



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

CENTRO DE FÍSICA APLICADA Y TECNOLOGÍA AVANZADA

**ESTABLECIMIENTO DE OPORTUNIDADES
TECNOLÓGICAS EN LA INDUSTRIA SOLAR
FOTOVOLTAICA**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

LICENCIADO EN TECNOLOGÍA

PRESENTA:

CÉSAR BARTOLO PÉREZ

DIRECTORA: M.I HILDA C. HERNÁNDEZ ROJO

CO-DIRECTOR: DR. MARCELO LÓPEZ PARRA

JURIQUILLA, QUERÉTARO

DICIEMBRE, 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**CENTRO DE FÍSICA APLICADA Y
TECNOLOGÍA AVANZADA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Licenciatura en Tecnología**

Asunto: VOTOS APROBATORIOS

**DR. RAMIRO PÉREZ CAMPOS
DIRECTOR DEL CFATA, UNAM
PRESENTE**

**ATN: Dr. Jose Luis Aragón Vera
Coordinador de la Licenciatura en Tecnología**

En cumplimiento del Artículo 26 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis con el título **“Establecimiento de oportunidades tecnológicas en la industria solar fotovoltaica”** que presenta el pasante **César Bartolo Pérez** con número de cuenta 40808669-3 para seguir con la opción de titulación por tesis y examen profesional en la carrera de Licenciatura en Tecnología.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
Juriquilla, Qro. a 13 del mes de noviembre del año 2012

	NOMBRE	FIRMA DE ENTERADO
PRESIDENTE	Dr. Saúl Daniel Santillán Gutiérrez	
SECRETARIO	Dr. Marcelo López Parra	
VOCAL	M. en I. Hilda Hernández Rojo	
1er. SUPLENTE	Dra. Miriam Roció Estévez González	
2º SUPLENTE	Dr. Yu Tang Xu	

Los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen profesional (Art. 120)

LICENCIATURA EN TECNOLOGÍA
CENTRO DE FÍSICA APLICADA Y TECNOLOGÍA AVANZADA - FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
Boulevard Juriquilla No. 3001, Juriquilla Qro. C. P. 76230
Tel. México: 562-34248 y 34256 Fax 562-34165 Tel. Querétaro 1926148 y 1926156 Fax 2381165
www.tecnologia.fata.unam.mx

Dedicada a:

Mi hijo Santiago y a mi esposa Alma

Las personas que más amo,
doy gracias a la vida por tenerlos a mi lado
ustedes son mi motivación y mi fuerza.

Mi madre Lourdes Bartolo

Mamá, tu fuerza me sirve de inspiración
para seguir adelante.

Mi hermana Rosalía

Hermanita, siempre puedes contar conmigo,
gracias por tu confianza y cariño.

Agradecimientos

A mis directores de tesis, M.I Hilda Hernández Rojo, Dr. Marcelo López Parra, gracias por sus consejos, asesorías y paciencia. En especial gracias a Hilda por que no solo me enseñó grandes cosas relacionadas con al Gestión de la Tecnología, si no una amiga, que me brindó consejos y apoyo incondicional,

A los investigadores, ingenieros y empresas quienes con su experiencia y participación hicieron posible la realización de este trabajo de investigación.

Al Dr. Víctor Castaño Meneses, por su gran apoyo durante mi formación académica, sus consejos, sus enseñanzas, admiro su forma de ver a la ciencia y a la tecnología, espero seguir aprendiendo más de usted.

Al Dr. David Morillón Gálvez, gracias a usted he aprendido una gran lección: “Las cosas en tiempo y forma”.

A mis profesores: Dra. Miriam Estévez González, Dr. Saúl Santillán Gutiérrez, Dr. Yu Tang Xu, M.C Ángel Luis Rodríguez, Dr. Rafael Quintero, Dr. Adrián Oskam, Dra. Susana, Dr. Rogelio Rodríguez Talavera, Dr. Domingo Rangel Miranda.

Al personal de Biblioteca y de Administración Escolar, por su atención y amabilidad, en especial a Daniela, Julieta, Conchita y Magda.

A Tere Novales, encargada del centro de información del CIATEQ, quien además de sus enseñanzas en cuanto a la búsqueda de información, me brindó su amistad durante mi estancia en este centro.

A los tecnólogos, con quienes pude compartir cuatro años de mi vida, juntos emprendimos la aventura de estar en una nueva licenciatura, gracias por su amistad, cada uno de ustedes tiene mis respetos y admiración. Pero de manera especial quiero agradecer a Silvia, Mayra, Luz, Omar, Holkán, Ángel, Héctor, Gerardo, Ricardo y David, el haberme brindado su amistad de forma incondicional.

Al CIATEQ (Centro de Tecnología Avanzada), quien desde el inicio de mis estudios universitarios me abrió sus puertas y ha financiado la realización de esta tesis.

A la UNAM, por brindar educación superior al más alto nivel, siempre preocupada por la educación de nuestro país, es un orgullo pertenecer a esta gran universidad.

A mis familiares: Mi abuelita, tías, tíos, primos, primas, que siempre me han apoyado, soy afortunado al tener a una gran familia. Cada uno me ha enseñado grandes cosas.

Contenido

Dedicatoria.....	II
Agradecimientos	IV
Resumen	VII
Abstract	VII
Introducción.....	1
Antecedentes	4
Problemática	7
Justificación	10
Objetivos.....	18
Objetivo general.....	18
Objetivos específicos	18
Alcance	19
Capítulo 1. Estado del arte y marco conceptual.....	20
1.1 Competitividad e innovación en México	20
1.1.1 Factores para impulsar la innovación en México	22
1.1.2 El papel de los Centros Públicos de I+D en la innovación.....	23
1.1.3 Factores globales y desafíos de la política tecnológica	25
1.2 La prospectiva tecnológica	27
1.2.1 Prospectiva a nivel nacional y en la industria	28
1.2.2 Fases de la prospectiva tecnológica.....	30
1.3 Exploración de metodologías para la prospectiva	33
1.3.1 Tipología de prospectiva tecnológica.....	35
1.3.2 Clasificación de Métodos	37
1.4 La Energía Solar Fotovoltaica	46
1.4.1 Cadena de valor de la energía solar fotovoltaica.....	46
1.4.2 Investigación y desarrollo en energía solar FV	49
1.4.3 Investigación y desarrollo en celdas solares.....	50

1.4.4	Estado de la energía solar fotovoltaica en México	53
Capítulo 2. Proceso metodológico		56
2.1	Propuesta metodológica.....	57
2.1.1	Definición de contexto y enfoque.....	59
2.1.2	Pre- Prospectiva.....	61
2.1.3	Reclutamiento.....	61
2.1.4	Generación.....	63
2.2	Aplicación de la metodología a la energía solar fotovoltaica en un CPI	64
2.2.1	Pre-prospectiva	65
2.2.2	Reclutamiento.....	66
2.2.3	Generación.....	69
2.3	Resumen de la construcción metodológica.....	71
Capítulo 3. Resultados y análisis.....		73
3.1	Actores e instituciones clave.....	73
3.2	Tópicos de investigación y desarrollo	75
3.3	Determinación de tecnologías clave en FV	78
3.3.1	Tecnologías tradicionales a base de silicio (TTBS)	79
3.3.2	Tecnologías existentes de película delgada (TEPD)	82
3.3.3	Tecnologías emergentes y novedosas (TEN)	86
Capítulo 4. Conclusiones.....		92
Bibliografía.....		94
Apéndices		97
Apéndice A.	Métodos de prospectiva tecnológica.....	99
Apéndice B.	Comparación de las principales tecnologías FV	101
Apéndice C.	Lista de expertos participantes.....	102
Apéndice D.	Estudio sobre el estado de la energía solar fotovoltaica	103
Apéndice E.	Análisis de artículos y patentes de energía solar.....	111

Resumen

Se presenta el diseño de una selección metodológica para la identificación de oportunidades tecnológicas bajo el enfoque de la Prospectiva Tecnológica, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones para la creación, integración y uso de la tecnología, hacia la innovación. Esta metodología es implementada en el área de energía solar fotovoltaica, se estructura a partir de la selección y extracción de conceptos prácticos de la literatura sobre prospectiva, los cuales permitieron un mejor enfoque y agilidad en la detección de oportunidades tecnológicas en energía fotovoltaica, sin embargo, puede ser aplicada en otras áreas. La selección metodológica alinea por un lado el conocimiento frontera y las tendencias en energía solar fotovoltaica, con la vocación y las capacidades de la institución que desea identificar las oportunidades para orientar su I+D.

Abstract

We present the design of a selection methodology for identifying technology opportunities under the focus of Technological Foresight, in order to facilitate decision-making for the creation, integration and use of technology, to innovate.

This methodology is implemented in the area of photovoltaic solar energy, is structured based on the selection and extraction of practical concepts of literature about foresight which enabled better focus and agility in detecting technological opportunities in photovoltaics, however, can be applied in other areas. The selection methodology aligns one hand border knowledge and trends in solar energy, with the potential and abilities of the institution which want to identify opportunities to guide their R & D.

Lista de figuras

- Figura 1.** Participación de energías renovales en el consumo mundial final de energía, 2010
- Figura 2.** Inversión por década en FV
- Figura 3** Emisiones anuales de CO2 evitadas con FV
- Figura 4.** Promedio anual de crecimiento de capacidad de energías renovables
- Figura 5.** Número de patentes en energías renovables
- Figura 6.** Actividad de invención reciente en solar FV
- Figura 7.** Cambio de énfasis en investigación por país
- Figura 8.** Innovación y PIB per cápita
- Figura 9.** Intensidad de I+D y PIB, 2009
- Figura 10.** Restricciones de tiempo
- Figura 11.** Fases de la prospectiva tecnológica
- Figura 12.** Fases de la prospectiva tecnológica (detallada)
- Figura 13.** Clasificación de métodos por fuente de conocimiento
- Figura 14.** Cadena de valor de la energía solar fotovoltaica
- Figura 15.** Estatus de la tecnología FV y sus perspectivas
- Figura 16.** Estructura del ejercicio de prospectiva
- Figura 17.** Diagrama de metodología seleccionada
- Figura 18.** Tecnologías identificadas en energía solar fotovoltaica
- Figura 19.** Evaluación de importancia y factibilidad de tópicos de I+D seleccionados en TTBS
- Figura 20.** Evaluación de importancia y factibilidad de tópicos de I+D seleccionados en TEPD
- Figura 21.** Evaluación de importancia y factibilidad de tópicos de I+D seleccionados en TEN
- Figura 22.** Estatus de la tecnología FV y sus perspectivas
- Figura 23.** Capacidad Solar FV total instalada en el mundo 2005-2011
- Figura 24.** Capacidad Solar FV operando, 10 principales países, 2011
- Figura 25.** Participación en el mercado de los 15 principales fabricantes, 2011
- Figura 26.** Desarrollo del mercado FV y niveles de competitividad
- Figura 27.** Tendencias de publicaciones en solar FV de 4 países líderes
- Figura 28.** Redes de colaboración entre autores en México sobre solar FV

Lista de tablas

- Tabla 1.** Pilares para la medición de innovación
- Tabla 2.** Tipología de prospectiva tecnológica
- Tabla 3.** Clasificación de los métodos de prospectiva por su naturaleza
- Tabla 4.** Métodos clasificados por familias
- Tabla 5.** Métodos clasificados por familias (2010)
- Tabla 6.** Métodos clasificados por fase de desarrollo de la prospectiva tecnológica
- Tabla 7.** Métodos con impacto alto a muy alto y sus características
- Tabla 8.** Criterios de selección de direcciones clave de I+D (Tecnologías clave)
- Tabla 9.** Análisis de publicaciones sobre solar FV en México
- Tabla 10.** Distribución de sectores en los que laboran los expertos invitados
- Tabla 11.** Áreas temáticas identificadas en energía solar fotovoltaica
- Tabla 12.** Panel de expertos participantes
- Tabla 13.** Expertos Participantes en el área de TTBS
- Tabla 14.** Tópicos de investigación con mayor calificación en el área TTBS
- Tabla 15.** Expertos participantes en el área de TEPD
- Tabla 16.** Tópicos de investigación con mayor calificación en el área de TEPD
- Tabla 17.** Expertos participantes en el área de TEN
- Tabla 18.** Tópicos de investigación con mayor calificación en el área de TEN
- Tabla 19.** Oportunidades tecnológicas en energía solar FV detectadas
- Tabla 20.** Número de publicaciones en solar FV por país
- Tabla 21.** Instituciones con mayor número de publicaciones en solar FV a nivel mundial
- Tabla 22.** Instituciones líderes en publicaciones sobre Solar FV
- Tabla 23.** Autores líderes en publicaciones sobre Solar FV
- Tabla 24.** Publicaciones sobre Solar FV en México
- Tabla 25.** Publicaciones de México más citadas en WOS
- Tabla 26.** País de prioridad de patentes registradas en México

Introducción

La innovación es la base de la competitividad y de la creación de nueva riqueza (Villavicencio, 2009). Una economía competitiva tiene una mayor probabilidad de crecer más rápido a través del tiempo y en consecuencia tiene más capacidad para atraer y retener talento e inversión, lo cual se traduce en mayor desarrollo y bienestar para la sociedad. Los países que han aumentado su competitividad y acelerado su crecimiento económico son aquellos que han logrado introducir al mercado nuevos y mejores productos, procesos o servicios, es decir, que su población y empresas han desarrollado su capacidad de innovar.

México reconoce que la competitividad es el factor por el que las empresas, en especial las de menor tamaño, podrán incrementar sus capacidades y convertirse en pilares del ingreso y empleo en el país (Consejo Ejecutivo de Empresas Globales, 2006). Sin embargo, la posición competitiva de México, es baja comparada con el tamaño relativo de su economía y no ha variado considerablemente en los últimos cinco años (Instituto Mexicano de la Competitividad, 2012).

En este sentido, los Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico (I+D), del Sistema de Centros Públicos de Investigación, CONACYT, (CPI-CONACYT) juegan un papel muy importante en los sistemas de innovación de un país, ya que son considerados instituciones clave en la creación de tecnología y muy orientada a la generación de invenciones, en la medida de lo posible, patentables (Merritt, 2004). Aunque estos sean sólo uno de los elementos que tienen un impacto en el desempeño de la innovación en un país, tienen repercusiones industriales debido a su cercanía con las empresas.

Pero, ¿cómo enfrentar el reto de la innovación?, la búsqueda de oportunidades tecnológicas a través del enfoque de la prospectiva tecnológica aparece como una alternativa para lograr dicho fin, ya que busca mirar hacia el futuro en el mediano y largo plazo de la ciencia, la tecnología, la economía y la sociedad con el objetivo de identificar las áreas de investigación estratégica y las nuevas tecnologías genéricas que puedan producir los mayores beneficios económicos y sociales (UNIDO, 2005). Esta puede servir a los

gobiernos para orientar las políticas de un país; las empresas, al buscar nuevas áreas de negocio y así anticiparse a sus competidores y a los Centros de I+D para orientar su investigación y la asignación de recursos.

La literatura muestra que no existe un método único, veloz y ampliamente difundido y aplicado para la identificación de oportunidades tecnológicas bajo el enfoque de la Prospectiva Tecnológica. Existen diferentes enfoques de Prospectiva que se han adoptado en la práctica, generalmente con un espectro y objetivos muy amplios, que demandan un nivel de recursos y tiempo altos. En ellos se pueden identificar diversos objetivos específicos y alcances en su aplicación, según el contexto (empresas, instituciones, centros de investigación, industrias específicas, etc) (Porter A. , 2010)

Además la literatura indica que existe un mayor nivel de competencia entre países y compañías donde las nuevas tecnologías se vuelven un factor importante para el desarrollo económico (Miles, 2002), por otro lado, estos no pueden financiar todas las áreas de I+D que sus científicos e ingenieros les gustaría, por lo que se tienen que desarrollar herramientas que ofrezcan un procedimiento para tomar decisiones sobre que áreas apoyar (UNIDO, 2005)

Nos encontramos en un entorno altamente complejo y dinámico que demanda cada vez nuevas habilidades y las viejas habilidades se vuelven obsoletas, donde entramos en un proceso de continuo aprendizaje, pero que se tiende a abrir una brecha en las capacidades humanas para hacer frente a estos cambios, y en donde cada vez se necesita más tiempo para enfrentar estos cambios, y por otro lado, se tiene menos tiempo disponible para reaccionar ante estos. Lo que muestra la necesidad de responder de manera rápida ante un entorno cada vez más complejo (Porter A. L., 2005).

La resolución de problemas ya no pueden ser abordados de una manera específica usando procedimientos convencionales. La condición de percepción de un mundo que está cambiando a un ritmo cada vez más rápido, así como la profundidad y gravedad de los problemas que hay que superar ha llevado a la búsqueda de enfoques fundamentalmente nuevos y a una nueva forma de pensar. Lo que se necesita es un enfoque holístico e integrado de diferentes maneras de pensar.

Todos estos factores hacen necesario el desarrollo de una selección metodológica para la identificación de oportunidades tecnológicas que balanceen la competitividad, con el desempleo, la desigualdad y la sustentabilidad, que combine criterios no solo cuantitativos sino cualitativos, y donde además, se vuelve crítico que pueda desarrollarse de manera rápida y con una visión al mediano y largo plazo.

El objetivo es diseñar un procedimiento que permita la selección de una metodología para poder identificar oportunidades específicas de investigación y desarrollo tecnológico que permitan a los Centros Públicos de I+D en México, y arrancar con mayor posibilidad de éxito su participación en tecnologías de Energía Solar FV con una visión a 10 años (2012-2022), y que los apoye en la generación líneas novedosas de I+DT y productos de alto valor.

Se exploran diferentes herramientas disponibles para la identificación de oportunidades tecnológicas en prospectiva, así mismo se busca hacer una selección de estas herramientas, que permitan formar una propuesta metodológica. Esta metodología será utilizada para una primera identificación de líneas específicas de investigación y desarrollo tecnológico que apoyen el desarrollo de las tecnologías referentes a la energía solar fotovoltaica en México, con una visión a mediano plazo, atendiendo a la demanda de contribuir al cuidado del medio ambiente y la sustentabilidad.

El principal desafío que enfrenta la energía solar FV es lograr una significativa reducción de costes y mejoras en la eficiencia, enfocándose en la mejora de las tecnologías existentes y el desarrollo de nuevas tecnologías (International Energy Agency, 2010).

Concretamente la aportación en esta tesis es investigar herramientas y proponer una selección metodológica ágil, práctica y versátil que permita una identificación de líneas de I+D y su implementación en el área de la energía solar fotovoltaica que tenga como atributos ser incluyente, realizada con pocos recursos y en un corto periodo de tiempo, así como una visión con un horizonte de tiempo a mediano plazo (diez años) respondiendo a los nuevos enfoques, y el alto grado dinamismo y de complejidad para la resolución de problemas en el contexto actual.

Antecedentes

El proyecto “*identificación de oportunidades tecnológicas en la industria solar fotovoltaica*”, nace de la necesidad de establecer una metodología que le permita a los Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico, públicos y privados, detectar las líneas de investigación en las cuales pudieran invertir recursos, tomando en cuenta los aspectos sociales, económicos y por supuesto técnicos. En este sentido la Prospectiva Tecnológica es una herramienta que toma en cuenta todos estos aspectos. Por otro lado, la energía solar fotovoltaica es un área con mucho potencial pero que desafortunadamente sus altos costos han hecho que no logre penetrar en la matriz energética mundial.

