio (1984), *Estudio para determinar las bases de implantación de centrales nucleoelectricas en México*, Tesis Licenciatura Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería UNAM.

Palacio de Minería (2011). *Galería de rectores*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. División de Educación Continua y a Distancia. [En línea]. Recuperado el 5 de noviembre de 2011. http://www.palaciomineria.unam.mx/recorrido/galeria_rectores.php.

Pérez, Carlota (2002). *Cambio estructural y asimilación de nuevas tecnologías en el sistema económico y social*. Versión castellana de enero de 1996 (con notas del 2002). Del original inglés publicado en *FUTURES*, Vol. 15, No. 5, Oct. 1983, pp. 357-375. Versión en italiano reproducida como "Cambiamento Strutturale e Assimilazione di Nuove Tecnologie nei Sistemi Economici e Sociali" (1985), en P. Bisogno ed., *Paradigmi Tecnologici: Saggi Sull Economia del Progresso Tecnico*, Prometheus No. 2, Milán, pp. 155-186

Porsch D. y Sommer D. (2001). *Thorium Fuel in LWRs: An option for an effective Reduction of Plutonium Stockpiles*, trabajo presentado en la Workshop Proceedings en Advanced Reactors, Chester United Kingdom, 2001.

Porter, Michael (2005). *¿Qué es la competitividad?*. Publicado en la newsletter Apuntes de Globalización y Estrategia (IESE Business School, Universidad de Navarra), Año 1, nº1, Enero-Abril 2005. [En línea] Recuperado el 24 de mayo de 2011. http://www.iese.edu/es/ad/AnselmoRubiralta/Apuntes/Competitividad_es.html

Porter, Michel (2009). *Ser Competitivo*. Capitulo 6 las ventajas competitivas de las naciones. Harvard Business School. Página 216.

Presidencia de la República. *Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012*. Eje 2. Economía competitiva y generadora de empleos 81 Economía y finanzas públicas. [En línea]. Recuperado el 25 de mayo de 2011.

Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE, 2011-2025). Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2010). Subdirección de Programación. Coordinación de Planificación. [En línea]. Recuperado el 28 de abril de 2012.
http://www.canacindraem.org.mx/boletines/20120116/docs/poise2011_2025%20web.pdf

Rainwater, Clarence (1976). *Luz y Color*. Ediciones Daimon, Manuel Tamayo. Barcelona. Página 18.

Rincón, Mejía Eduardo (2011). *Hacia un sistema energético sustentable para el año 2030*. Primer Coloquio de Energía. Uso actual de la energía y energía renovables. Del 11 al 15 de abril de 2011. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Rivera, Carrasco Alfredo (2007). *Planeación Estratégica 2007-2011, una Oportunidad para la Calidad, Competitividad y Excelencia de la Central Laguna Verde*. XVIII Congreso Anual de la SNM. XXV Reunión Anual de la SMSR. Del 1 al 5 de Julio del 2007. Cancún, Quintana Roo, MÉXICO. [En línea]. Recuperado el 16 de noviembre de 2011. <http://www.las-ans.org.br/Papers%202007/pdfs/Paper056.pdf>

Rojas, José Antonio, (1989). *Desarrollo Nuclear de México*. Facultad de Economía. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. Páginas, 23, 41, 53, 137.

Salazar, S., Álvarez, C., Silva, H.A., Dorantes, C., Gaso, M.I., Segovia, N., Pérez I. (1994). *Radioactivity in air around nuclear facilities in Mexico*. Environment International Volume 20, Issue 6, 1994, Pages 747-756

Schumpeter, Joseph (1942). *Capitalismo, socialismo y democracia*. Tomo 1, Capítulo 7. Biblioteca de Economía, Folio España. Página 118.

ScienceDirect (2011). *Buscador de artículos científicos y tecnológicos*. ELSEVIER. [En línea]. Recuperado el 28 de octubre de 2011. <http://www.sciencedirect.com/>

Secretaría de Energía (SENER, 2009). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024*. Dirección General de Planeación Energético. [En línea] Recuperado el 15 de marzo de 2011. Capítulos I, II, III y IV.
http://www.energia.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/Prospectiva_electricidad%20_2009-2024.pdf

Secretaría de Energía (SENER, 2009). *Prospectiva del sector eléctrico 2010-2025*. [En línea]. Recuperado el 3 de noviembre de 2011.
http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/SECTOR_ELECTRICO.pdf.