El objetivo general de la prospectiva tecnológica es identificar nuevas tecnologías genéricas que puedan obtener los mayores beneficios económicos y sociales. Japón ha estado realizando extensivas actividades de prospectiva tecnológica desde 1970, y hubo varias iniciativas de prospectiva en Francia en la década de 1980. Después de esa década, países como Australia, Canadá y Suecia también comenzaron a experimentar con la prospectiva tecnológica. A partir de 1990, Australia, Francia, Alemania, Países Bajos, Reino Unido, Estados Unidos y otros países lanzaron importantes ejercicios de prospectiva tecnológica lo cual hizo que esta práctica se difundiera de manera mas importante (Miles I. , 2010), ahora varios países, incluso los que se encuentran en desarrollo tienen la experiencia de algún tipo de ejercicio de prospectiva con casos exitosos como Australia (Australian Science and Technology Council, 1994) y República Checa (MEYS & RDP of the Czech Republic, 2002), cuyos estudios tuvieron la ventaja de contar con la participación de actores de diferentes sectores de la sociedad (industria, gobierno, sociedad civil), se pudieron detectar áreas críticas de investigación y desarrollo e incluso reorientar sus sistemas de innovación nacionales, proponiendo estrategias para lograr dicho cometido. Sin embargo el tiempo de estos ejercicios requirió de un tiempo considerable para su realización (uno a dos años), lo que implicó una inversión de recursos económicos considerable y de personal.

En el caso de México, ya se han realizado ejercicios de prospectiva tecnológica a nivel nacional¹. A principios del año 2002, la Asociación Mexicana de Directivos de la Investigación Aplicada y el Desarrollo Tecnológico A.C. (ADIAT), propuso al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT, iniciar un Proyecto sobre Prospectiva Tecnológica de Mediano Plazo, tema ya previsto en el Programa Especial de Ciencia y Tecnología, PECYT 2001-2006. La propuesta presentada titulada “Prospectiva Tecnológica Industrial de México 2002-2015” (ADIAT / CONACYT, 2002), se basó en la metodología utilizada y los instrumentos desarrollados en España para realizar, entre los años 1998 y 2001.

Su meta fue generar 30 Estudios de Prospectiva Tecnológica Industrial dentro de 10 Sectores en un período de 18 meses. Cada estudio, procuró recolectar la visión de una muestra de la Comunidad de Actores del Desarrollo Tecnológico, con relación a un conjunto de cambios tecnológicos denominados anticipaciones, en cuanto a: la fecha esperada de su materialización en México, el grado de importancia que tendrían al materializarse, el impacto, las limitaciones así como las recomendaciones y estrategias para lograr transformaciones tecnológicas necesarias para el desarrollo del área industrial. En este estudio se presentó una sección dedicada a las Energías Renovables, sin embargo, a pesar de las recomendaciones y estrategias descritas en ese documento, sus resultados no han sido utilizados; esto puede deberse a que no se presenta una agenda clara con líneas específicas de investigación, se consideran productos finales y no tecnologías que se pudiesen desarrollar, o debido a que el grado de especialización de los actores involucrados en los sectores no era muy alto.

Otro de los esfuerzos del Gobierno Federal, ha sido realizado a través de la Secretaría de Economía, llevando a cabo un plan para identificar sectores estratégicos a nivel estatal. En un estudio realizado por el Boston Consulting Group (BCG, 2009) se identificaron sectores estratégicos a nivel nacional, lo cual se utilizó como base para identificar junto con los gobiernos locales, los sectores a nivel estatal pero la pregunta es ¿Cómo podemos desarrollar esos sectores estratégicos?

¹ Concretamente se realizó un estudio Delphi

Por ello, en este proyecto, se hizo una revisión de los proyectos que buscan definir el futuro de la Energía Solar Fotovoltaica y el camino a seguir para lograr su desarrollo. Se pudo detectar que en los últimos años, todas las regiones con mayor desarrollo de la tecnología fotovoltaica- principalmente Japón, Estados Unidos, Europa y Australia- desarrollaron o actualizaron sus ejercicios de prospectiva tecnológica (International Energy Agency, 2010) y a pesar de que estos difieren en su enfoque y se ajustan a sus prioridades individuales, todos ellos hacen énfasis en el rol importante del futuro de la I+D fotovoltaica en general, y la necesidad de fortalecer la cooperación entre la investigación pública y privada.

Como parte de su reporte más reciente sobre la visión de la FV en 2030- y en el contexto de la iniciativa para una Plataforma Tecnológica Europea Fotovoltaica – La PV-TRAC formuló una lista exhaustiva de tópicos de investigación y desarrollo tratando de cubrir todos los aspectos importantes de ciencia y tecnología de la energía FV que proveyó el marco para una agenda de investigación estratégica para el desarrollo de estas tecnologías (Photovoltaic Technology Platform, 2008).

Tomando como referencia esta agenda de investigación y desarrollo, que dio como resultado el desarrollo de un *amplio portafolio de opciones tecnológicas*, como se explicará durante el desarrollo metodológico, se espera poder identificar oportunidades tecnológicas y dar pautas para definir opciones tecnológicas, que pudieran ser críticas para desarrollarlas en México, ajustándolas a las condiciones del país, sus recursos humanos, y su infraestructura, con una visión a mediano plazo (2012-2022).

Problemática

La competitividad se puede definir como el conjunto de instituciones, políticas, y factores que determinan el nivel de productividad de un país (World Economic Forum, 2012). Una economía competitiva es una, que probablemente, crezca más rápido a través del tiempo y en consecuencia, tiene más capacidad para atraer y retener talento e inversión, lo cual se traduce en un mayor desarrollo y bienestar para la sociedad.

Los países que han aumentado su competitividad y acelerado su crecimiento económico son aquellos que han logrado introducir al mercado nuevos y mejores productos, procesos y servicios, es decir, han alcanzado mayores niveles de bienestar debido a que su población y empresas han desarrollado la capacidad de innovación (OCDE, 2009). Sin embargo, existe una creciente preocupación, por la integración entre la competitividad económica y una serie de factores sociales tales como el desempleo y las condiciones de trabajo, la desigualdad y la cohesión social, el medio ambiente y la sustentabilidad,

Uno de los pilares que se toman en cuenta para medir la competitividad es la capacidad de innovación, en donde México se encuentra en el lugar 63 de 142 países (World Economic Forum, 2012). Si no fortalecemos las capacidades innovadoras, científicas y tecnológicas del país seguiremos perdiendo terreno en la economía global. En 2001, México ocupaba el lugar número 42 en el Índice de Competitividad Global, y en este 2012 se ubica en el lugar 58 (Instituto Mexicano de la Competitividad, 2012).

Un país en desarrollo como México, pueden verse a sí mismo, en menos condiciones para competir en el desarrollo de la tecnología, sin embargo existen razones por la que es de interés en estudiar estas tecnologías avanzadas.

Recientemente el gobierno de México estableció el Programa Nacional de Innovación (PNI) que tiene como objetivo establecer políticas públicas que permitan promover y fortalecer la innovación en los procesos productivos y de servicios para incrementar la competitividad de la economía nacional en el corto, mediano y largo plazo (Comité Intersectorial para la Innovación, 2011).

Este programa reconoce que los recursos disponibles son escasos y que se requieren una focalización de esfuerzos en áreas de mayor impacto, en los que las ventajas comparativas del país sean particularmente relevantes, y que cuenten con un elevado potencial de crecimiento económico y que por ende demanden soluciones innovadoras con un enfoque en el mediano y largo plazo.

En el PNI también se hace hincapié en la generación de conocimiento con orientación estratégica, en este sentido México cuenta con el Sistema Nacional de Investigadores (SNI), cuyos número de integrantes y trabajos han aumentado en los últimos años; sin embargo, los resultados favorables se han concentrado en los designados productos académicos (artículos, libros, capítulos) y en menor medida reportes, tecnologías o productos de investigación intermedios. Los resultados de propiedad intelectual o industrial son menos frecuentes (SED, 2010) Son necesarias herramientas que apoyen el desarrollo tecnológico y la creación de productos de alto valor.

Otro de los pilares que se toma en cuenta para la generación de innovación es el financiamiento nacional de la ciencia y la tecnología, donde el principal aporte ha provenido del sector público como es el caso de los fondos CONACYT. El gobierno federal cuenta con diversos programas de fomento a las actividades científicas, tecnológicas y de innovación, que buscan atender distintas necesidades y etapas del proceso. Aun que estos apoyos han promovido la innovación en México, se ha identificado que se requiere, además de una mayor cantidad de recursos, desarrollar nuevos programas para identificar y atender las brechas tecnológicas.

Por tanto, se requieren de acciones y estrategias encaminadas a detectar las oportunidades tecnológicas en las cuales México tenga mayores oportunidades de innovación, que le permita entrar a nuevos mercados, crear mejores productos, procesos y servicios, con el fin de incrementar su competitividad y lograr un mayor nivel de bienestar en su población.

El enfoque de Prospectiva Tecnológica para la identificación de oportunidades tecnológicas parece adecuado para enfrentar este reto y existen una gran número de herramientas que permiten la realización de este tipo de ejercicios, sin embargo, es necesario el desarrollo de una selección metodológica para la identificación de oportunidades tecnológicas que balanceen la competitividad, con el desempleo la desigualdad y la sustentabilidad, que combine criterios no solo cuantitativos sino cualitativos, y donde además, se vuelve crítico que pueda desarrollarse de manera rápida y con una visión al mediano y largo plazo.

Justificación

Uno de los pilares que se toman en cuenta para medir la competitividad es la capacidad de innovación, en donde México se encuentra en el lugar 63 de 142 países, por debajo de otros países emergentes como China (29), Brasil (44), India (38), o Chile (46) (World Economic Forum, 2012). En 2001, México ocupaba el lugar número 42 en el Índice de Competitividad Global, hoy en día se ubica en el lugar 58 (Instituto Mexicano de la Competitividad, 2012). Si además mantenemos una alta dependencia tecnológica y científica del exterior, cada vez será más difícil y costoso satisfacer nuestras necesidades. Es de vital importancia fortalecer las capacidades innovadoras, científicas y tecnológicas del país, de otro modo seguiremos perdiendo terreno en la economía global. El estudio de la competitividad es necesario para llegar a entender como puede impulsarse a partir de las fuentes que la alimentan, y así traducirse en la elevación del nivel de vida de la sociedad (Solleiro & Castañón, 2005). Se requieren de acciones y estrategias encaminadas a fortalecer la investigación pública y estimular su contribución a la innovación.

Las oportunidades de creación de beneficios económicos y de sustentabilidad mediante la tecnología son reales y deben ser sistemáticamente aprovechadas y promovidas. Es por ello que las empresas y otros organismos como los centros de I+D, deben hacer más esfuerzos explícitos para crear y desplegar tecnologías que apoyen su ventaja competitiva asumiendo el compromiso de atender temas como desempleo y las condiciones de trabajo, la desigualdad y la cohesión social, el medio ambiente y la sustentabilidad

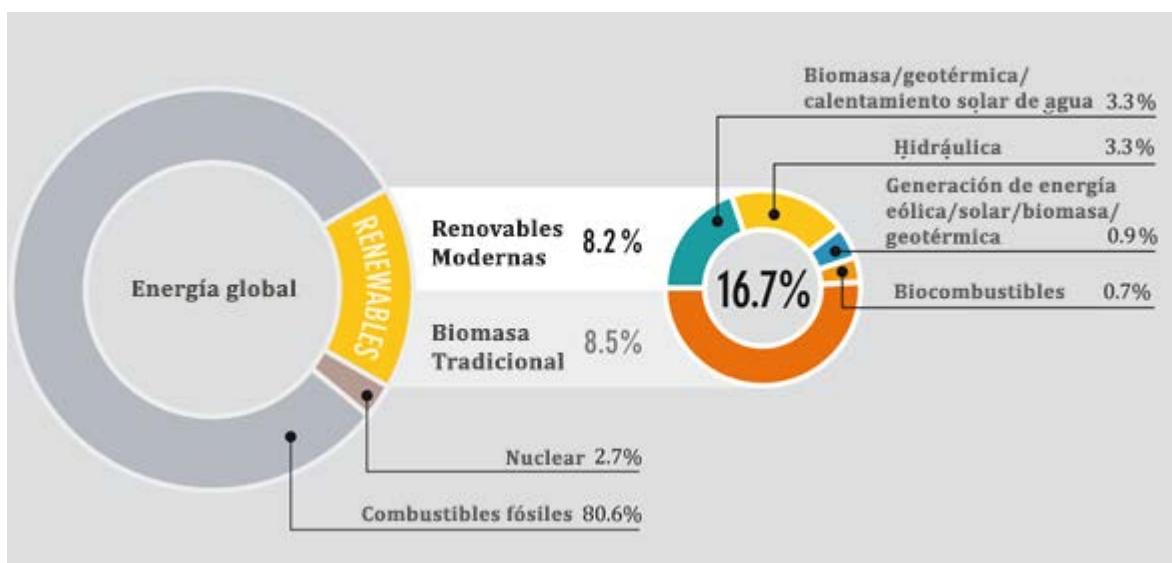
Pero, ¿por qué trabajar en energía solar fotovoltaica? El desarrollo y despliegue de las tecnologías de energía renovables son componentes importantes para el futuro de una economía de energía global mas equilibrada.

El cambio climático fue reconocido por el G8 en su Cumbre de Gleneagles como un problema serio y que a largo plazo tiene el potencial de afectar a todas las partes del mundo. De acuerdo a la Agencia Internacional de Energía (AIE), si se continúan con las

políticas presentes, las emisiones de CO2 relacionadas con la energía pueden crecer un 52% entre 2003-2030, un aumento de casi 13 millones de toneladas sobre los niveles del 2003. Las energías renovables pueden hacer mayores contribuciones a la diversidad y la seguridad del abastecimiento energético, al desarrollo económico, así como, hacer frente a la contaminación del medio ambiente (OCDE/IEA, 2006).

De acuerdo al último reporte de la Red de Energías Renovables (REN21, 2012), las fuentes de energía renovable han aumentado su participación considerablemente. De hecho durante 2010 suplieron un estimado del 16.7% de consumo global final de energía (Figura 1).

Figura 1. Participación de energías renovables en el consumo mundial final de energía, 2010



En el sector eléctrico, las energías renovables representaron casi la mitad de un estimado de 208 Gigawatts (GW) de capacidad eléctrica añadida a nivel mundial durante 2011.

De la diversidad de fuentes de energía renovables disponibles, la energía solar es la fuente primaria de energía más abundante sobre la Tierra. La cantidad de esta energía que llega a la superficie de la tierra en una hora es casi la misma cantidad que la consumida por todas las actividades humanas en un año. La conversión directa de los rayos del sol en electricidad en celdas FV es una de las tres principales tecnologías solares activas. Hoy en

día la energía solar FV provee el 0.1% del total de energía eléctrica generada a nivel mundial, sin embargo se está expandiendo rápidamente debido a las políticas efectivas de apoyo y a las recientes reducciones de costos. La FV es una tecnología comercialmente disponible y fiable con un importante potencial de crecimiento a largo plazo en casi todas las regiones del mundo. En el mapa de ruta de la IEA se proyecta que la Energía Solar Fotovoltaica proveerá el 5% del total de energía consumida en 2030, y alcanzará el 11% en 2050 (OECD/IEA, 2010).

Para lograr este nivel de participación, se tiene estimado que se requiere una inversión de 200 billones de dólares para la década de 2010-2020 y ascenderá a 650 billones de dólares para la década de 2020-2030, cifra que irá aumentando en las décadas siguientes (Figura 2). Esto da una idea del crecimiento tan importante que tendrá esta tecnología en los próximos años y de las oportunidades económicas que representa desarrollar esta tecnología. Además, el despliegue de la tecnología FV contribuirá significativamente a la reducción de carbono por la generación de electricidad. Se espera que de los 4500 TWh generados en 2050 se ahoren 2.3 Gt de emisiones de CO₂ por año (Figura 3). Durante el periodo 2008-2050 los ahorros acumulados estimados son de alrededor de 100Gt de CO₂ (OECD/IEA, 2010).

Figura 2. Inversión por década en FV

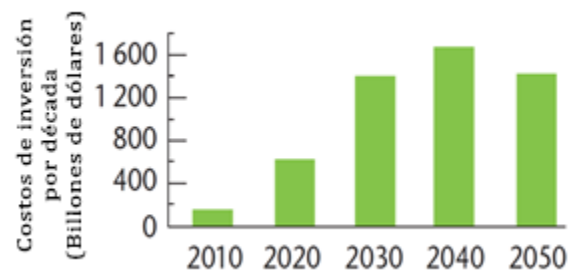
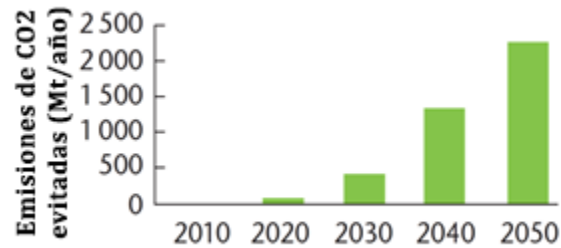
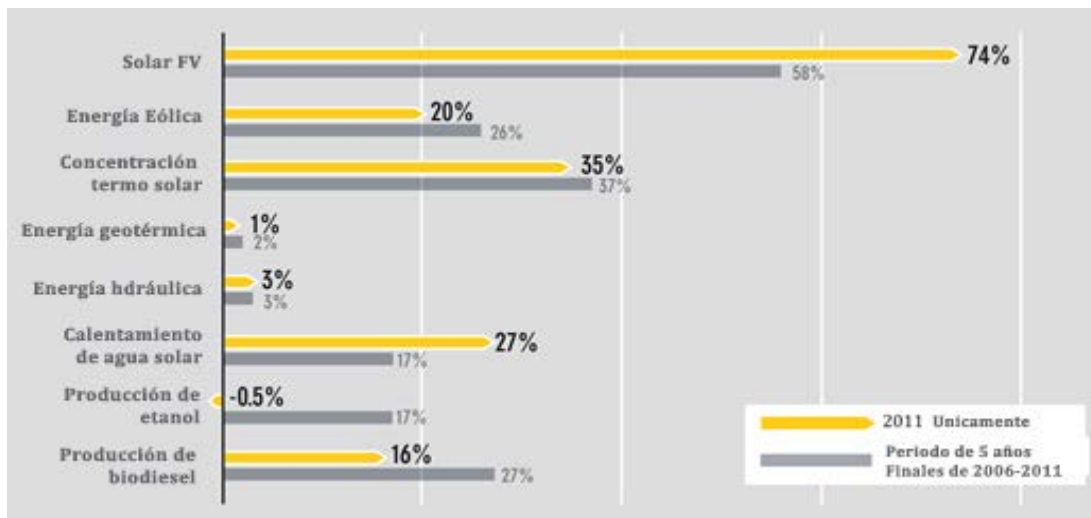


Figura 3 Emisiones anuales de CO2 evitadas con FV



A nivel mundial, ya se ha entendido la importancia de esta tecnología, de hecho el 2011 ha sido un año extraordinario, se añadieron casi 30 GW de capacidad de operación incrementado la capacidad total mundial en un 74% a casi 70 GW. El crecimiento de esta tecnología es mayor que cualquier otra energía renovable, en los últimos años (Figura 4).

Figura 4. Promedio anual de crecimiento de capacidad de energías renovables



Un estudio de análisis de patentes (Cullen, 2009) que compara a la energía solar con la eólica y la marina muestra que el mayor número de patentes registradas pertenecen a la energía solar (Figura 5) y que esta tecnología ha venido siendo desarrollada por países con un alto nivel de desarrollo tecnológico como Japón, China, Estados Unidos y Alemania (Figura 6).