Secretaría de Energía (SENER, 2010). *Estrategia Nacional Energía*. [En línea] Recuperado el 5 de marzo de 2011. Página 9-18.

<http://www.energia.gob.mx/webSener/res/0/EstrategiaNacionaldeEnergia.pdf>.

Secretaría de Energía (SENER, 2011). *Programa de obras e inversiones del sector eléctrico 2011-2025 (POISE 2011-2025)*. [En línea]. Recuperado el 3 de noviembre de 2011. <http://www.sener.gob.mx/portal/Default.aspx?id=1453>

Secretaría de la Presidencia (SP, 2011). *Plan Nacional de Desarrollo, 2007-2012*. [En línea]. Recuperado el 26 de mayo de 2011. <http://pnd.presidencia.gob.mx/>

Segovia, Agustín (2011). 2º Programa de Capacitación Para el aprovechamiento de oportunidades de cooperación internacional en Ciencia y Tecnología México – Unión Europea. Programa EUREKA. CONACYT-CINVESTAV. [En línea]. Recuperado el 30 de abril de 2012.

<http://www.pm7ue.conacyt.cinvestav.mx/Portals/0/SiteDocs2P/Modulo1/Presentaciones/EUREKA,%20Agust%20C3%ADn%20Segovia.pdf>

Segovia, N., Abascal, F., Peña, P., Tamez, E., Salazar, Mendoza, S. R., Alvarez, C., Mena, M. Juárez, F. (1996). *Radon in soil and ground water survey around the Laguna Verde Nucleoelectric Facility, Mexico*. Environment International Volume 22, Supplement 1, 1996, Pages 275-278 The Natural Radiation Environment VI.

Sociedad Nuclear Mexicana (2012). *Semblanzas Miembros SNM*. [En línea]. Recuperado el 13 de junio de 2012. http://sociedadnuclear.org.mx/?page_id=136

Soete, Luc (1998). *Posibilidades Globales: Tecnología y desafíos mundiales*. Tecnologías del Siglo XXI: Promesas y peligros de un futuro dinámico. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales. Instituto Politécnico Nacional. Mexico-2005. Páginas 183-195.

Stevens, Geoffrey (1997). *Energía Nuclear y Sustentabilidad*. Desarrollo Sustentable: Estrategias de la OCDE para el siglo XXI. Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE). Paris, Francia. Capítulo 12. Página 161-177.

Suárez, S. S. (2010). *Las patentes en las IES de México*. Foro de Educación Superior. Revista electrónica del Programa de Estudios Universitarios Comparados. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. [En línea]. Recuperado el 19 de noviembre de 2011. http://www.peu.buap.mx/Revista_13/articulos/Las%20patentes%20en%20las%20IES%20de%20Mexico.pdf

Toveson, F., Hamsch F. J., Obserstedt A., Fogelberg B., Ramström E., Oberstedt S., (2001) *Determination of the ^{233}Pa (n,f) Reaction cross-section for Thorium-Fueled Reactors. Advanced Reactors with Innovative Fuels. Workshop Proceedings. Chester, United Kingdom. 22-24 October 2001. (*)*

Trejo, García Ma. del Rosario, García Córdoba Fernando, Rabadán Calvillo Raúl, Licona Padilla Diana, Cobos Solís Victoria C., (2006). *Practica Directiva del Funcionario Académico en el IPN*. Unidad Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas.