Figura 5. Número de patentes en energías renovables

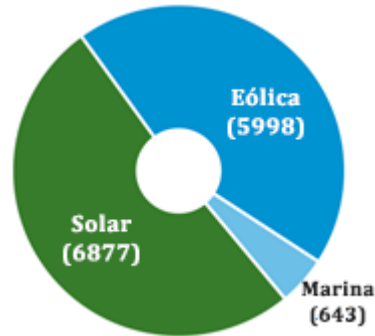
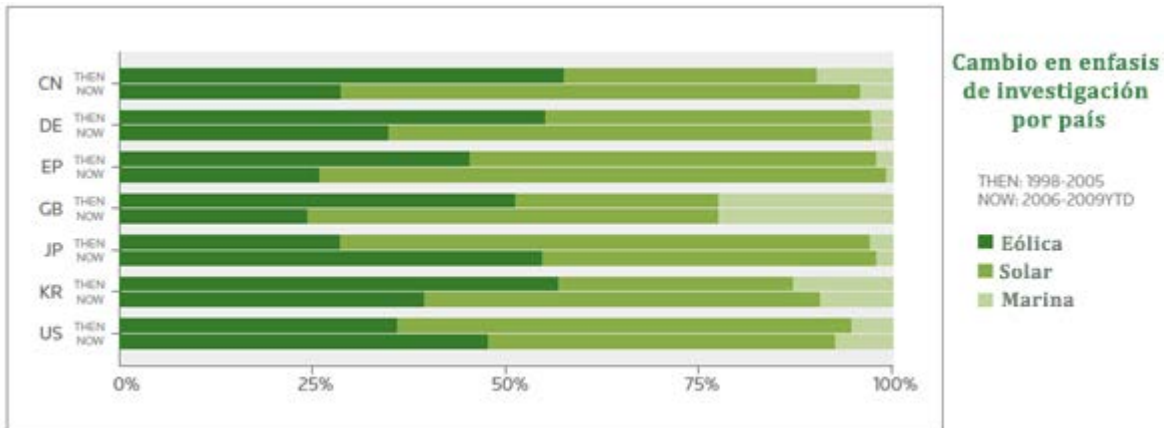


Figura 6. Actividad de invención reciente en solar FV



Visualizando los cambios de énfasis en los últimos años, a través de las patentes, China a pasado de énfasis de energía eólica a solar, Alemania ha aumentado su énfasis en energía solar FV y los Estados Unidos posee un énfasis similar en cuanto a energía eólica y solar (Figura 7).

Figura 7. Cambio de énfasis en investigación por país



En lo que se respecta a México, sus recursos solares en son de lo mejor en el planeta, superiores a Alemania y España, quienes son reconocidos como líderes mundiales en sistemas fotovoltaicos instalados. Los recursos de FV en nuestro país son en promedio 60% más altos que en Alemania.

El factor de retorno energético (FRE) en México es altamente favorable, produciendo 17 veces más energía que la requerida para fabricar el sistema fotovoltaico, lo cual es 1.5 veces más alto que el FRE en Alemania y casi igual al de España (SE/Techba/FUMEC, 2011).

Desde 2009 han aumentado las empresas que trabajan en energía solar, gracias a la caída del precio de módulos y el aumento de la demanda de instalaciones conectadas en la red eléctrica (Rosell, 2010). En ese mismo año, había alrededor de 1000 empleados y cerca de 100 empresas sin incluir trabajadores de multinacionales. El volumen de negocio en 2009 fue cerca de 30 millones de euros; sin incluir a grupos multinacionales como Kyocera o Sanyo, que tienen fabricas propias en México, o como Sunpower y BP Solar, que producen módulos a través de terceras empresas. En el 2011 estas empresas multinacionales habían abierto nuevas plantas de manufactura de módulos fotovoltaicos en los estados del norte del país. México ha empezado a fabricar sus propios módulos con empresas como Solartec, Baja Sun Energy quienes han apostado por esta tecnología (Barber, 2011).

Aunque estos datos parecen ser buenos a simple vista, no podemos dejar que México solo se convierta en un simple ensamblador de módulos fotovoltaicos, México tiene abundancia de recursos en energías renovables y cuenta recursos humanos que son capaces de generar investigación y desarrollo para apropiarse o crear las tecnologías necesarias y promover una industria nacional.

Sin embargo el país todavía depende del petróleo de manera significativa, mientras el promedio mundial de generación de energía a partir de hidrocarburos ronda el 80%, en México es del 92%. Además, pese a ser productores de petróleo, el país gastó 13 mil millones de dólares en 2006 (Gasca, 2009).

Para que la Energía Solar Fotovoltaica logre una mayor participación en la matriz energética mundial y los asociados beneficios ambientales, sociales y económicos además del apoyo político conjunto y los incentivos necesarios, se requiere un enfoque a largo plazo enfocado en el desarrollo tecnológico de todos los tipos de tecnologías fotovoltaicas, incluyendo los sistemas disponibles en el mercado y las tecnologías emergentes y novedosas que permitan abaratar sus costos y mejorar la eficiencia tanto en su proceso de fabricación como en los materiales (OECD/IEA, 2008).

Científicos e ingenieros en todo el mundo están trabajando sobre el desarrollo de celdas solares con una mejor razón costo/desempeño. Esto se puede hacer aumentando la eficiencia de conversión de las celdas FV, reduciendo su costo de elaboración, o la aplicación de nuevos materiales basados en películas delgadas y el escalamiento de la producción en grandes volúmenes, lo cual es un requisito importante para la reducción de costos.

Debemos enfocar la I+D a la obtención de celdas solares desarrolladas en México, con el objeto de recuperar al menos alguna de las áreas de desarrollo en este campo de la energía solar fotovoltaica, desarrollar nuestra propias soluciones y no condenarnos a importar tecnología extranjera.

Este proyecto se justifica por el interés de contribuir, a la capacidad innovadora del país, y buscar marcos de referencia, metodologías y herramientas que aporten una mayor calidad y variedad en la oferta de sus productos. De manera estratégica, debe propiciar el desarrollo de capacidades a nuevas oportunidades tecnológicas en el área de energías alternativas, ya que es una exigencia a nivel global.

Existe una necesidad de contar metodología para el establecimiento de oportunidades tecnológicas, que permita a los centros públicos de I+D en México, participar en estas nuevas tecnologías con una visión a largo plazo, generando nuevas líneas de I+D y productos de alto valor.

Hasta ahora, estas tecnologías han venido siendo desarrolladas en países con un alto nivel de desarrollo tecnológico, sin embargo, México tiene la responsabilidad social e internacional de involucrarse en la producción de energías alternas; pero, dado que lleva un atraso considerable en la dinámica de la generación de energías alternativas, y considerando que en comparación a otros países puede dedicar limitados recursos financieros a este tema, debe ser muy cuidadoso al identificar y decidir qué temas específicos pueden representar un verdadero nicho de oportunidad e impacto en el que invierta sus recursos.

Estos factores promueven la investigación de herramientas y la propuesta de una selección metodológica ágil, práctica y versátil que permita una identificación de líneas de I+D y su implementación en el área de la energía solar fotovoltaica que tenga como atributos ser incluyente, realizada con pocos recursos y en un corto periodo de tiempo, así como una visión con un horizonte de tiempo a mediano plazo (diez años) respondiendo a los nuevos enfoques, y el alto grado dinamismo y de complejidad para la resolución de problemas en el contexto actual.

Objetivos

Objetivo general

Este trabajo permitirá una selección metodológica en las modalidades de Prospectiva Tecnológica, para poder identificar oportunidades específicas de investigación y desarrollo tecnológico a los tomadores de decisiones de Centros Públicos de I+D, con la finalidad de obtener de manera sustentada y rápida, información sobre oportunidades tecnológicas en el desarrollo de la energía solar fotovoltaica, su atractividad técnica y de mercado, para orientar su esfuerzos y la inversión de sus recursos.

Objetivos específicos

- Destacar la importancia de la identificación de oportunidades tecnológicas en un contexto global de impulso a la innovación, con especial interés en energías renovables.
- Revisar el estado del arte en las metodologías para la detección de oportunidades tecnológicas
- Análisis y selección de metodologías y herramientas de prospectiva tecnológica para la búsqueda de información.
- Integrar la nueva propuesta metodológica con base en la exploración anterior.
- Aplicar la metodología para la realización de una primera identificación de líneas específicas de I+D, con una visión a 10 años, para apoyar el desarrollo e implementación de la energía solar FV por parte de México.

Alcance

Este trabajo se desarrolla sólo como una propuesta que incluye la exploración, el análisis y la integración del proceso de selección metodológica, así como su aplicación a una pequeña muestra de expertos estratégicamente seleccionada, para identificar con ello las oportunidades en el desarrollo de la energía solar fotovoltaica y obtener las recomendaciones específicas para posibles líneas de investigación y desarrollo tecnológico, con las cuales México pueda impulsar la industria solar fotovoltaica con una visión a 10 años. Sin embargo, este trabajo no cubre la implementación ni los requerimientos para realizar ello.

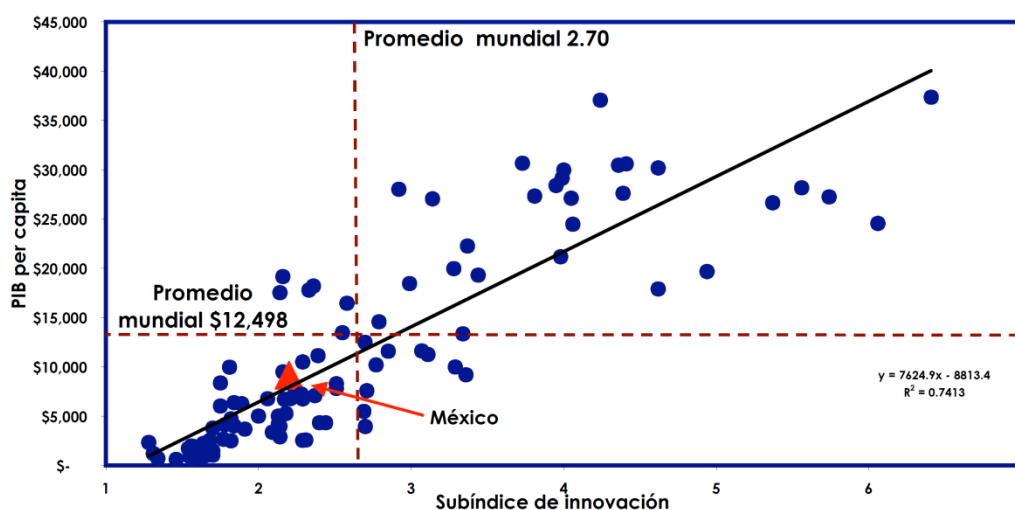
Capítulo 1. Estado del arte y marco conceptual.

1.1 Competitividad e innovación en México

En el Programa de Desarrollo Empresarial 2006-2009, el gobierno mexicano reconoce que la competitividad es el factor por el que las empresas mexicanas, en especial las de menor tamaño, podrán incrementar sus capacidades y convertirse en pilares del ingreso y empleo en el país (Consejo Ejecutivo de Empresas Globales, 2006). Sin embargo, la posición competitiva de México, de acuerdo con el Foro Económico Mundial, es baja comparada con el tamaño relativo de su economía y no ha variado considerablemente en los últimos cinco años (World Economic Forum, 2012), en especial si se considera el dinamismo de su sector exportador y el tamaño de su economía (Figura 8).

Figura 8. Innovación y PIB per cápita

Innovación y PIB *per cápita*

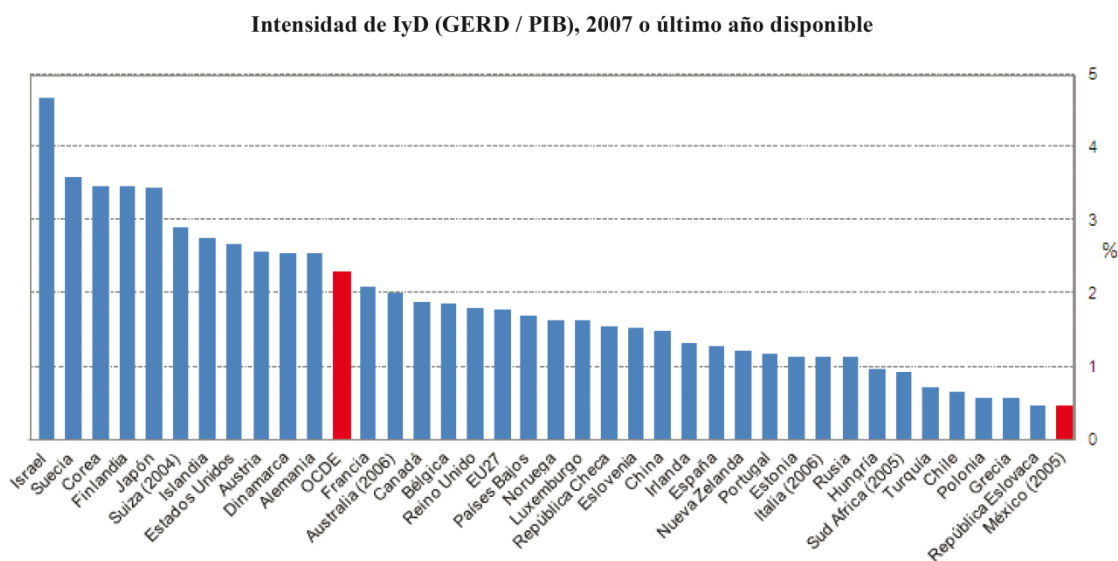


Fuente: Consultora Select, con información “The Global Competitiveness Reports 2004-2005”, octubre 2005.

México ha realizado inversiones insuficientes en ciencia, tecnología e innovación, como resultado, el crecimiento potencial de su economía es inferior al necesario para alcanzar el nivel de otros países y lograr una competitividad comparable a la de otras economías emergentes. De acuerdo con todos los indicadores disponibles, el nivel general de la

innovación en México es realmente bajo, no solamente en comparación con otros países de la OCDE, sino también con las economías emergentes más dinámicas (Instituto Mexicano de la Competitividad, 2012). El gasto en Investigación y Desarrollo (I+D) como porcentaje del PIB sigue siendo inferior al 0.5%, en contraste con un promedio superior al 2% en la zona OCDE y cercano al 1.5% en China (Figura 9).

Figura 9. Intensidad de I+D y PIB, 2009



Nota: GERD = Gasto Doméstico Bruto en Investigación y Desarrollo

Fuente: Indicador de la OCDE 2009 sobre Ciencia, Tecnología e Industria

México se ha desplomado 12 posiciones en el Índice Global de Innovación, índice que toma en cuenta los elementos de la economía que permiten la actividad innovadora y los estructura en siete pilares que son: 1) Capacidad de innovación, 2) Calidad de las instituciones de investigación científica, 3) Inversión de compañías en I+D, 4) Colaboración de industria y universidad en I+D, 5) Obtención del gobierno de productos tecnológicos avanzados, 6) Disponibilidad de científicos e ingenieros y 7) Patentes de utilidad concedidas/millón de habitantes (Tabla 1).

Tabla 1. Pilares para la medición de innovación

12º Pilar: Innovación			
12.01	Capacidad para innovación	3.0	76
12.02	Calidad en Instituciones de investigación científica	4.0	54
12.03	Compañía de gastos sobre I+D	3.0	79
12.04	Colaboración Industria-Universidad en I+D	4.0	45
12.05	Adquisición gubernamental de productos de tecnología avanzada	3.5	75
12.06	Disponibilidad de científicos e ingenieros	3.9	86
12.07	Patentes de utilidad concedidas p/millón de habitantes	0.9	58

1.1.1 Factores para impulsar la innovación en México

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), en su reporte *Estudios de la OCDE sobre Políticas de Innovación México*, analiza las fortalezas y debilidades del sistema de innovación mexicano, y hace una serie de recomendaciones al gobierno para incrementar el impacto de la innovación en el desarrollo económico del país (OCDE, 2009).

Los factores esenciales para promover una visión de México como líder en I+D, según la misma fuente, son:

- **Inversión en ciencia y tecnología:** el gasto bruto en este renglón en México es el más bajo de su área de la OCDE, con un 0.4 por ciento del PIB, valor que ha fluctuado en esos niveles desde el año 2000.

- **Producción científica y de patentes:** Uno de los pilares peor clasificados donde México ubica en la posición 102 de 125 países, con una baja relación de patentes, así como poca creación de conocimiento (UNESCO, 2010). El número de patentes mexicanas apenas representa 0.5 por ciento del total en el mundo. El país sólo contribuye con 0.82 por ciento de los artículos científicos que se producen a escala mundial. En 2008, México obtuvo 0.14

patentes y 73 artículos científicos por cada millón de habitantes, la cifra más baja del área de la OCDE.

- **Capital humano en ciencia y tecnología:** en 2008, México alcanzó 24.7 por ciento de graduados en ciencias e ingeniería, por encima del promedio de la OCDE; sin embargo, tuvo menos de un investigador por cada mil empleos, la cifra más baja de la OCDE, y la tasa de empleos de los graduados con nivel de doctorado estuvo por debajo del promedio de 18 por ciento.

Por estas razones se debe detonar nuestro potencial innovador a través de una política de largo plazo, en cuya definición participen las instituciones de educación superior, los centros de investigación, el sector empresarial y el gobierno que contribuyan al mejoramiento de estos factores.

1.1.2 El papel de los Centros Públicos de I+D en la innovación

Los economistas han prestado atención al surgimiento de una ciencia más organizada e industrializada como otra fuente importante de cambio tecnológico, a través de los Centros de Investigación y Desarrollo tecnológico (I+D). Desde entonces la I+D se ha considerado como una fase clave en la creación de tecnología y muy orientada a la generación de invenciones, en la medida de lo posible patentables (MOWERY, 1983).

La actividad de estos Centros tiene repercusiones industriales y un impacto en las otras actividades de innovación por lo que desempeñan un papel muy importante.

1.1.2.1 El sistema de Centros públicos de investigación CONACYT

El Sistema de Centros Públicos de Investigación (CPI) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) es un conjunto de 27 instituciones científicas y tecnológicas públicas mexicanas dedicadas a la investigación y la docencia de nivel superior en variadas disciplinas del conocimiento.

Uno de los tres subsistemas es el de los Centros de Desarrollo Tecnológico y de Servicios los cuales tienen como objetivo resolver problemas de la actividad productiva de las

diferentes regiones, creando nuevos productos y herramientas, mediante una investigación de calidad y cuya misión es proveer de información técnica especializada, la prestación de servicios de calibración, medición y análisis, la realización de trabajos de consultoría y el entrenamiento y capacitación del personal técnico industrial (WAITRO, 1992).

La muestra el desempeño de los centros perteneciente al subsistema de Desarrollo Tecnológico en el 2009, con respecto a los demás subsistemas.

Sin embargo, a pesar de que los centros de I+DT aportan el 66% de patentes con respecto a los demás subsistemas del CPI, estos proyectos solo representan un 11 % del total de patentes registradas por sustentantes mexicanos ante el IMPI, una cantidad muy baja, lo cual muestra la necesidad de impulsar los temas de productividad científica y tecnológica.

Otro problema importante es la vinculación que han tenido con las empresas para la generación de innovación. En una encuesta realizada en 2005, sólo 5% de las 1,610 empresas consideraron importantes a los Centros de I+DT como fuentes externas para la innovación (CICTI, 2006). De acuerdo a un estudio realizado por la consultora Capdevielle y asociados (Capdevielle, 2000) se concluye que tanto los Centros de I+D públicos, como universitarios, no son fuentes importantes de conocimiento tecnológico para las empresas. Estos Centros solo han podido establecer una colaboración efectiva con aquellas empresas que tienen un nivel de capacidades tecnológicas relativamente avanzado. En cambio las empresas que no tienen un alto nivel de capacidad tecnológica tienden a contratar proyectos muy simples (Merritt, 2004).

México enfrenta retos de enorme magnitud y es de esperar que lo siga haciendo en los años por venir. Entre los más importantes actualmente está superar la pobreza y la pérdida de competitividad de las empresas. Para hacer frente ellos, sin duda se requiere mejorar significativamente la capacidad científica y tecnológica del país y articular más ampliamente a las instituciones científicas y tecnológicas con el sector empresarial del país. Los Centros Públicos de Investigación CONACYT, por sus antecedentes, trayectoria y experiencia, así como por los activos intelectuales y de infraestructura con que cuentan para

generar conocimiento y gestionarlo, constituyen un componente substancial para la innovación en México.

1.1.3 Factores globales y desafíos de la política tecnológica

Una vez analizada la situación de competitividad e innovación en México, es necesario conocer cuales con los factores globales que han contribuido a la necesidad de contar con herramientas y metodologías que apoyen el proceso de innovación en un país o industria.

El desarrollo de herramientas que apoyen al proceso de innovación, ya sea a nivel país o en la industria, han ocurrido como respuesta a los cambios que han tenido lugar en el mundo económico. Algunos de los principales factores del cambio en la economía global en las últimas décadas (UNIDO, 2005) son:

- Aumento de la competencia
- Aumento de las restricciones sobre el gasto público
- Creciente importancia de las competencias científicas y tecnológicas

1.1.3.1 Aumento de la competencia

Hay un amplio reconocimiento de que vivimos en un mundo cada vez más competitivo. En los últimos 10 años, aproximadamente, han emergido mucho mas “jugadores” en la economía de mercado en países de Asia, Europa central y del este, América Latina y en otras partes del mundo. Esto ha aumentado el nivel de competencia económica entre países y entre compañías. En esta era de competencia y de cambios cada vez más rápidos, las nuevas tecnologías están jugando un rol cada vez mayor en relación al desarrollo económico y social.

A medida que avanzamos a una sociedad basada en el conocimiento, la competitividad industrial depende cada vez de nuevas tecnologías y de la innovación. Sin embargo, estas nuevas tecnologías y la investigación estratégica están a menudo muy alejadas del mercado, son demasiado arriesgadas o demasiado caras para que la industria tome toda la responsabilidad para su apoyo. Los gobiernos deben de asumir al menos parte de la

responsabilidad financiera. Sin embargo, estos no pueden darse el lujo de financiar todas las áreas de investigación y de la tecnológica que sus científicos o industriales les gustarían que apoyara. Las elecciones tienen que hacerse por lo que es necesario desarrollar herramientas que ofrezcan un procedimiento para ayudar a tomar esas decisiones.

1.1.3.2 Aumento de las restricciones en el gasto público

Los gobiernos de muchos países han experimentado significantes restricciones en el gasto público debido a la necesidad de equilibrar sus presupuestos. Es probable que esas restricciones crezcan con el paso del tiempo por una serie de razones, incluyendo la demografía y el envejecimiento de la población, el aumento de los costos en el cuidado de la salud, educación y el bienestar social.

Debido a los crecientes costos en investigación y desarrollo tecnológico, ningún gobierno puede permitirse el lujo de hacer todo en investigación y desarrollo tecnológico, ni siquiera los más ricos. Los gobiernos se han dado cuenta de que deben de ser más selectivos y deben tener políticas explícitas y prioridades claras para la investigación y la tecnología y por tanto debe de haber procedimientos más sistemáticos para establecer esas prioridades.

1.1.3.3 Creciente importancia de las competencias científicas y tecnológicas

Otro de los principales factores de cambio en la economía global es la creciente importancia de la competencia científica y tecnológica. Aquí, se puede distinguir entre las habilidades y el conocimiento.

El conocimiento científico y tecnológico es un recurso estratégico para los países y las compañías, sin embargo las habilidades científicas y tecnológicas o la experiencia también se están convirtiendo, cada vez más, en factores importantes para la creación de riqueza y el mejoramiento de la calidad de vida. Aquí las cosas se complican por el hecho de que las nuevas tecnologías no solo demandan nuevas habilidades si no que hacen a las viejas habilidades obsoletas

Además de los puntos anteriormente expuestos, existe una creciente preocupación acerca de la integración entre la competitividad económica y una serie de factores sociales tales como el desempleo y las condiciones de trabajo, la desigualdad y la cohesión social, el

medio ambiente y la sustentabilidad, además de nuevos riesgos (relacionados con la introducción de nuevas tecnologías) y su distribución entre los diferentes sectores de la sociedad en comparación con la distribución de los beneficios. Por tanto, existe una necesidad de nuevas políticas científicas y tecnológicas nacionales que balanceen la competitividad con el desempleo, la desigualdad y la sustentabilidad. Esto requiere de nuevas herramientas políticas.

Son necesarias nuevas habilidades tales como, el enfoque interdisciplinario, el trabajo en equipo, la creación de redes de colaboración. Por lo tanto hay una necesidad de lo siguiente:

- Políticas flexibles, que respondan a las necesidades actuales, sociales, económicas y ambientales.
- Instrumentos políticos que una a los diferentes socios, sus necesidades y sus valores, etc.
- Redes de colaboración y de socios cada vez mayores y más eficaces
- Una clara división entre de responsabilidades entre los organismos nacionales, regionales, globales y sus respectivas políticas.

Por todo ello son necesarias metodologías que provean un proceso para abordar estos temas de una manera sistemática, abierta y de colaboración.

1.2 La prospectiva tecnológica

La prospectiva tecnológica se puede definir como el proceso sistemático que busca mirar hacia el futuro en el mediano y largo plazo de la ciencia, la tecnología, la economía y la sociedad con el objetivo de identificar las áreas de investigación estratégica y las nuevas tecnologías genéricas que puedan producir los mayores beneficios económicos y sociales (UNIDO, 2005). Desde la década de 1990, la prospectiva tecnológica se ha ido expandiendo, pero fue Japón quien ha participado con más fuerza desde 1970, esta situación comenzó a cambiar cuando Australia, Francia, Holanda, el Reino Unido, Estados

Unidos y varios otros países comenzaron a realizar importantes estudios para identificar sus oportunidades tecnológicas (Miles I. , 2010).

Los organismos que generalmente hacen estudios de prospectiva tecnológica son los gobiernos, como un método de orientar las políticas de un país; las empresas, al buscar nuevas áreas de negocio y así anticiparse a sus competidores; y en los Centros de I+D para orientar su investigación y los recursos asignados a este rubro.

1.2.1 Prospectiva a nivel nacional y en la industria

1.2.1.1 Prospectiva a nivel nacional

Es ampliamente aceptado que la ciencia, tecnología e innovación se han convertido en temas muy importante para las economías y las sociedades de hoy. Existe una creciente presión para producir resultados en términos de contribuciones concretas a la solución de los problemas sociales y a incrementar la competitividad de las economías nacionales (Alan Porter, 2011).

La prospectiva tecnológica es cada vez más reconocida como un instrumento útil para la realización de políticas y de planeación estratégica.

Además de los países industrializados, en años recientes, países pequeños y en desarrollo, así como las economías en transición también han llegado a estar cada vez mas interesados en la prospectiva tecnológica.

Relevancia de la prospectiva para países en desarrollo.

Los objetivos y los enfoques establecidos por los grandes países industrializados pueden no tener relevancia para los países en desarrollo.

Las economías en desarrollo, como es el caso de México, desde un punto de vista económico tienen una limitada apertura económica nacional, producción para un pequeño segmento del mercado mundial, adaptación por la presión por las “grandes” economías. Por otro lado tienen una fuerte dependencia del comercio exterior, limitados recursos para la I+D y un gasto desproporcionado a la ciencia básica más que en la I+D. Esta situación

siguiere que la prospectiva tecnológica puede ser un instrumento para hacer frente a estas demandas.

Estos países pueden verse a sí mismo en menos condiciones para competir en el desarrollo de la tecnología, sin embargo hay razones por la que ellos están interesados en estudiar estas tecnologías avanzadas, principalmente: para la identificación y realización de sus potenciales nacionales para aplicar estas tecnologías dentro de la economía orientada hacia el largo plazo, en la estimulación de los actores clave que contribuyan a ello, y en informar sus futuras políticas en este sentido a nivel nacional. Existe un evidente interés por parte de economías en desarrollo como: Brasil, Indonesia, Malasia, México, Republica de Corea, Sudáfrica y Tailandia son ejemplos de realización de actividades en este campo.

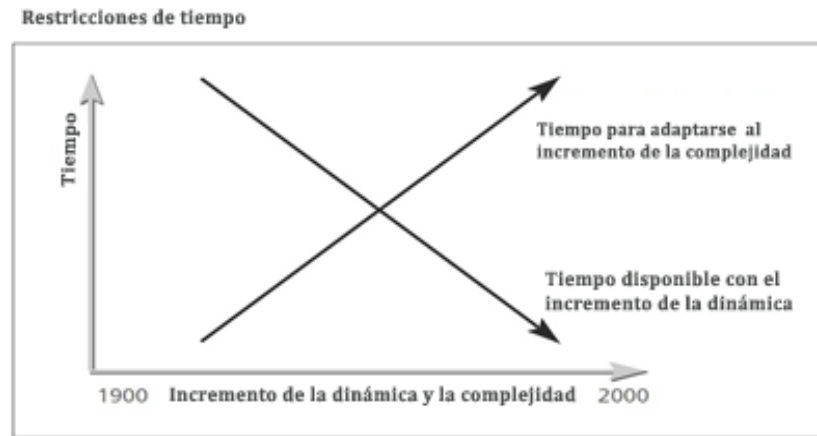
En conclusión se puede notar que hay una proliferación de los programas de prospectiva a nivel nacional, entre prácticamente todo tipo de economías, no solamente en los países industriales líderes. Las actividades de prospectiva han tomado un lugar en países pequeños así como en países en desarrollo y en transición económica.

1.2.1.2 Prospectiva en la industria

La dinámica de cambio en el ambiente empresarial ha incrementado fuertemente durante la última década. No solo en varios sectores de la industria, sino también la economía global en su conjunto está caracterizado por cambios fundamentales, como son las reducciones en las medidas proteccionistas a nivel nacional, la creación de nuevas instituciones globales y las mayores posibilidades de desarrollo tecnológico (Popper, 2008).

Este entorno altamente dinámico y complejo tiende a abrir una brecha en las capacidades humanas para hacer frente a estos cambios (Figura 10). Esta brecha se abre debido a que cada vez se necesita más tiempo para enfrentar el crecimiento de la dinámica y de la complejidad, y por otro lado, se tiene menos tiempo disponible para reaccionar ante estos cambios. Por lo tanto es necesario desarrollar instrumentos de gestión que aumenten nuestra capacidad para dominar la complejidad interna y externa.

Figura 10. Restricciones de tiempo



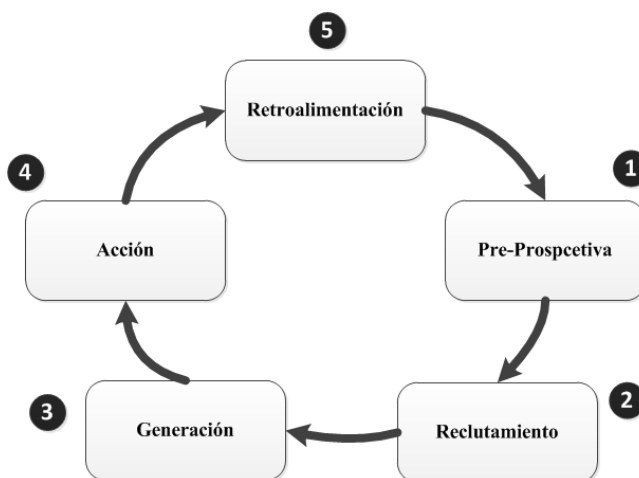
Source: Graf, (2003).

La prospectiva tecnológica en la industria, busca contribuir significativamente a mejorar la base de información para la toma de decisiones. Durante la última década se ha venido reconociendo mas ampliamente que muchos aspectos de la resolución de problemas ya no pueden ser abordados de una manera específica usando procedimientos convencionales. La condición de percepción de un mundo que está cambiando a un ritmo cada vez más rápido, así como la profundidad y gravedad de los problemas que hay que superar han llevado a la búsqueda de enfoques fundamentalmente nuevos y a una nueva forma de pensar. Lo que se necesita es un enfoque holístico e integrado de diferentes maneras de pensar, basado en una amplia perspectiva en la que se investigan las relaciones y asociaciones, teniendo en cuenta un gran número de factores de influencia.

1.2.2 Fases de la prospectiva tecnológica

Para el diseño un ejercicio de prospectiva, se propone un proceso básico de cinco fases (Miles, 2002): Pre-Prospectiva, Reclutamiento, Generación, Acción, y Renovación. (Figura 11)

Figura 11. Fases de la prospectiva tecnológica



En la Figura 12. Fases de la prospectiva tecnológica (detallada) se describe más a detalle que involucra cada fase.

Figura 12. Fases de la prospectiva tecnológica (detallada)

Pre-Prospectiva	Reclutamiento	Generación	Acción	Retroalimentación
Fundamentos	Equipo de trabajo	Conocimiento existente	Asesoramiento	Aprendizaje
Patrocinadores	• Habilidades	Es unido, analizado y sintetizado	• Estrategias	• Procesos
Objetivos	Socios		• Opciones políticas	• Productos
Orientación	Sub-contratos	Conocimiento Tácito es codificado	• Recomendaciones	Evaluación
Recursos	Grupo directivo	Nuevo conocimiento es generado (ejemplos, creación de visiones e imágenes a futuro)	•	• Impactos
• Equipo	Expertos		Transformación	• Eficiencia
• Tiempo	• Temáticos	CONOCIMIENTO	• Red de trabajo	Diseminación
• Dinero	• Sector		• Realización de políticas	• Visión compartida
• Infraestructura	• Regionales		• Realización de decisiones	• Cultura de prospectiva
• Culturales	• Nacionales		• ...	
• Políticos	• Internacionales			
Enfoques	Champions			
Horizonte de tiempo	• Temática			
Metodología	•			
Plan de trabajo	Internacional			
• Actividades	Paneles			
• Tareas	Metodología			
• Entregables	Facilitadores			
Enfoque	Relatores			
Contexto				
Cobertura				
Paso1. Escaneo y entendimiento de los mayores desarrollos en C y T, tendencias y temas				
Paso2. Movilización y reunión de los interesados				
Paso3. Generación de nuevo conocimiento a través de la <u>exploración, análisis y anticipación de posibles futuros</u>				
Paso4. Organización del futuro a través de la <u>planeación estratégica</u>				
Paso 5. Evaluación				

Fuente: (Popper, Foresight: processes, practices and methodologies, 2008)

1.2.2.1 Pre- Prospectiva

La fase de pre-prospectiva consiste en el proceso de planeación y diseño. Esto tiene que basarse en una concepción clara de los objetivos y las metas, para así establecer el proceso. En esta fase se define el equipo del proyecto y la selección de herramientas que conformarán la metodología.

Los elementos que deberán identificarse en esta fase son:

Posicionamiento en el contexto

- Análisis del contexto en el cual se aplica el estudio

Delimitación del estudio de prospectiva tecnológica

- Definición del enfoque
- Identificar y describir los objetivos que se buscan alcanzar.
- Definir a los usuarios
- Definir los entregables del estudio.
- Definir el alcance del estudio
- Definir el enfoque
- Identificar el horizonte de tiempo en el cual es deseable aplicar los resultados
- Identificar el tiempo en el cual es deseado hacer el estudio de prospectiva

Selección de métodos

- En esta fase se hará se hace una selección cuidadosa de los métodos o actividades que se llevarán a cabo, de acuerdo a los objetivos que se establezcan. Además de hacer una revisión de la literatura sobre el área de estudio.

1.2.2.2 Reclutamiento

La fase de reclutamiento es en donde se les pide o invita a personas estratégicas en el desarrollo de proyectos a participar en el proceso. Es importante estar consciente de lo que se necesita para el proceso de prospectiva para tener éxito- qué tipo de conocimiento, recursos y competencias se necesitan para lograr el objetivo.

1.2.2.3 Generación

La fase de generación es el corazón del proceso de prospectiva. Para la estructura de los métodos, podemos observar lo que ya existe, posteriormente pasar a métodos individuales y luego a los métodos interactivos y creativos. La fase de generación se tratará de explorar el “status quo” y las tendencias actuales, analizando como esas tendencias interactúan y utilizan esa información para anticipar la evaluación futura.

1.2.2.4 Acción

La fase de acción, consiste en la aplicación de las estrategias y medidas decididas como parte integrante del proceso de prospectiva. Con ayuda de la información generada en el proceso anterior, se diseña la estrategia a seguir para responder al conocimiento generado en la etapa anterior.

1.2.2.5 Retroalimentación

La fase de retroalimentación hace hincapié en la necesidad de aprendizaje y evaluación. ¿Qué partes del proceso de prospectiva han funcionado bien, y que no? ¿Hasta que punto los objetivos se han logrado? ¿Qué otras medidas se puede tomar en caso de que no se hayan completado los objetivos?

1.3 Exploración de metodologías para la prospectiva

Este módulo se enfoca a la revisión de algunos métodos que han sido usados para la realización de ejercicios de prospectiva. Existe un amplio rango de métodos disponibles, algunos están específicamente diseñados para detectar tecnologías emergentes, mientras que otros son usados para la administración y planeación tecnológica. De este amplio rango de métodos disponibles, es importante seleccionar los más adecuados de acuerdo al propósito para el que vayan a ser usados.

La selección de métodos dependerá de muchos factores como los recursos financieros y el tiempo con el que se cuenta y sobre todo los objetivos que se buscan alcanzar con este ejercicio, para el proyecto de Energía Solar Fotovoltaica, esto se especificará mas adelante. Por desgracia, no existe una receta sencilla para la selección y combinación de métodos. Esto es porque muchos pueden ser usados en una gran variedad de formas y cumplir una

variedad de funciones dentro de un ejercicio de prospectiva. Por otra parte, la amplia variedad de contextos en los que la previsión se podría aplicar, complica aún más cualquier intento de proporcionar alguna orientación. La metodología más apropiada dependerá de las circunstancias particulares del usuario.

Hay muchos criterios posibles que son usados para seleccionar un método. Entre ellos están los siguientes (UNIDO, 2005):

- Los recursos, especialmente tiempo y dinero, son factores significantes al seleccionar el método.
- La amplitud deseada y la profundidad de la participación de los expertos e interesados en este ejercicio.
- Los resultados deseados de este ejercicio, si se enfocará mas a mejorar un proceso u orientado hacia un producto.
- También es importante saber con qué datos y herramientas se cuenta para determinar si se usará cualquier método cualitativo o cuantitativo.

Estas metodologías y herramientas abarcan múltiples actividades y propósitos. En cuanto a los propósitos, algunos de los objetivos más comunes (Elgar, 2008) son:

- *Explorar oportunidades en el futuro a fin de establecer prioridades para la inversión en actividades de innovación y desarrollo.*
- *Reorientar los sistemas de Ciencia e Innovación.* Este objetivo esta relacionado con el establecimiento de oportunidades pero va más allá. Se han realizado algunos ejercicios en donde los sistemas de ciencia y tecnología no coinciden con las necesidades del país.
- *Demostrar la viabilidad de los sistemas de Ciencia e Innovación.* En este contexto, el objetivo es identificar las oportunidades tecnológicas que estén disponibles y así evaluar la capacidad de la ciencia o de una industria.