United States Patent and Trademark Office's (USPTO, 2011). *Patent classification*. [En línea]. Recuperado el 19 de noviembre. <http://www.uspto.gov/web/patents/classification/>

United States Patent and Trademark Office's (USPTO, 2011). *USPTO Patent Application Full-Text and Image Database (AppFT)*. [En línea]. Recuperado el 12 de noviembre de 2011. <http://www.uspto.gov/patents/process/search/>

Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (UAM-2009). *Mirando al futuro. 35 aniversarios. Evolución y Desarrollo de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería*. [En línea]. Recuperado el 3 de noviembre de 2011. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. División de Ciencias Básicas e Ingeniería. http://cbi.izt.uam.mx/content/35_aniversario/uami_cbi_aniv_cap1_01.pdf

Universidad Autónoma Metropolitana UAM-I (2011). *Coordinación de Vinculación Académica (COVIA)* [en línea]. Recuperado el 29 de marzo de 2011. http://covia.izt.uam.mx/covia/transform.php?xml=index&pagina_id=1

Universidad Nacional Autónoma de México UNAM (2011). *Programa Universitario de Energía*. [En línea]. Recuperado el 29 de marzo de 2011. <http://www.sid.unam.mx/pue.html>

Vázquez, Rodríguez Rodolfo, Ambriz García Juan José, Torijano Cabrera Eugenio, (2010). *Contribución de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa en la formación de recursos humanos en el campo de la Energía Nuclear Taller sobre la Participación de las Instituciones de Educación Superior en una Propuesta de Expansión de la Generación Nucleoeléctrica en México*. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. [En línea]. Recuperado 28 de marzo de 2011. 22 de abril de 2010. México D. F. http://www.ai.org.mx/archivos/talleres/expansion-generacion-nucleoelectrica/3_UAM-Izt_RecursosHumanosEnergiaNuclear2010.pdf

Victoria Ríos, Miguel Ángel (2007). Estudio de la viabilidad de un sistema de control robusto para inestabilidades del núcleo de un reactor de agua hirviente. Tesis Licenciatura Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería UNAM.

Voice of America (VA, 2011). *Mapas de las centrales nucleoelectricas del mundo. La Historia con mapas*. [En línea]. Recuperado el 8 de junio de 2011. <http://lahistoriaconmapas.blogspot.com/2011/04/mapa-de-las-centrales-nucleares-del.html>

Waller, Mejía Sergio et al (2009). *Seguridad nuclear: investigación y desarrollo tecnológico*. Estudio del estado del arte y prospectiva de la ingeniería en México y el Mundo. Ingeniería Nuclear Academia de Ingeniería. [En línea]. Recuperado el 12 de marzo de 2011. <http://www.sociedadnuclear.org.mx/archivos/taller-sobre-la-Participacion/Energia%20nuclear.pdf>

Westinghouse Electric Company (Westinhouse, 2011). *Visión y Misión*. [En línea]. Recuperado el 11 de noviembre de 2011. <http://www.westinghousenuclear.com/>

Wikipedia, 2011. *Propulsión nuclear marina*. [En línea]. Recuperado el 5 de mayo de 2011. http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Especial:Libro&bookcmd=download&collection_id=85ad91666219f032&writer=rl&return_to=Propulsi%C3%B3n+nuclear+marina

World Association of Nuclear Operators (WANO, 2011). *WANO Nuclear Excellence Awards*. [En línea]. Recuperado el 17 de noviembre de 2011. <http://www.wano.info/?s=Comision+Federal+de+Electricidad>.

World Nuclear Association (WNA, 2011). *Nuclear-Powered Ships* [en línea]. Recuperado el 5 de mayo de 2011. <http://world-nuclear.org/info/inf34.html>

World Nuclear Association (WNA, 2011). *Processing of Used Nuclear Fuel*. [En línea]. Recuperado el 30 de octubre de 2011. <http://www.world-nuclear.org/info/inf69.html>

World Nuclear Association (WNA, 2011). *World Uranium Mining*. [En línea]. Recuperado el 24 de abril de 2011. <http://www.world-nuclear.org/info/inf23.html>

World Nuclear Association, (WNA, 2011). *The Nuclear Fuel Cycle*. [En línea]. Recuperado el 17 de noviembre de 2011. <http://www.world-nuclear.org/info/inf03.html>.