- *Traer nuevos actores en el debate estratégico.* Una creciente tendencia es el uso de la prospectiva como un instrumento para ampliar la gama de actores que participan en las políticas de ciencia e innovación. Un ejemplo es la inclusión de actores sociales o incluso sectores de la población en general.
- *Construir nuevas redes y vínculos a través de diferentes campos, sectores y mercados alrededor de los problemas.* En este caso lo que se espera con el estudio es crear nuevas redes y vínculos de trabajo.

Las modalidades en las que se realizan estos ejercicios de prospectiva tecnológica pueden variar fuertemente. Todos los objetivos anteriores se pueden alcanzar a nivel de organización, local, regional, nacional y supra nacional. La escala de tiempo para la prospectiva puede ser ir desde el futuro inmediato hasta un horizonte lejano. La cantidad de actores involucrados, los procesos y métodos utilizados, e incluso el estatus de la actividad varía considerablemente.

1.3.1 Tipología de prospectiva tecnológica

Para una selección de metodologías en la literatura (Porter 2010) se sugiere como guía entender las dimensiones clave en las que la prospectiva tecnológica se diferencia y de ahí ver los métodos que mas se adecuen a las necesidades del usuario. Porter describe 9 dimensiones que pueden ayudar a clasificar una actividad de prospectiva: motivación, conductores, enfoque, horizonte de tiempo, propósito, usuarios finales, participación, duración del estudio (Tabla 2).

Tabla 2. Tipología de prospectiva tecnológica

Tipología de prospectiva tecnológica					
Tipos	Dimensión	Valores de estado			
Contenido	Motivación	Extrapolativo	Normativo		
	Conducción	Ciencia (Investigación)	Tecnología (Desarrollo)	Innovación	Contexto
	Alcance	Tema único o tecnología	Tecnologías múltiples	Planificación de amplio alcance	
	Lugar	Institución	Sector	Región/ Nación	Global
	Horizonte de tiempo	Corto (1-2 años)	Rango-medio (3-10 años)	Largo (>15 años)	
	Propósito	Informativo	Acción orientada		
Proceso	Usuarios Objetivo	Pocos: Expertos	Diversos		
	Participación	Proceso cerrado o combinación estrecha	Intermedio	Proceso representativo, diverso	
	Duración de estudio	Día (s)	Mes(es)	Año(s)	

La persona que diseñe un estudio de prospectiva puede apoyarse en la tabla anterior seleccionando uno de los valores para cada dimensión de acuerdo a los objetivos que busque alcanzar con el estudio.

Diferentes métodos de prospectiva tecnológica

¿Cuáles son los métodos candidatos a ser usados en un estudio de prospectiva tecnológica?

La respuesta depende de lo que queremos lograr con este estudio. Existen un gran número de métodos que se pueden usar, de hecho, se han detectado mas de 40 métodos, sin embargo en la literatura (Popper, 2008) se han encontrado mas de herramientas y clasificaciones que nos proporcionan, no una ayuda para seleccionar las variantes metodológicas “correctas”, si no una guía de los enfoques metodológicos que podemos seguir.

1.3.2 Clasificación de Métodos

1.3.2.1 Clasificación por su naturaleza

Una de las formas en las que se pueden clasificar los métodos es a través de su naturaleza (Popper, 2008) estos poder ser: cualitativos, cuantitativos o semi-cuantitativos (Tabla 3):

Cualitativos: Los métodos cualitativos buscan dar un sentido a los acontecimientos y las percepciones. Estas interpretaciones tienden a basarse en la subjetividad o la creatividad a menudo difícil de corroborar (ejemplo, lluvia de ideas, entrevistas).

Cuantitativos: Esos métodos se basan en la medición de variables y aplicación de análisis estadísticos, utilizando o generando (se espera) datos fiables y válidos (ejemplo, indicadores económicos).

Semi-cuantitativos: Estos métodos aplican los principios matemáticos para cuantificar la subjetividad, juicios racionales, puntos de vista de expertos y comentaristas (ejemplo, la generación de mapas de ruta)

Tabla 3. Clasificación de los métodos de prospectiva por su naturaleza

Cualitativo	Cuantitativo	Semi-cuantitativo
Métodos que proporcionan significado y percepción de los acontecimientos. Tales interpretaciones tiende a basarse en la creatividad y subjetividad , a menudo difícil de corroborar (Ej. Lluvia de ideas, entrevistas).	Métodos de medición de variables y aplicación de métodos estadísticos, usando o generando (prometedores) datos fiables o validos. (Ej. Indicadores económicos).	Métodos que aplican principios matemáticos para cuantificar subjetivamente, juicios racionales y puntos de vista de expertos y comunicadores. (Ej. Ponderación de opciones).
<ol style="list-style-type: none"> 1. Backcasting 2. Lluvia de ideas 3. Paneles de ciudadanos 4. Conferencias/talleres 5. Ensayos 6. Paneles de expertos 7. Entrevistas 8. Revisión literaria 9. Análisis morfológico 10. Árboles de relevancia/cuadros lógicos 11. Juego de roles/funciones 12. Exploración 13. Escenario/talleres de escenario 14. Ciencia ficción 15. Juegos de simulación 16. Encuestas 17. Análisis FODA 18. Señales débiles/comodines 	<ol style="list-style-type: none"> 20. Benchmarking 21. Bibliometría 22. Indicadores 23. Modelado 24. Análisis de patentes 25. Extrapolación de tendencias/ análisis de impacto 	<ol style="list-style-type: none"> 26. Análisis de impacto cruzado 27. Delphi 28. Tecnologías clave 29. Análisis de múltiples criterios 30. Votación 31. Escenarios cuantitativos 32. Mapa de ruta 33. Análisis de las partes interesadas

Fuente: Popper, Foresight Methodology: an overview and more, 2008

1.3.2.2 Clasificación de métodos por tipo de enfoque

Otro tipo de clasificación, puede ser por su enfoque, este puede ser exploratorio o normativo.

El enfoque exploratorio, se basa en lo que ya sabemos, y busca explorar posibles escenarios futuros, como ejemplo tenemos a los estudios Delphi, talleres de escenarios, análisis de impacto, extrapolación de tendencias, etc.

El enfoque normativo, se basa en lo que se quiere o se desea para el futuro y se hace la planeación desde el presente para lograr esto. Como ejemplo tenemos El método Delphi, los arboles de relevancia, el análisis morfológico y los mapas de ruta, etc.

1.3.2.3 Clasificación de métodos por fuente de conocimiento

Aquí se pueden dividir los métodos en creativos, de interacción, evidencia o expertise (Figura 13):

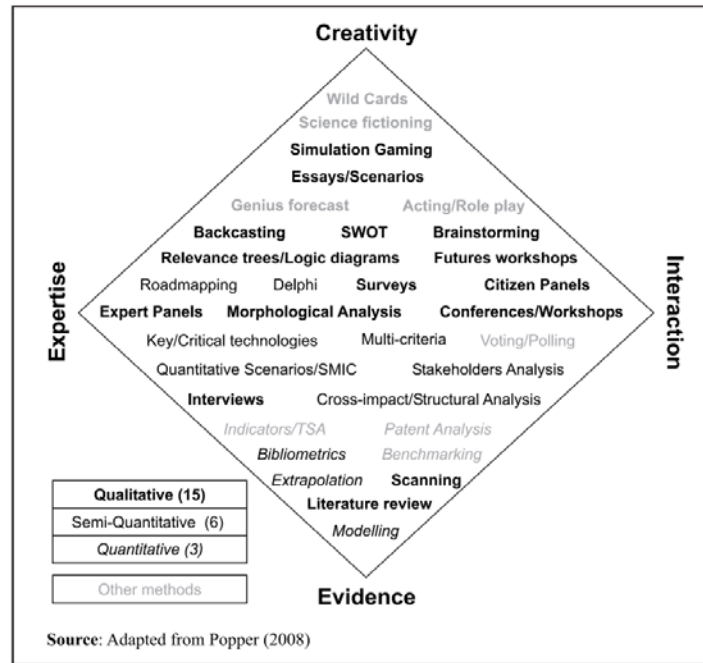
Creatividad: Estos métodos dependen en gran medida de la inventiva y el ingenio de los individuos muy cualificados

Interacción: Estos métodos dependen en gran medida de la participación y los puntos de vista compartidos por expertos y no expertos.

Evidencia: Estos métodos se basan en la información codificada, datos, indicadores, etc.

Expertise: Estos métodos dependen en gran medida en el conocimiento tácito de las personas con acceso privilegiado a la información o con su conocimiento acumulado.

Figura 13. Clasificación de métodos por fuente de conocimiento



Fuente: (Yim, 2010)

1.3.2.4 Clasificación por familias

Una de las clasificaciones más completas es realizada por Alan Porter, (Porter A. , Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods, 2004) quien clasificó 51 métodos aplicables en la prospectiva tecnológica en 9 familias. La Tabla 4. Métodos clasificados por familias presenta una compilación de una variedad de métodos para la búsqueda de oportunidades tecnológicas, la segunda columna ofrece una clasificación de los métodos individuales en nueve “familias” de métodos. Nótese que algunos de los métodos recaban información, otros procuran entender las interacciones entre eventos, tendencias, y acciones. Algunos de ellos son definitivos mientras que otros se guían por la incertidumbre (esto es, que involucran análisis probabilísticos). Estos tienden a diferir en el enfoque y las habilidades requeridas. La tercera columna ofrece un juicio sobre si el método es principalmente “duro” (cuantitativo: empíricamente, numéricamente) o “suave” (cualitativo: basado en el juicio, refleja un conocimiento tácito) y si este es normativo (empezando el proceso con una perspectiva de las necesidades en el futuro) o exploratorio (empezando el proceso con una extrapolación de la capacidades tecnológicas actuales).

Tabla 4. Métodos clasificados por familias

Métodos de prospectiva tecnológica

Método y sus variaciones	Familia	Duro o suave	Exploratorio o normativo
Análisis de acción	V	S	N/Ex
Modelado	M&S	D	Ex
Analogías	Desc	D/S	Ex
Proceso de jerarquización analítica	V	D	N
Backcasting	Desc	S	N
Bibliometría [perfil de investigación, análisis de patentes, minería de datos]	Mon/Est	D/S	Ex
Lluvia de ideas	Cr	S	N/Ex
Modelos causales	M&S	D	Ex
Lista de tareas para identificación de impacto	Desc	S	Ex
Modelación de sistemas adaptativos complejos	M&S	D	Ex
Análisis de correlación	Est	D	Ex
Análisis costo-beneficio	V	D	Ex
Talleres de creatividad	Cr	S	Ex/N
Análisis de impacto	M&S	D/s	Ex
Análisis de decisión	V	S	N/Ex
Delphi	OpEx	S	N/Ex
Demografía	Est	D	Ex
Modelación de difusión	M&S	D	Ex
Modelado basado en economía	M&S/V	D	Ex
Grupos enfocados	OpEx	S	Ex
Modelación de sistemas de innovación	Desc	S	Ex
Entrevistas	OpEx	S	N/Ex
Análisis institucional	Desc	S	Ex
Análisis de onda larga	Tr	D	Ex
Análisis de mitigación	Des	S	N
Monitoreo [escaneo de ambiente, vigilancia tecnológica]	Mon	S	Ex
Análisis morfológico	Desc	S	N/Ex
Análisis de decisión con multicriterios	Des	D	Ex
Evaluación de múltiples perspectivas	Des	S	Ex/N
Análisis organizacional	Desc	S	Ex
Técnicas de participación	OpEx	S	N
Análisis de precursores	Tend	D	Ex
Arboles de relevancia	Desc/V	S	N/Ex
Análisis de requerimientos	Desc/V	S/D	N
Análisis de riesgos	Desc/Est	D/s	N/Ex
Mapa de ruta	Desc	D/S	N/Ex
Escenarios	Es	D/S	N/Ex

Tabla 4. Métodos clasificados por familias (continuación)

Métodos [y variaciones]	Familia	Duro o Suave	Exploratorio o Normativo
Simulación de escenarios	Es/M&S	S	N/Ex
Análisis de ciencia ficción	Cr	S	N
Evaluación de impacto social	Desc	S	N/Ex
Análisis de Stakeholders	Desc/V	S	N
Estado del índice del futuro	Desc	D/S	N/Ex
Análisis de sostenibilidad	Desc/M&S	D	Ex
Substitución tecnológica	M&S	D	Ex
Evaluación tecnológica	Des/M&S	D/S	Ex
Extrapolación de tendencias	Tend	D	Ex
Análisis de impacto de tendencias	Tend/Est	D	N/Ex
TRIZ	Cr	D	N/Ex
Generación de visión	Cr	S	N/Ex

Sin embargo, años más tarde, el mismo Porter, extendió la clasificación de las familias a 13 familias, incluyendo “combinaciones” de tipos de métodos y mencionando unos 48 métodos (Porter A. , Technology foresight: types and methods, 2010). La asignación de estos métodos en sus respectivas familias puede ser discutible y muchos pueden ser colocados en más de una familia (Tabla 5).

Tabla 5. Métodos clasificados por familias (2010)

Metodos de análisis de tecnología orientados al futuro	
<i>Familia de métodos</i>	<i>Ejemplos de Métodos</i>
Enfoques creativos	TRIZ, visulaización
Monitoreo e inteligencia	Visión tecnológica, minería de datos
Descriptivos	Bibliometría, valoración de multiples perspectivas
Matrices	Analogías, análisis morfológico, analisis de impacto
Análisis estadístico	Análisis de riesgos, correlaciones
Análisis de tendencias	Modelado de crecimiento de curva, indicadores, curvas envolventes
Opinión de expertos	Encuesta, Delphi, grupos enfocados, enfoques participatorios
Modelado y simulación	Descripción de sistemas de innovación, modelación de sistemas adaptativos complejos, análisis de substitución, modelación de entradas y salidas
Análisis causa-efecto	Análisis de requerimientos, análisis institucional, análisis de acción, arboles de relevancia
Mapa de ruta	Backcasting, Mapa de ruta de tecnología/producto.
Escenarios	Administración de escenarios, Escenarios basados cuantitativamente
Análisis económicos y de valor	Análisis costo-beneficio, anaálisis de datos involucrados, Analisis de decisiones por multicriterios
Combinaciones	Simulación de escenarios (juegos), análisis de impacto de tendencias

Las familias metodológicas en la Tabla 5 tratan de estar ordenadas de familias descriptivas a prescriptivas. Muchos de los cuales hacen énfasis en la recolección y el tratamiento de los datos.

Los enfoques creativos tratan de darnos una amplia consideración; y nos estimulan a “salirnos de la caja”. Los métodos de monitoreo y de inteligencia crean un perfil con la información disponible. Los métodos descriptivos y las matrices manejan la información para facilitar su interpretación. Los métodos estadísticos son usados en varios de los enfoques (como el análisis de tendencias). Pero la prospectiva no es solamente dependiente de extensas manipulaciones estadísticas. Los análisis de tendencias – la serie de datos históricos en un lapso de tiempo y su proyección en el futuro- son herramientas básicas de prospectiva. A veces se hace uso exclusivo de la opinión de expertos, sin embargo es mejor, si puede ser combinado con enfoques empíricos que puedan ayudar e interpretar la información.

En los métodos restantes, las familias implican más manipulación de datos. La modelación y simulación cubren una amplia gama - desde modelos cualitativos (como los análisis lógicos/causales) hasta análisis complejos como la modelación por computadora. Los análisis lógicos/causales aplican la relación “si/entonces” para ayudar a hacer un bosquejo de las implicaciones de cada decisión.

Los mapas de rutas hacen proyecciones futuras que sirven como base de información, para la planificación de la científica y tecnológica. Los escenarios combinan múltiples elementos para dibujar futuros alternativos. Los escenarios y los análisis de valoración/decisión económica generalmente son opciones para la realización de políticas. Las combinaciones son solo eso – interesantes formas para integrar diferentes herramientas y así obtener una mejor prospectiva.

1.3.2.5 Clasificación por fase de desarrollo de la prospectiva tecnológica

Tomando en cuenta la división de fases de la prospectiva, descrita anteriormente, se ha encontrado una guía que puede apoyar al proceso de selección de los métodos que mejor se adecue a las necesidades del usuario (Popper, How are foresight methods selected?, 2008). En la Tabla 6 se muestran 33 diferentes metodologías con consideraciones del nivel de impacto que pueden tener sobre cada una de las fases, los tonos más oscuros indican que ese método tiene un alto impacto en determinada fase del estudio, pero posiblemente no sea el más adecuado para otra fase.

De este amplio rango de métodos disponibles, se puede ir seleccionando el método que tenga mayor impacto en cada una de las fases del estudio de prospectiva tecnológica y que mejor se adecuen a los objetivos del estudio.

Tabla 6. Métodos clasificados por fase de desarrollo de la prospectiva tecnológica

Métodos/actividades		Fases de Prospectiva					Tipo de método
		Pre-Prospectiva	Reclutamiento	Generación	Acción	Retroalimentación	
1	Backcasting						Cualitativos
2	Lluvia de ideas						
3	Panel de ciudadanos						
4	Conferencias						
5	Ensayos/Escenarios						
6	Panel de Expertos						
7	Previsión de expertos						
8	Entrevistas						
9	Revisión de la literatura						
10	Análisis morfológico						
11	Arboles de relevancia						
12	Juego de Roles						
13	Escaneo						
14	Escenarios						
15	Ciencia ficción						
16	Juegos de simulación						
17	Encuestas						
18	Análisis FODA						
19	Señales de debilidad						
20	Benchmarking						Cuantitativos
21	Bibliometría						
22	Análisis de indicadores						
23	Modelado						
24	Análisis de patentes						
25	Extrapolación de tendencias						
26	Análisis estructural						Semi-cuantitativos
27	Delphi						
28	Tecnologías Clave						
29	Análisis de multicriterios						
30	Voto						
31	Escenarios cuantitativos						
32	Mapa de ruta						
33	Análisis de Stakeholders						
Legenda de colores		Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto	

Fuente: (Popper, How are foresight methods selected?, 2008)

La tabla provee una visión impresionista del potencial de contribución que 33 métodos pudieran tener para cada una de las fases del Proceso de Prospectiva.

- El “potencial de contribución” es representada a través de un sombreado en un rango de “muy bajo” a “muy alto”
- Describe cada uno de los métodos en cuanto a su naturaleza (cualitativo, cuantitativo y semi-cuantitativo).
- Por ejemplo: el Backcasting pudiera tener un potencial de contribución muy bajo en las fases de Pre-prospectiva, Reclutamiento y Retroalimentación, pero un alto potencia en las fases de Generación y Acción.

1.3.3 Consideraciones al realizar el estudio de identificación de oportunidades tecnológicas

Diferentes tipos de prospectiva demandan diferentes métodos. Los tipos y métodos son tan complejos para hacer una simple prescripción de que hacer, y cuando hacerlo. Aquí solo se ha dado una introducción de los diferentes métodos (herramientas, procesos, etc.) Se deben de evaluar los pros y contras desde sus diferentes enfoques.

La prospectiva tecnológica debe ser considerada como una actividad multidimensional. Por lo tanto la conducción de este estudio debe de ser conducido por el tipo de análisis que se desea hacer. Aquí se ofrecieron una larga lista de métodos y familia de métodos, con algunas consideraciones sobre los factores a considerar para ajustar estos métodos al tipo de estudio que prospectiva que se vaya a realizar.

La revisión realizada hasta esta parte nos ha mostrado que no existe todavía ningún método único, ampliamente difundido y aplicado para la identificación de oportunidades tecnológicas bajo el enfoque de la prospectiva tecnológica. Existen diferentes enfoques que se han adoptado en la práctica, esto en función de los objetivos específicos, el alcance de su aplicación y el contexto (empresas, instituciones, centros de investigación, industrias específicas, etc)

Además la literatura indica que existe un nivel mayor de competencia entre países y compañías donde las nuevas tecnologías se vuelven un factor importante para el desarrollo

económico y donde no es posible financiar todas las áreas de I+D por lo que se tienen que desarrollar herramientas que ofrezcan un procedimiento para tomar decisiones sobre que áreas apoyar.

Por otro lado, nos encontramos en un entorno altamente complejo y dinámico que demanda cada vez nuevas habilidades y las viejas habilidades se vuelven obsoletas, donde entramos en un proceso de continuo aprendizaje, y en donde cada vez se tiene menos tiempo disponible para reaccionar ante los cambios. Lo que muestra la necesidad de responder de manera rápida ante un entorno cada vez más complejo.

La resolución de problemas ya no pueden ser abordados de una manera específica usando procedimientos convencionales. La condición de percepción de un mundo que está cambiando a un ritmo cada vez más rápido, así como la profundidad y gravedad de los problemas que hay que superar han llevado a la búsqueda de enfoques fundamentalmente nuevos y a una nueva forma de pensar. Lo que se necesita es un enfoque holístico e integrado de diferentes maneras de pensar.

Todos estos factores hacen necesario el desarrollo de una metodología para la identificación de oportunidades tecnológicas que balanceen la competitividad, con el desempleo la desigualdad y la sustentabilidad, que combine criterios no solo cuantitativos sino cualitativos, y donde además, se vuelve crítico que pueda desarrollarse de manera rápida y con una visión al mediano y largo plazo.

1.4 La Energía Solar Fotovoltaica

Las celdas solares son dispositivos electrónicos que hacen una conversión directa de la luz del sol en electricidad. La forma moderna de la celda solar fue inventada en 1954 en los laboratorios Bell. Hoy en día la FV es una de las tecnologías de energía renovables con más rápido crecimiento y se espera que juegue un rol mayor en el futuro de la generación global de energía.

1.4.1 Cadena de valor de la energía solar fotovoltaica

Una forma de entender los esfuerzos que se están realizando en I+D en energía solar FV es a través del entendimiento de su cadena de valor Figura 14.

Antes de que un módulo solar pueda convertir la luz del sol en electricidad, debe someterse a un proceso de producción en varias fases. En primer lugar, debe extraerse el silicio de la arena, para luego fundirlo y darle forma de bloques, denominados lingotes, que, a su vez, se cortan en rodajas de unos pocos milímetros de grosor, las obleas. En el siguiente paso, las obleas se recubren a fin de producir células solares que después se unen para formar módulos solares (EU ProSun).

Figura 14. Cadena de valor de la energía solar fotovoltaica



Fuente: <http://www.prosun.org/>

Silicio

Al ser el segundo elemento más frecuente en la corteza terrestre, la disponibilidad de silicio es casi ilimitada. En la naturaleza existe exclusivamente como óxido, ya sea en forma de dióxido de silicio o como minerales que contienen silicio. Por ejemplo, la arena y el cuarzo están formados principalmente por dióxido de silicio. A escala industrial, el silicio elemental se produce mediante la reducción del dióxido de silicio con carbono en un horno a una temperatura aproximada de 2000 °C. Para la producción de células solares, el silicio sin procesar se debe purificar aún más a fin de convertirlo en silicio apto para aplicación solar.

Obleas solares

En el segundo paso del proceso, se crean las obleas solares a partir del silicio de calidad solar. En este punto, el silicio se funde a una temperatura superior a 1400 °C y se le da

forma de bloques o lingotes. En la fundición se puede emplear el proceso monocristalino o el proceso policristalino. Cuando se fabrican obleas monocristalinas, sólo se extrae un cristal del silicio fundido. En el proceso policristalino, el silicio líquido fundido se solidifica y se forman miles de pequeños cristales en un bloque. Los bloques se dividen entonces en columnas con una sección transversal cuadrada a partir de la cual se cortan las finísimas obleas mediante cortadoras de hilo o láser.

Celdas solares

Al mecanizar y recubrir su superficie, las obleas se convierten en células solares. En ese momento, las células ya poseen todas las propiedades técnicas necesarias para convertir la luz del sol en energía eléctrica. Constituyen el elemento básico de un módulo solar. Una célula solar consta de dos capas de silicio. En los puntos de contacto de ambas capas, se forma un campo eléctrico. Los procesos físicos desencadenados por la luz incidente provocan que la energía eléctrica fluya entre los contactos de metal que se han fijado a estas capas de silicio. Hoy en día, el grado medio de eficiencia de las células solares (es decir, su capacidad para convertir la energía solar en electricidad) es de aproximadamente el 18 %.

Módulos solares

En el último paso del proceso, las células solares se combinan para formar módulos solares. Los módulos de energía solar son el producto final y están listos para la generación de energía solar. Se enmarcan y encapsulan para que sean resistentes a la intemperie. En los módulos, la luz del sol se convierte en energía eléctrica. Existe una distinción entre los módulos monocristalinos y los policristalinos. Los módulos fotovoltaicos fabricados con células solares monocristalinas son más eficientes, por lo que son especialmente adecuados cuando el espacio es limitado.

Sistemas fotovoltaicos

Los componentes de un sistema fotovoltaico, FV consta de los siguientes componentes:

Las celdas, las cuales convierten la energía del sol en electricidad mediante el efecto fotoeléctrico que ocurre en materiales semiconductores.

Los módulos, son el conjunto de celdas interconectadas y encapsuladas para formar un modulo fotovoltaico, el cual es el producto comercial.

La estructura de montaje para el modulo o el arreglo,

El inversor, que convierte la electricidad generada en una forma adecuada para el uso diario, esencial para los sistemas conectados a la red y requeridos para la mayoría de los sistemas autónomos

En los sistemas aislados además se requiere un una **batería** (generalmente de tipo plomo-ácido para almacenar la energía de uso posterior) y un **controlador de carga**, para proteger a las baterías de las descargas o sobrecargas y proporcionar información sobre el estado del sistema además de realizar la medición y el posterior pago de la electricidad.

1.4.2 Investigación y desarrollo en energía solar FV

Los esfuerzos en I+D son importantes a lo largo de toda la cadena de valor de la generación de energía; desde la producción de la materia prima hasta la manufactura de los módulos y los componentes del sistema. La investigación en celdas y módulos solares constituye la mayor fracción de la porción de I+D, normalmente el 75% del total de gastos (Internacional Energy Agency, 2011)

La I+D energía fotovoltaica puede ser dividida en dos grandes categorías (International Energy Agency, 2010):

I+D fundamental, enfocada al desarrollo o mejora de las celdas y módulos solares FV.

Los esfuerzos están dirigidos a: nuevos materiales y procesos; nuevas tecnologías de películas delgadas; un mayor rendimiento de las celdas multi-capa y de concentración; mejorar la eficiencia y la reducción de costos de las celdas de silicio cristalino; una mejor medición y caracterización; e investigación básica en la interacción de los fotones y los materiales.

I+D aplicada, está más orientada hacia la manufactura de sistemas y tiene como objetivos: encontrar formas de reducir los costos y mejorar su fabricación; desarrollar nuevos conceptos de producción de obleas, células y módulos; maximizar el valor de la FV como

soporte a la red; mejorar el acceso a nuevos productos; fomentar las sinergias y las alianzas, proporcionar información a los consumidores y recolectar sus comentarios, etc.

De acuerdo al estudio *Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy* (OECD/IEA, 2010) entre las principales prioridades a corto plazo (C), mediano plazo (M) para la FV a nivel mundial son:

- Mejorar el desempeño técnico y la eficiencia en los costos de las celdas solares, módulos y componentes del sistema, tanto para los existentes, así como para las nuevas tecnologías de celdas solares. (C-M)
- Mejorar la manufactura de componentes y sistemas para la producción a escala industrial, con una producción substancial en masa y un potencial reducción de costos (incluyendo plantas de manufactura demostrativas) (C)
- Diseño de sistemas FV como material de construcción y elemento arquitectónico que cumpla con los requisitos técnicos, funcionales y estéticos cumpliendo el objetivo de reducción de costos (C-M)
- Diseñar e implementar soluciones de reciclaje para varias tecnologías FV (C-M)

Como es evidente la I+D en la energía fotovoltaica es particularmente amplia en su enfoque disciplinario, que abarca la ciencia de los materiales, dispositivos físicos y químicos, electrónica, robótica, tecnologías de la construcción, sistemas de transmisión eléctrica, almacenaje de electricidad así como de modelado en estas diferentes áreas. Dependiendo de la origen de las diversas disciplinas, la I+D fotovoltaica frecuentemente se enfoca en los componentes específicos, procesos y aplicaciones, y las posibles mejoras de los mismos.

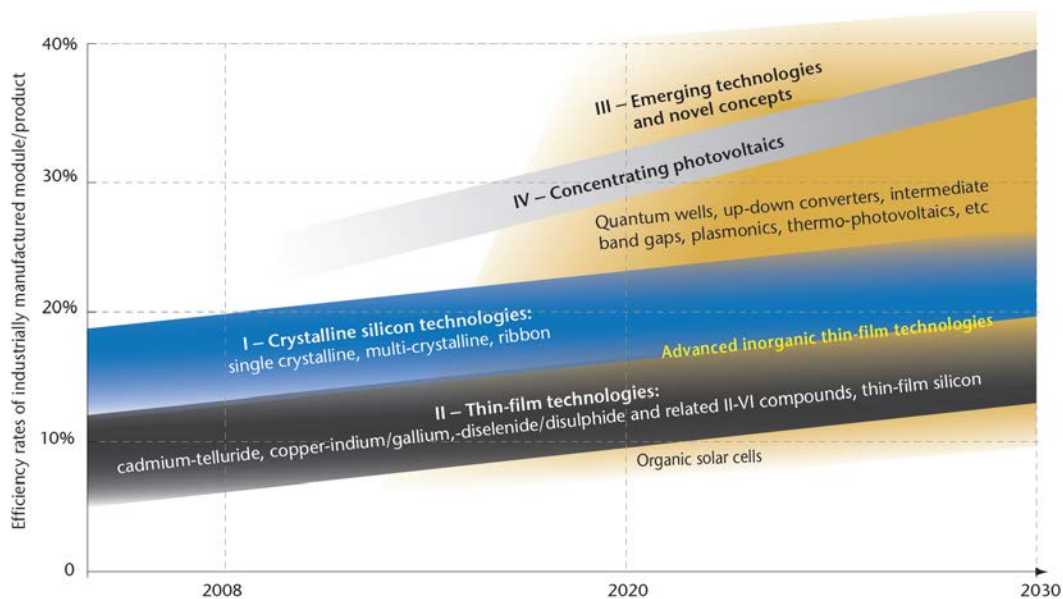
1.4.3 Investigación y desarrollo en celdas solares

Una de las áreas mas importantes de I+D es la de las celdas solares, hoy en día, existe un amplio rango de tecnologías de celdas FV en el mercado que usan diferentes tipos de materiales y en un futuro la cantidad será a un mayor. Las tecnologías de celdas FV están usualmente clasificadas en tres generaciones, dependiendo del material básico usado y los niveles de madurez comercial.

- **Primera Generación:** Silicio monocristalino y multicristalino
- **Segunda Generación:** Lámina delgada policristalina (CuInS₂, CIS, CdTe, Silicio amorfo en lámina delgada), Lámina delgada monocristalina (AsGa)
- **Tercera Generación:** Células fotoelectroquímicas, poliméricas y nanocristalinas

En la siguiente figura se brinda un panorama del status de estas tecnologías y sus proyecciones al año 2030 (International Energy Agency, 2010)

Figura 15. Estatus de la tecnología FV y sus perspectivas



Fuente: (International Energy Agency, 2010)

Existen distintos tipos de materiales semiconductores: Si, Ge, AsGa, CuInS₂, CdTe, etc. En la actualidad, el silicio es el más usado para la fabricación de células FV. Aunque muy abundante en la corteza terrestre no aparece en estado libre sino en forma de óxido. La materia prima para su obtención es la sílice, óxido de silicio (SiO₂), uno de los componentes de la arena que se somete a varios procesos de purificación, hasta la obtención de silicio de grado semiconductor con una pureza del 99,9999%.

La primera generación de células fotovoltaicas emplean el silicio como material semiconductor, silicio cristalino (Si-c), monocristalino (Si-sc), y multicristalino (Si-mc). En

el proceso de fabricación del Si-mc se utiliza silicio de menor calidad y coste que en la producción de Si-sc, sin embargo la diferencia de eficiencias entre las células de Si-sc y de Si-mc es relativamente pequeña. Este tipo de células son las que dominan el mercado, en 2010 el 45,2% de la producción total fue de Si-mc y el 42,2% de Si-sc. (OECD/IEA, 2010)

La escasez de silicio en el mercado por su utilización en la industria electrónica y el alto coste del proceso de fabricación, han impulsando el desarrollo de las células de lámina delgada –segunda generación- y otras nuevas tecnologías que todavía se encuentran en estado de I+D -tercera generación-. Entre los materiales semiconductores utilizados en las células de segunda generación se incluyen: el seleniuro de cobre e indio (CuInSe_2 o CIS), el diseleniuro de cobre, indio y galio Cu(InGa)Se_2 o CIGS), el telurio de cadmio (CdTe) y el silicio amorfo (Si-a). Los módulos de Si-a parecen ser ideales para ser integrados en componentes de la edificación y en la actualidad alcanzan valores de eficiencia superiores al 10%, pero inferiores a los de las de células solares de Si-c. Las células CIS y las de CdTe tienen una degradación inferior a las de Si-a y un rendimiento mayor, pero tienen como inconveniente el uso de materiales altamente tóxicos y de elevado coste. Entre las células de lámina delgada, las de Si-a son las de mayor interés comercial por parte de grandes inversores y han alcanzado las mayores cuotas de mercado de este segmento; sin embargo, las células CIGS son las que presentan un mayor potencial debido a su alta eficiencia y bajo coste.

Entre las tecnologías FV de segunda generación cabe destacar otros desarrollos, entre ellos: las células de arseniuro de Galio (GaAs) -con un alto grado de absorción, incluso mayores que las del silicio- y las células multiunión (las cuales consisten en apilar celdas solares con distintos espacios de banda), ambas con gran potencial para su aplicación en los sistemas de concentración. Estos sistemas incorporan elementos ópticos para concentrar la luz en la célula para maximizar la energía solar recibida y reducir la superficie receptora, aumentando la eficiencia de conversión y reduciendo costes.

Entre las células de tercera generación se incluyen las células solares orgánicas (poliméricas), las células de Grätzel o DSSC (del inglés Dye-sensitised Solar Cell), las

células de banda intermedia, entre otras. Las células solares poliméricas se caracterizan por un proceso de fabricación más barato y por aplicaciones más versátiles. Al estar constituidas por compuestos de carbono el material resultante es, a diferencia del silicio, ultrafino, ligero y flexible aunque tienen una menor eficiencia.

Las células DSSC aprovechan la combinación de un semiconductor nanoestructurado (como el TiO_2) y un colorante orgánico para incrementar la potencia de captación de luz solar. En este caso se pueden alcanzar niveles de eficiencia del 11%, y es posible fabricarlas en serie con una eficiencia del 6%. Numerosos países -entre ellos Suiza, EE.UU. y Australia- están realizando importantes inversiones para hacer viable esta tecnología, y diferentes compañías como Dyesol y Konarka ya están inicializando su aprovechamiento comercial.

La eficiencia óptima que se puede llegar a conseguir en células solares de banda intermedia está en torno al 63%, frente al 22% conseguido actualmente para una célula solar de silicio.

Un nuevo concepto de células solares son las denominadas de generación por múltiple excitación (MEG, Multiple Excitation Generation). A finales del 2008, el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL) en colaboración con Innovalight anunció que el efecto MEG tiene lugar de forma eficaz en los nanocristales de silicio. Estos resultados pueden mejorar considerablemente la eficacia de conversión de las células solares convencionales.

1.4.4 Estado de la energía solar fotovoltaica en México

1.4.4.1 Marco general

El gobierno mexicano está tratando de lanzar programas para el desarrollo masivo de sistemas conectados a la red, en especial la Comisión Federal de Electricidad (CFE) está llevando a cabo planes y proyectos para introducir la energía FV como una alternativa para la generación distribuida. La Comisión Nacional Reguladora esta también haciendo su trabajo para establecer el marco regulatorio para capacidades a gran escala. Con respecto a la formación de recursos humanos en tecnología FV, la oferta se está incrementando

considerablemente, como el programa de entrenamiento que el Instituto de Investigaciones Eléctricas ha promovido (Internacional Energy Agency, 2011).

La industria mexicana FV esta participando activamente hacia la calidad, a través de la estandarización de productos y servicios. El precio de los inversores también mostró reducciones en sus precios pero a una tasa menor que los módulos FV. En lo que respecta a los componentes “BOS” se observó una alta disponibilidad de soluciones estandarizadas.

1.4.4.2 Programa Nacional para el desarrollo de la FV

A pesar de que no se ha implementado un programa nacional para el desarrollo de la tecnología FV, el gobierno federal creó el fondo para para la transición energética y el uso sustentable de energía durante el 2009, cuyo objetivo es el uso de recursos económicos para fomentar el sector energético nacional a través de acciones y programas enfocados en lograr un mejor y mas amplio uso de los recursos de energía renovable y tecnologías limpias de energía y la FV entra en este programa. Además en 2011, La CFE llamó a la construcción de una planta de un sistema centralizado conectado a la red de un MW en la Península de Baja California, esta planta de energía FV será la primera en ser operada por la CFE.

Después de un prolongado atraso, se espera que se reactive el programa de electrificación rural, que se enfoca en la instalación de energía FV en comunidades rurales con menos de 100 habitantes. Por otro lado el INFONAVIT esta estudiando alternativas para la incorporación de generadores FV de pequeña capacidad (alrededor de 1 kW) en viviendas de familias con ingresos bajo y medio bajos.

1.4.4.3 Investigación y Desarrollo

Como se ha mencionado el Fondo para la Transición Energética, ha logrado apoyar el desarrollo de las tecnologías de energía renovables. La academia y las instituciones de I+D han sido los principales receptores de este fondo. En 2011 este fondo concedió apoyo a la FV en las siguientes áreas: i) Desarrollo de materiales para celdas solares FV de película delgada ii) dos proyectos para la construcción de un banco de pruebas par pequeños sistemas FV y un banco de pruebas para sistemas en mini-redes e híbridos. Además los

esfuerzos en I+D han continuado para el desarrollo de tecnología de inversores para los sistemas conectados a la red.

1.4.4.4 Desarrollo de la industria y el mercado

De acuerdo a compañías FV mexicanas, el 2011 fue un buen año. La mejor estimación para el mercado mexicano fue de 6.5MW, el cual coincide con las predicciones hechas a inicios de año. Los ensambladores de módulos FV reportaron ventas de alrededor de 3 MW; parte de esa producción fue comercializada en países de América Latina. La presencia de módulos FV chinos baratos es remarcable. Una compañía española productora de celdas y módulos estableció una planta ensambladora en Tijuana, cuya producción es principalmente exportada al mercado de Estados Unidos. Durante este año, el IIE concretó la transferencia de tecnología de un inversor a una compañía local.