World Nuclear Association, (WNA, 2011). *Uranium Markets*. [En línea]. Recuperado el 17 de noviembre de 2011. <http://www.world-nuclear.org/info/inf22.html>

World Nuclear News (WNN, 2011). *Moves to strengthen. World Association of Nuclear Operators (WANO). Regulation and safety.* 28 October 2011. [En línea]. Recuperado el 30 de octubre de 2011. <http://www.world-nuclear-news.org/print.aspx?id=31102>

World Nuclear News (WNN, 2011). *Nuclear Century Outlook. An evaluation of nuclear energy's environmental contribution.* [En línea]. Recuperado el 5 de noviembre de 2011. http://www.world-nuclear.org/outlook/clean_energy_need.html

World Nuclear News (WNN, 2011). *The worldwide growth of nuclear power in the 21st Century. Nuclear Century Outlook.* [En línea]. Recuperado el 4 de noviembre de 2011. http://www.world-nuclear.org/outlook/nuclear_century_outlook.html.

World Nuclear News (WNN, 2011). *World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements.* [En línea]. Recuperado el 13 de noviembre de 2011. <http://www.world-nuclear.org/info/reactors.html>.

Medios digitales electrónicos.

- Biblioteca Nacional de Ciencia y Tecnología. <http://azul.bnct.ipn.mx/>
- Centro en Investigación en Tecnología. Secretaría de Gestión Tecnológica y Vinculación. UNAM. http://xml.cie.unam.mx/xml/sgtv/desc_gt.xml
- Comisión Federal de Electricidad. www.cfe.gob.mx
- Comisión Internacional de Energía Atómica. www.iaea.org
- Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM. www.icn.unam.org
- Instituto de Ingeniería UNAM. www.ii.unam.mx.org
- Instituto de Investigaciones Eléctricas. www.iie.gob.mx
- Instituto de Investigaciones Nucleares. www.iin.unam.org.mx
- Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual (IMPI). Gobierno Federal. Secretaría de Economía. www.impi.gob.mx.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. www.inegi.gob.mx
- Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. www.inin.org.mx
- Organización Mundial de Comercio. www.omc.org
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. www.wipo.org.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). www.oecd.org.
- Sistema de Indicadores de Gestión Municipal (SIGEM). SIGEM (sf) Consulta electrónica: <http://www.premiomunicipal.org.mx/p2009/sigem/index.htm>
- Sociedad Nuclear Mexicana. www.snm.org.mx

- Subdirección de Vinculación Tecnológica CINVESTAV-IPN. www.cinvestav.mx
- United States Patent and Trademark Office (USPTO). An Agency of the Department of Commerce. www.uspto.gov.

Metabuscadore:

- Dogpile: <http://www.dogpile.com/>
- Excite: <http://www.excite.com/>
- Galaxy: Instalar Software gratis.
- Google: <http://www.google.com.mx>
- Hot Bot: <http://www.hotbot.com>
- Metacrawler: <http://www.metacrawler.com>
- MNS: <http://prodigy.msn.com>
- Proquest: <http://www.proquest.com>
- Yahoo: <http://www.google.com.mx>

Bases de Datos:

- ACM Digital Library: <http://dl.acm.org/dl.cfm>
- Ar. Aregional. Temas financieros y económicos: <http://www.arinformacion.com>
- Biblioteca Digital BIDI, UNAM: <http://dgb.unam.mx/>
- Cengage Learning data bases. Libros electrónicos: <http://infotrac.galegroup.com/itweb/ipn>
- EBSCO: <http://search.ebscohost.com/>
- ELSEVIER ScienceDirect: Revistas electrónicas: <http://www.sciencedirect.com/>
- ELSEVIER Scopus, Bases de datos: <http://www.scopus.com/home.url>
- IEEE: <http://www.ieee.org/index.html>
- OVID: <http://gateway.ovid.com/autologin.cgi>
- Springer: <http://www.springerlink.com/?MUD=MP>
- The Publications Division of the American Chemical Society (ACS). <http://pubs.acs.org/>
- Wiley Online Library (Blackwell): <http://olabout.wiley.com/WileyCDA/Section/id-390001.html>

ENTREVISTAS:

Cano B. P. J. Entrevista video grabada realizada el 13 de septiembre de 2011, en el Centro Interdisciplinario de investigación para el Desarrollo Integral Regional unidad Oaxaca. (CIIDIR, OAX). Elaboración propia del autor de esta tesis. Incluida dentro de los anexos electrónicos. Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales, Instituto Politécnico Nacional. México D. F.