Tres fabricantes internacionales de módulos fotovoltaicos tienen instalaciones de producción en México. También dos empresas nacionales están ensamblando módulos fotovoltaicos en el país. La producción de Kyocera, Sanyo y Unisolar, es para el mercado de exportación.

Los módulos ensamblados se venden en el mercado internacional. ERDM y Solartec son empresas mexicanas, sus módulos fotovoltaicos son vendidos principalmente en el mercado nacional. Parte de la producción de ERDM es exportada a América Central y países del Caribe. Solartec ensambla sus módulos fotovoltaicos en México, pero no se ha proporcionado información sobre la producción durante el año 2010.

Por otro lado, no hay producción en el país de materia prima, lingote o celdas.

En 2011, el histórico precio bajo de los módulos FV tuvo un impacto positivo en la capacidad FV instalada, como en años anteriores, las expectativas de crecimiento del mercado para los próximos años es alentadora.

Capítulo 2. Proceso metodológico

La selección de la metodología parte de los fundamentos propuestos por Rafael Popper de la Universidad de Manchester **“How are foresight methods selected?”** (Popper, 2008). El estudio aborda el difícil tema, de como seleccionar los métodos de prospectiva, ya que como se ha mencionado, no hay una sola metodología idónea para realizar un estudio de prospectiva. Popper identifica los atributos fundamentales de los métodos de prospectiva y su relación con las fases del proceso de prospectiva, buscando identificar posibles patrones en la selección de métodos que proporcionen información útil sobre hacer tal selección.

El estudio de Popper hace una recopilación de métodos en 886 casos de estudio, lo cual ofrece una oportunidad de contar con información de una amplia gama de cuestiones sobre las prácticas de prospectiva en el mundo. Los resultados sirven como una guía para describir y entender de mejor manera el uso de los métodos de prospectiva y sobre todo ayuda a realizar decisiones mejor informadas sobre el diseño de un marco metodológico más coherente.

Hasta ahora la selección de métodos de prospectiva ha sido dominada por la intuición, perspicacia, la impulsividad, y algunas veces, la inexperiencia o irresponsabilidad de los organizadores. El documento revela que la selección de métodos de prospectiva (aunque no siempre es coherente y sistemático) es un proceso de múltiples factores y necesita ser considerado como tal.

El trabajo comprueba que los métodos son elegidos en base a alguno de los siguientes criterios:

- El primero es que los métodos son elegidos en base a sus “atributos intrínsecos” tales como su naturaleza (cualitativos, cuantitativos, semi-cuantitativos) y sus capacidades (es decir, la capacidad de reunir o procesar la información basada en la evidencia, la experiencia, interacción o creatividad).
- El segundo es que los métodos son elegidos en base a elementos fundamentales y las condiciones que influyen en el proceso de prospectiva (pre-prospectiva, reclutamiento, generación, acción y retroalimentación). Nuestra construcción metodológica se basará principalmente en este último.

Por lo tanto nuestra selección metodológica ha sido construida en base a las condiciones que imponen las diferentes etapas del proceso de prospectiva tomando en cuenta las características y la naturaleza de los métodos (descrito en el marco teórico) y que se alinee con los objetivos que se buscan alcanzar con esta selección, es decir que sea incluyente, requiera poca inversión de recursos económicos, se realice en un corto periodo de tiempo y con un horizonte de tiempo a máximo 10 años.

2.1 Propuesta metodológica.

En esta sección se describirá el proceso de selección de la metodología para la identificación de oportunidades tecnológicas en la industria solar FV, tal descripción se hizo a través del despliegue de cinco aspectos:

- El porqué de la selección de estos métodos
- Sus características
- Lo que se busca obtener de ellos en cada una de las fases del estudio.
- Se toma como referencia para la descripción, las fases de estudio retomadas de Popper: Pre-prospectiva, reclutamiento, generación, acción y retroalimentación.
- Se toman como punto de partida la clasificación de Popper (Tabla 6).

Es claro que nuestra construcción metodológica debe de tener el mayor impacto posible en cuanto a los resultados deseados, Por ello se realizó un filtro de los métodos que cuentan con un impacto “alto” y “muy alto” y se complementó con la descripción de las características de cada uno de los métodos de (Porter A. , 2010). Además se omitieron métodos que previamente se hayan detectado con “bajos niveles de impacto” en cada una de las fases descritas en la Tabla 6.

La Tabla 7 muestra el resultado de esta combinación el cual es punto de partida para la selección de los métodos más convenientes, considerando lo siguiente:

- Se deben identificar prioridades de investigación orientada en, relativamente, un corto periodo de tiempo (de unos meses) por lo que son necesarios métodos ágiles y de los cuales se obtenga información valiosa.
- Las prioridades de investigación y desarrollo se seleccionan de acuerdo a las tendencias de mercado, económicas sociales y ambientales de los próximos 10 años. Por lo tanto se debe tener un conocimiento frontera del estado actual de la tecnología a evaluar, tomando en cuenta los aspectos socioeconómicos y tecnológicos
- La selección de prioridades debe de estar basada en la combinación de la perspectiva de la oferta y la demanda, con énfasis en esta última. Por ello es necesario contar con la participación de actores de diferentes sectores de la sociedad, en especial de la industria y de I+D
- La asignación de recursos debe de ser muy baja, por lo que deben de aprovecharse las nuevas tecnologías de información y comunicación.

Tabla 7. Métodos con impacto alto a muy alto y sus características

Fase	Método/Actividad	Familia	Duro Suave	o Exploratorio Normativo	o
Pre-prospectiva	Revisión de la literatura	Desc	S	Ex	
	Escaneo	Mon	S	Ex	
Reclutamiento	Encuestas	Ex Op	S	N/Ex	
	Bibliometría	Mon/Estad	D/S	Ex	
	Análisis de patentes	Mon/ Estad	D/S	Ex	
	Análisis de involucrados				
	Lluvia de ideas	Cr	S	N/Ex	
Generación	Escritura ensayo/escenario	Sc	D/S	N/Ex	
	Panel de expertos	Ex Op	S	Ex/N	
	Escenarios	Sc	D/S	N/Ex	
	Ciencia ficción	Cr	S	N	
	Encuestas	Ex Op	S	N/Ex	
	Análisis FODA				
	Delphi	ExOp	S	N/Ex	
	Votación/sondeo	ExOp	S	N/Ex	
	Escenarios cualitativos	Sc	D/S	N/Ex	
	Paneles de ciudadanos				
Acción	Encuestas	Ex Op	S	N/Ex	

	Análisis FODA			
	Sondeo/votación	ExOp	S	N/Ex
	Tecnologías clave/críticas	ExOp	S	N/E
	Mapeo de ruta	Des	D/S	N
Retroalimentación	Entrevistas	Ex Op	S	Ex/N

Fuente: Elaboración propia

Con este filtro, se pueden visualizar los métodos que resultan con mayor impacto a la hora de implementarse en el ejercicio para la identificación de oportunidades tecnológicas. A continuación se describe el ejercicio de selección de metodologías.

2.1.1 Definición de contexto y enfoque

Introducción

El ejercicio es realizado referente a la tecnología solar fotovoltaica, buscando identificar oportunidades de Investigación y Desarrollo que permitan el desarrollo de esta tecnología y apoye a la industria, en el cual los Centros de I+D puedan contribuir. Particularmente CIATEQ A.C., Centro de Tecnología Avanzada que pertenece al Sistema de Centros CONACYT México.

Objetivos

El objetivo general de este ejercicio de prospectiva tecnológica es que, a partir del árbol de tecnologías involucradas en el desarrollo de energías fotovoltaicas, identificar aquellas que representen las oportunidades más pertinentes para México en los próximos 10 años, de acuerdo sus capacidades y a la vocación de su industria y de sus Instituciones de I+D, que contribuyan a lograr una mayor competitividad de nuestro país en dichas tecnologías.

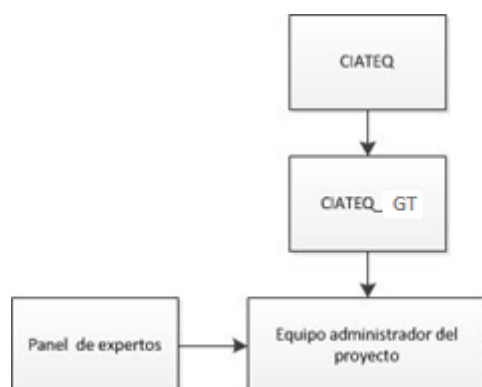
Los objetivos específicos del proyecto pueden ser enlistados de la siguiente manera:

- Integrar la selección metodológica con base en la exploración anterior.
- Aplicar la metodología para la realización de una primera identificación de líneas específicas de I+D, con una visión a 10 años, para apoyar el desarrollo e implementación de la energía solar FV por parte de México.

Participantes

Es necesario lograr una cooperación de participantes expertos en energía solar FV tanto del sector de negocios como el de investigación y desarrollo. Los participantes se derivaron de cuatro instancias que se ilustran en la Figura 16.

Figura 16. Estructura del ejercicio de prospectiva



Elaboración propia

El Centro de Tecnología Avanzada CIATEQ: Centro Público de Investigación del sistema CONACYT es el patrocinador de este proyecto, por su interés de trabajar en el desarrollo de energías renovables. Buscando apoyar con mejor base de información, las direcciones estratégicas de investigación y desarrollo.

Coordinación de Gestión Tecnológica de CIATEQ: Área dentro del centro encargada de promover políticas que apoyen el desarrollo tecnológico, este ejercicio nace de la iniciativa de esta área para apoyar a la obtención de información que ayude a la toma de decisiones en cuanto líneas de I+D estratégicas y orientar la inversión de recursos.

Equipo administrador del proyecto: Los asesores y un servidor, diseñador del ejercicio de prospectiva, también se encargarán de la búsqueda de información de mercado del estado de la tecnología y la identificación del panel de expertos. Junto con el panel de

expertos identificarán las oportunidades de investigación y desarrollo, además de redactar el reporte final.

Panel de Expertos externos: Representantes de diversas instituciones de investigación y desarrollo, industrias y asociaciones. Serán quienes evaluarán la lista de tópicos de investigación y desarrollo de acuerdo criterios preestablecidos, descripción de tendencias en 10 años referentes a las tecnologías y los mercados.

2.1.2 Pre- Prospectiva

En esta fase se describe el contexto, el enfoque que toma este ejercicio de prospectiva y se proporciona la información base sobre el estado actual de la tecnología solar FV a nivel mundial y nacional.

2.1.2.1 Métodos seleccionados

Para la fase de pre-prospectiva, además de las definiciones previas se realizó una *Revisión de la Literatura* la cual es un método descriptivo, cualitativo y con enfoque exploratorio. Este ejercicio forma parte del proceso de exploración del entorno. La revisión de la literatura es un proceso imprescindible en cualquier trabajo de investigación, las revisiones generalmente utilizan un estilo de escritura discursiva y se estructuran en torno a temas y teorías seleccionadas: En ocasiones la revisión puede tratar de explicar los puntos de vista y las visiones futuras de los distintos autores.

2.1.3 Reclutamiento

Se busca recabar, de manera ágil, información de los desarrollos en FV a través del análisis de artículos y patentes, de las principales instituciones, las personas relacionadas con el tema así como de los países líderes en la I+D en energía solar FV y a nivel nacional.

Con la información generada del análisis de publicaciones y patentes a nivel nacional se invitó a las personas que cuentan con mayor número de publicaciones en distintas áreas de desarrollo de la energía solar fotovoltaica tratando de cubrir las distintas áreas temáticas

2.1.3.1 Métodos seleccionados

Para la fase de reclutamiento se han seleccionado la bibliometría y el análisis de patentes, debido a la rapidez con que se puede obtener información sobre las personas e instituciones líderes en el campo. Con ayuda de estos métodos y usando la minería de datos² un análisis empírico sobre una tecnología no tiene por qué llevar meses, si no que se puede hacer en cuestión de días. Uno puede tomar ventaja de la amplia disponibilidad de las publicaciones en ciencia y tecnología y bases de datos de resúmenes de patentes para mejorar informes de gestión tecnológica (Porter A. L., 2005).

Los Centros Públicos de investigación CONACYT, deben de aprovechar los recursos de información con los que disponen, estos cuentan con una red muy amplia de bases de datos a través del Consejo Asesor de Recursos de Información (CARI), que integra recursos bibliográficos y de información especializada para sus miembros, (CONACYT, 2012), estos recursos pueden y deben ser aprovechados para la detección de sus oportunidades tecnológicas.

- *Bibliometría*: Método de monitoreo y estadístico que puede ser tanto cualitativo como cuantitativo, con un enfoque exploratorio. La aplicación de métodos matemáticos y estadísticos a toda la literatura de carácter científico y a los autores que la producen tienen como objetivo estudiar y analizar la actividad científica y tecnológica.
- *Análisis de patentes*: Es un método de monitoreo y estadístico que puede ser tanto cualitativo como cuantitativo, con un enfoque exploratorio. Las patentes representan invenciones técnicas que han pasado un examen en una oficina, tanto para asegurar su novedad como para precisar su utilidad potencial, y se consideran una fuente de información del desarrollo tecnológico, y su empleo se ha extendido en las últimas décadas como instrumento para el análisis de la actividad innovadora de empresas, industrias y países, al percibirse la información registrada en ellas

² Proceso que tiene como propósito descubrir, extraer y almacenar información relevante de amplias base de datos, a través de programas de búsqueda e identificación de patrones y relaciones globales, tendencias, desviaciones y otros indicadores aparentemente caóticos. (MOXON'S, 1996)

2.1.4 Generación

Para la fase de generación, aunque se tiene muy claro que es un proceso clave, debido al requerimiento de que este ejercicio sea realizado de manera rápida, se tomará como base el estudio “**A Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology**” (Photovoltaic Technology Platform, 2008), este estudio fue preparado por el grupo de Ciencia, Tecnología y Aplicaciones de la Plataforma Tecnológica FV de la Unión Europea, basado en consultas exhaustivas con representantes de la investigación, industria y otras partes interesadas.

Este trabajo presenta los tópicos de investigación en tres fases de desarrollo: aspectos de investigación básica, aspectos de tecnología avanzada/aplicada y aspectos de manufactura industrial. Esto a tres horizontes de tiempo: corto plazo (2008-2013) mediano plazo (2013-2020) y largo plazo (2020-2030). De aquí, de acuerdo a los objetivos, se han seleccionado los tópicos que se encuentran en un horizonte de tiempo corto y mediano y en una fase de investigación aplicada y desarrollo tecnológico así como de manufactura industrial, con ello se obtuvieron un total de 165 tópicos.

El grupo intentó cubrir todas las áreas más importantes de ciencia, tecnología y aplicaciones de la energía solar FV y describir los tópicos de investigación más importantes. Las líneas de investigación descritas en este documento servirán como base para su posterior evaluación por parte de expertos.

2.1.4.1 Métodos seleccionados

Tecnologías clave: El método de “tecnologías clave” se refiere a la identificación de tecnologías que tienen un fuerte potencial para influir en la competitividad en una organización y en la calidad de vida. El método envuelve la aplicación de criterios específicos para medir que tan “crítica” es una tecnología en particular. El principal objetivo es preparar una lista de tecnologías clave con una clara indicación de las acciones políticas relacionadas que deben permitir la implementación de los resultados obtenidos.

Cuando se habla de prospectiva tecnológica, generalmente se asocia con el método Delphi, y es que este ha sido uno de los métodos más empleados, sin embargo este implica una alta inversión de tiempo, de recursos económicos y de personal, algo con lo cual, para este ejercicio no se cuenta y no es parte de los objetivos.

Por estas razones se ha seleccionado el método de tecnologías clave, este método ha sido seleccionado por que a diferencia del método Delphi, no requiere de mucho tiempo para su realización, por otro lado se han visto excelentes resultados en países como Australia (Australian Science and Technology Council, 1994) y recientemente en países en desarrollo como la República Checa (MEYS & RDP of the Czech Republic, 2002) y como se mencionó en los antecedentes, México (ADIAT / CONACYT, 2002).

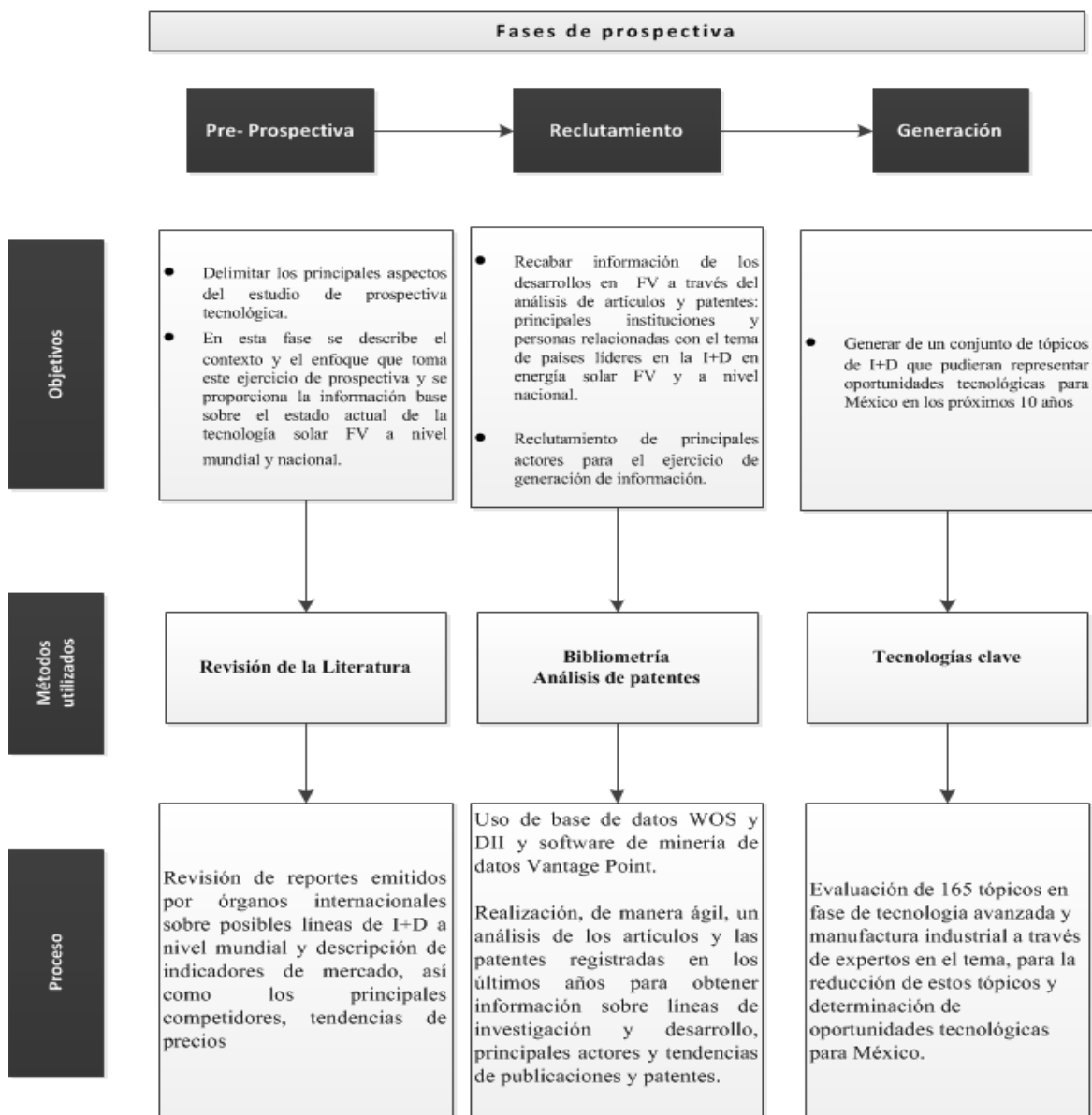
Los ejercicios mencionados hacen un análisis sobre una gran cantidad de áreas temáticas, con lo que han incluso llegado a redefinir sus sistemas de innovación. En lo que respecta a nuestro ejercicio, solo se evalúa el tema específico de la energía solar FV, lo que implica que no se requieren tantos recursos como los otros ejercicios; por otro lado, se pueden aprovechar las nuevas herramientas de comunicación en línea para hacer este ejercicio de manera más rápida y sin la necesidad de reunirse físicamente con los expertos participantes.