Del Valle G. E. (2011). Entrevista. Realizada vía Internet el 28 de septiembre de 2011. Escuela Superior de Física y Matemática, Instituto Politécnico Nacional. Elaboración propia del autor de esta tesis. Incluida dentro de los anexos impresos. Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales, Instituto Politécnico Nacional. México D. F.

Espinosa P. G. (2011). *Entrevista*. Video grabada realizada el 27 de septiembre de 2011, en el Departamento de Procesos Hidráulicos de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Elaboración propia del autor de esta tesis. Incluida dentro de los anexos electrónicos. Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales, Instituto Politécnico Nacional. México, D. F.

François L. J. L. (2011). *Entrevista*. Video grabada realizada el 20 de septiembre de 2011, en la unidad de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Elaboración propia del autor de esta tesis. Incluida dentro de los anexos electrónicos. Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales, Instituto Politécnico Nacional. México D. F.

Anexo A. Guion de la Entrevistas

Las entrevistas realizadas al Dr. Gilberto Espinosa Paredes de la UAM, al Dr. Juan Luis François Laucuture de la UNAM, y al Dr. Prisciliano de Jesús Cano Barrita del CIIDIR-IPN, Oaxaca, fueron videos grabados. La entrevista al Dr. Edmundo Del Valle Gallegos de la ESFM_IPN, se realizó vía internet, y es la que a continuación se muestra.

Entrevista: _____

Lugar: _____

Fecha: _____

Entrevistador. Fis. Pedro Ramón Cervantes Petersen.

Objetivo de la entrevista: obtener información para el trabajo de tesis:

APORTACIONES DE LOS INSTITUTOS DE ENSEÑANZA SUPERIOR PÚBLICOS EN LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LAS CENTRALES NUCLEOELÉCTRICAS, DURANTE 1990-2010

1. ¿Cuál es su nombre y ocupación?
2. ¿Cuál es su línea de investigación?
3. ¿Su centro de trabajo (IES) considera la investigación sobre energía nuclear como área estratégica?
4. ¿Cuántos proyectos sobre esta área se están realizando?
5. ¿Implican desarrollos tecnológicos?
6. ¿Quiénes participan (es un equipo multidisciplinario)?
7. ¿Tienen esquemas de colaboración (vinculación) con sector productivo y social, instituciones?
8. ¿Cuentan con apoyo financiero?
9. ¿De qué tipo?
10. ¿Es suficiente?
11. ¿Cuáles son los principales obstáculos que enfrentan para el desarrollo de sus proyectos?

12. ¿Han patentado innovaciones tecnológicas con referencia a las centrales nucleoelectricas?
13. ¿Considera que los recursos humanos y tecnologicos actuales en México, son suficientes para instalar centrales nucleoelectricas de pequeña y mediana escala?
14. ¿Me puede mencionar algunas ventajas y desventajas de las centrales nucleoelectricas?
15. ¿Cuáles son las tendencias para el combustible de estas centrales nucleoelectricas?
16. En estudios de la percepción social en torno a la centrales nucleoelectricas, su principal temor es la seguridad ¿Estamos preparados para hacer frente a una contingencia de alto riesgo?
17. ¿Considera que las centrales nucleoelectricas son una alternativa para disminuir los efectos de los gases invernaderos?
18. Finalmente ¿Qué propone usted para impulsar o desalentar la investigación y desarrollo en materia de centrales nucleoelectricas en México?

Gracias por la entrevista.

Anexo B. DVD con entrevistas video grabadas.

Dr. Juan Luis François Lacuture (FI-UNAM)

Dr. Gilberto Espinoza Paredes (CBI-UAMIZT)

Dr. Prisciliano de Jesús Cano Barrita (CIIDIR-IPN, Oaxaca)