2.2 Aplicación de la metodología a la energía solar fotovoltaica en un CPI

En la Figura 17 se presenta un diagrama que representa la construcción de la metodología realizada para la búsqueda de oportunidades tecnológicas en la industria solar FV y la cual se explicará en las siguientes líneas.

Figura 17. Diagrama de metodología seleccionada

Diagrama de la metodología de la investigación



Elaboración propia

2.2.1 Pre-prospectiva

Para la revisión de la literatura, nos enfocamos en la revisión de reportes sobre el estado del arte a nivel mundial, emitidos por organizaciones especializadas en el tema de la FV.

Los datos recolectados son de estudios anteriores de prospectiva tecnológica en solar FV, que permitieron identificar que tecnologías se están trabajando, la proyección de precios en 10 años, principales competidores en la industria, principales mercados etc. También, se buscó obtener información a nivel mundial de los principales fabricantes de celdas solares, su participación, la tendencia de los precios en los próximos años, y los gastos generados para la implantación de estos sistemas.

Para la proyección a futuro de esta tecnología se toma como base el estudio de la Agencia Internacional de Energía (OECD/IEA, 2010) debido a que en este, se hace una recopilación de distintos escenarios y proyecciones descritas por los países líderes en el desarrollo de esta tecnología y crea una visión a futuro de esta tecnología en un corto, mediano y largo plazo (año 2050).

2.2.2 Reclutamiento

Con ayuda de la base de datos *Web of Science* (WOS) y *Derwent Innovation Index* (DII) de la plataforma Web Of Knowledge en conjunto con el software de minería de datos Vantage Point, se realizó de manera ágil, un análisis de los artículos y las patentes registradas en los últimos años para obtener información sobre líneas de investigación y desarrollo, principales actores y tendencias de publicaciones y patentes.

Web of Science (WOS): Contiene información referencial de miles de documentos producidos en todo el mundo, ya sean artículos, conferencias (proceedings), tesis, libros, y otras fuentes científicas de 1990 a la fecha. Además dispone de herramientas para el análisis básico de la información de lotes de registros de documentos. También genera archivos para su posterior análisis más detallado con Vantage Point.

Derwent Innovation Index (DII): Esta base de datos integra información sobre miles de patentes registrada en los Estados Unidos desde 1963 a la fecha, agrupadas en áreas temáticas como Química, Eléctrica y electrónica e ingeniería. Dispone de herramientas para el análisis básico de la información de lotes de registros de las patentes además genera archivos para su posterior análisis más detallado con Vantage Point.

Vantage Point: Es Software de minería de datos utilizado para la detección de patrones en prácticamente cualquier base de datos de texto que se encuentre de forma estructurada.

Es muy útil cuando lo que se busca no es un documento específico sino un patrón en esos documentos. Es necesario contar con información electrónica que permita la descarga de grandes volúmenes de información. Esta herramienta permite identificar tendencias, desarrollar indicadores, realizar listas de los principales investigadores, organizaciones, países, que estén trabajando en alguna tecnología en específico, las redes de conocimiento existentes, entre otras muchas funciones

Método de recolección de publicaciones y patentes

Para realizar la recolección de patentes y artículos, se utilizó una formula de búsqueda tomada de un ejercicio previo de análisis de publicaciones relacionada con el mismo tema que aquí se trata (CIEMAT/IALE, 2009) la formula de búsqueda fue complementada por palabras clave sugeridas por algunos expertos en el tema del Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ A.C):

TS=(photovoltaic\$) OR TS=("solar cell\$") OR TS=("PV module") OR TS=("PV pannel\$") OR TS=("PV installation\$") OR TS=("PV power installation\$") OR TS=("solar PV") OR TS=("PV solar") OR TS=("PV power plant\$") OR TS=("PV facilit") OR TS=("PV industr*") OR TS=("PV market\$") OR TS=("PV plant\$") OR TS=("PV grid\$") OR TS=("grid connected PV") OR TS=("PV material\$") OR TS=("PV technolog*")*

Donde “TS” se refiere al tema del que se esta buscando y son los términos encerrados entre paréntesis, el término “OR” es un condicional que significa que mostrará cualquier documento que contenga al menos uno de lo términos descritos y el signo de “\$” sirve para generalizar nuestra búsqueda, para ejemplificar esto, en el término “photovoltaic\$” los términos “photovoltaic” y su plural “photovoltaics” serán válidos. Esta estrategia se ha realizado con el objetivo de que nuestra búsqueda cubriera todos los aspectos más relevantes de las tecnologías en energía solar FV.

El análisis consiste en lo siguiente:

- **Bibliometría**

Se recopilaron artículos publicados que se encuentre disponibles en la base de datos WOS correspondiente a la energía solar fotovoltaica. La información recabada fue procesada con el software Vantage Point con lo cual se realizaron los siguiente análisis.

Análisis de los cuatro países con mayor número de publicaciones

Esto con la finalidad de conocer cuales son los países que cuentan con el mayor número de publicaciones en el tema y ver la brecha que existe entre esos países líderes y México.

Para ello se realizaron los siguientes análisis:

- Tendencia de publicaciones en los últimos años sobre solar FV
- Organizaciones con mayor número de publicaciones (Centros de I+D, universidades, empresas)
- Autores con mayor número de publicaciones

Análisis de publicaciones realizadas en México

Usando la misma metodología, se han recopilado las publicaciones realizadas en México, con ello se busca determinar las principales organizaciones, investigadores, y redes de trabajo en torno a la energía solar FV.

Para lograr este objetivo se realizó el mismo análisis que el hecho con los cuatro países líderes, además de ello se realizaron mapas de correlaciones con la finalidad de detectar las principales redes de trabajo, esto a través del análisis de co-autoría en las distintas publicaciones.

Además se detectaron los artículos más citados, con ello se buscó determinar que investigaciones realizadas en México han tenido mayor impacto y que instituciones y autores son los que las han realizado.

- **Análisis de patentes**

Las patentes se obtuvieron de la base de datos DII, usando la misma metodología de búsqueda que la realizada para las publicaciones, pero en esta ocasión se limita a las patentes registradas en México. La información recabada fue tratada con el software de minería de datos Vantage Point buscando obtener los siguientes resultados:

- Principales propietarios de patentes
- Tendencias de patentamiento
- Principales líneas de I+D de patentes

La información recabada sirvió para brindarles una mayor base de información a los futuros participantes en la fase de generación.

Con base en la información generada se ha determinado a los investigadores y desarrolladores de tecnología quienes han sido invitados a participar en este ejercicio de identificación de oportunidades tecnológica, tratando de balancear expertos en las diferentes áreas temáticas.

Por otro lado, para identificar a los participantes por el lado de la industria se contactó a empresas detectadas en la base de datos de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES)³ y se han seleccionado aquellos que desarrollan y comercializan productos de energía solar FV.

2.2.3 Generación

Con el objetivo de mostrar información que pudiera apoyar a la evaluación de las distintas áreas de investigación, se proporcionaron los resultados obtenidos en las fases de pre-prospectiva y reclutamiento a los expertos participantes.

En la etapa de generación se contaron con 165 tópicos de investigación, para realizar la reducción de estos tópicos y determinar las prioridades tecnológicas para México se usó un proceso de priorización desarrollado específicamente para este ejercicio. El proceso se basó en los enfoques utilizados por el Australian CSIRO (Commonwealth Scientific &

³ La cual se encuentra en su página web <http://www.anes.org/> en la sección Industria Solar

Industrial Research Organisation) (Loveridge, 1999) y por el ejercicio de la República Checa (MEYS & RDP of the Czech Republic, 2002).

Durante el proceso de priorización los miembros expertos evaluaron cada uno de los tópicos bajo dos parámetros – “importancia” y “factibilidad” contra un listado de 12 criterios listados en la Tabla 8.

Los criterios fueron agrupados en 6 clústeres, que a su vez, fueron agrupados en dos parámetros “importancia” y “factibilidad”, estos criterios toman en cuenta aspectos socioeconómicos, científicos y tecnológicos, características de este trabajo. Debido al alto número de criterios, de tópicos y el número de miembros votantes se procedió a realizar la evaluación de forma electrónica, desarrollada específicamente para este proyecto, a través del uso de la herramienta informática “Formularios” de Google y accesible para los miembros del panel, esto vía internet en un sitio web también diseñado para este ejercicio.⁴

Primero, los miembros del panel seleccionaron un área temática de las 6 disponibles, se evaluaron ellos mismos escogiendo una de cinco categorías en cuanto a su nivel de experiencia en cada uno de los 5 temas (de “básico” a “altamente especializado”).

Después, realizaron una primera evaluación de cada una de las líneas de I+D, referentes al área temática, tomando en cuenta, en una primera impresión, la importancia y factibilidad de realizar esta línea de I+D en México.

Posteriormente, evaluaron las 3 líneas de I+D que consideraron de mayor relevancia para su desarrollo, en esta fase de evaluación, asignaron un valor entre uno y cinco para cada uno de los criterios. La calificación en cada una de las columnas fue promediada para producir los valores finales de “importancia” y “factibilidad”.

⁴ Consultar la página web <http://cesarbartolo.wix.com/solarfotovoltaica>.

Tabla 8. Criterios de selección de direcciones clave de I+D (Tecnologías clave)

IMPORTANCIA		FACTIBILIDAD	
Importancia socio-económica	Importancia científica y tecnológica	Factibilidad socio-económica	Factibilidad científica y tecnológica
Impacto en la productividad	Capacidad de la línea de I+D para producir nuevas tecnologías	Competitividad en el sector de aplicación	Estado del arte en el campo de investigación y desarrollo
Tamaño del mercado considerable	Posibilidad de combinar la línea de investigación con otras líneas de investigación	Apoyo en políticas y regulaciones de administración/estado	Probabilidad de un desarrollo positivo del campo de investigación
Influencia en la creación de oportunidades de trabajo	Posibilidad de aplicar los resultados de la dirección de la investigación en varias aplicaciones	Influencia en el potencial de creación y crecimiento de pequeñas y medianas empresas	Nivel adecuado de la infraestructura necesaria para la I+D

Elaboración propia

2.3 Resumen de la construcción metodológica

La metodología corresponde a las condiciones impuestas en los objetivos. El principal objetivo es identificar prioridades de investigación orientada en relativamente un corto tiempo de unos meses. Las prioridades de investigación y desarrollo se deben de seleccionar de acuerdo a las tendencias de mercado, económicas sociales y ambientales de los próximos 10 años. (Horizonte de tiempo 2012-2022). La selección de prioridades debe de estar basada en la combinación de la perspectiva de la oferta y la demanda, con énfasis en esta última.

Debido a las condiciones mencionadas, los principios básicos para el diseño de la metodología del estudio de prospectiva son:

- La revisión de la literatura es un elemento imprescindible en cualquier trabajo de investigación, se revisan las proyecciones del desarrollo de las tecnologías FV a corto y mediano plazo (OECD/IEA, 2010) situación actual a nivel mundial y nacional.
- El análisis de patentes y publicaciones es un método que en cuestión de días brinda información tecnológica relevante, autores y organizaciones involucradas (Porter A. L., 2005).
- Por las restricciones de tiempo la primera lista de líneas de I+D se basa en tópicos descritos por la PV- TRAC de la Unión Europea (Photovoltaic Technology Platform, 2008).

- Se toman solo en cuenta los tópicos que se encuentren en la fase de tecnología avanzada/aplicada y manufactura industrial, no se toma en cuenta la investigación básica.
- No hay suficiente tiempo para realizar un estudio Delphi a gran escala, el cual es realizado en una gran cantidad de estudios de prospectiva como Japón (STFC,2001) UK (Loveridge,1995), Alemania (Cuhls y Kuwahara, 1994) y México (ADIAT / CONACYT, 2002)
- Además el método Delphi no parece ser la herramienta más adecuada para lograr la principal tarea del proyecto que es identificar prioridades de investigación y desarrollo.
- El principal objetivo -que es la identificación de prioridades de investigación y desarrollo, puede ser logrado usando un método modificado de “tecnologías críticas o clave” que fue exitosamente aplicado en países como Francia (Ministère de l’Industrie, 1995), USA (White House Review Groupo, 1995), República Checa (The Ministry of Education, Youth and Sports 2001).
- A diferencia de los estudios antes mencionados, este ejercicio se enfoca en una tecnología en específico, la solar fotovoltaica. Esto hará que el estudio no sea muy extenso, ni se necesiten una gran cantidad de recursos humanos y financieros.
- Un factor esencial de éxito será la construcción de varios participantes- gobierno, industria, comercio, academia.
- Se realizará un análisis de patentes y artículos publicados por México, que servirán para obtener mayor información del estado de la tecnología en este país, además de identificar a potenciales expertos que participarán en este ejercicio.
- El proyecto debe de combinar los componentes conservativos – descripción de datos concretos del pasado reciente, mercado, estado de la tecnología y el componente creativo.
- Un proceso cuantitativo de priorización puede ser usado para darle credibilidad de la selección de las prioridades de investigación y desarrollo y la transparencia del proceso de priorización.

Capítulo 3. Resultados y análisis.

3.1 Actores e instituciones clave.

En la fase de reclutamiento, a través del análisis de publicaciones, artículos y patentes, fue posible identificar a los actores e instituciones clave en el desarrollo de la tecnología fotovoltaica.

Referente a las publicaciones a nivel mundial, los países líderes son EE.UU, China, Japón y Alemania, respectivamente. Estos países han generado más del 50% de las publicaciones a nivel mundial. Mientras que México solo cuenta con el 0.85% lo cual lo coloca al país en el número 25 en esta materia. A partir de 2008 en todo el mundo hubo un incremento exponencial de publicaciones referentes a la energía solar FV, lo que corresponde con el cada vez mayor interés que se le ha dado desde entonces a las energías renovables.

Para México las publicaciones han sido realizadas en su mayoría por dos universidades la UNAM y el IPN, lo que las coloca como instituciones clave en la generación de conocimiento sobre este tema, ver tabla 9.

Tabla 9. Análisis de publicaciones sobre solar FV en México

	Afiliación de autores (No. de publicaciones)	Colaboración con países (No. de publicaciones)	Autores (Institución, no de publicaciones)
1	IPN (110)	México (327)	Nair, PK (UNAM, 27)
2	Universidad Nacional Autónoma México (105)	USA (33)	Nair, M S (UNAM,26)
3	CIMAV (13)	España (18)	Morales-Acevedo, Arturo (CINVESTAV, 24)
4	UAEM (12)	India (11)	Contreras-Puente, Gerardo S (IPN, 19)
5	Universidad Autónoma Nuevo León (12)	Cuba (8)	Mathew, Xavier (UNAM,19)
6	Benemérita Universidad Autónoma Puebla (10)		Sebastián, P J (UNAM,18)
7	IIE (10)		Matsumoto, Yasuhiro (UNAM, 14)
8	CIO (9)		Vigil-Galan, O (IPN,14)
9	CENIDET (7)		Asomoza-Palacio, R (CONVESTAV, 12)
10	Universidad Michoacana (7)		Campos-Álvarez, J (UNAM,11)
11			Mendoza-Pérez, Rogelio(UACM,11)
12			Calixto-Rodríguez, M (UNAM,10)
13			Sanchez-Juarez, Aarón(UNAM,10)
14			Sastre-Hernández, Jorge (IPN, 10)

15		Velumani, S(CINVESTAV, 10)
16		Glossman-Mitnik, Daniel (CIMA,7)
17		Gonzalez-Hernandez, J (CINVESTAV,17)
18		Hu, Hailin (UNAM,7)
19		Oskam, Gerko (CINVESTAV, 7)
20		Aguilar-Hernandez, J R (IPN, 6)

Elaboración propia

El IPN es la institución que cuenta con la mayor cantidad de artículos y con autores muy productivos en el país, gran cantidad de estos autores pertenecen al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV), mientras que por parte de la UNAM, la mayoría de las publicaciones son realizadas por el Centro de Investigación en Energía (CIE).

Las instituciones mexicanas han colaborado con otras universidades del mundo en el tema de las FV en especial con EE.UU, España e India. Se ha visto una colaboración estrecha con el líder en publicaciones de los EEUU, el NREL, sin embargo sería deseable buscar colaborar con otras instituciones y actores clave en el tema de la tecnología solar FV. La lista de instituciones y autores a nivel mundial así como los mapas de correlación entre ellos, brindó la oportunidad de detectar a los actores clave y los mapas de correlación entre autores e instituciones pueden ser una opción para buscar más colaboraciones futuras⁵.

Referente a las patentes registradas en México sobre solar FV, la mayoría de ellas son de la empresa francesa Saint-Gobain Solar Glass, que ha patentando en México nuevo métodos y tecnologías para la producción de vidrio como material encapsulante de las celdas FV.

Por otra parte, empresas como First Solar están protegiendo materiales y procesos para el desarrollo de celdas FV de películas delgadas, mientras que la Universidad de Princeton está protegiendo nuevas tecnologías como las celdas solares orgánicas.

Con la información obtenida en esta fase se detectó a las personas y empresas expertas en el área de interés. Adicionalmente se utilizó la base de datos de empresas relacionadas con la energía solar FV con la que cuenta la ANES para agregar a actores clave del sector

⁵ Ver apéndice E: *Análisis de artículos y patentes en energía solar fotovoltaica*

industrial, resultando en una selección de 20 actores del área de I+D y 20 del sector industrial (Tabla 10).

Tabla 10. Distribución de sectores en los que laboran los expertos invitados

Sector	Número de expertos
Investigación y desarrollo	20
Industria	20

Elaboración propia

3.2 Tópicos de investigación y desarrollo

Como se estableció en el capítulo 2, se toma como marco general de referencia los lineamientos del *Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology* (2008) que se consideran en la fase de Desarrollo Tecnológico y Fabricación industrial, con un horizonte de tiempo (10 años), con expectativas de corto (2008-2013) y mediano plazo (2013-2020)⁶. La Tabla 11 muestra las seis áreas temáticas en solar fotovoltaica. Cada una tiene, a su vez, un cierto número de tópicos específicos de I+D

Tabla 11. Áreas temáticas identificadas en energía solar fotovoltaica

Áreas temáticas en Solar fotovoltaica	Número tópicos de I+D
Tecnologías tradicionales de módulos y celdas a base de silicio	31
Tecnologías existentes de películas delgadas	61
Tecnologías de Concentradores Fotovoltaicos (CPV)	35
Balance del Sistema(BoS) a nivel de componentes y sistemas FV	23
Tecnologías FV emergentes e insólitas	23
Aspectos generales de estandarización, medioambientales y socio-económicos	24
TOTAL	165

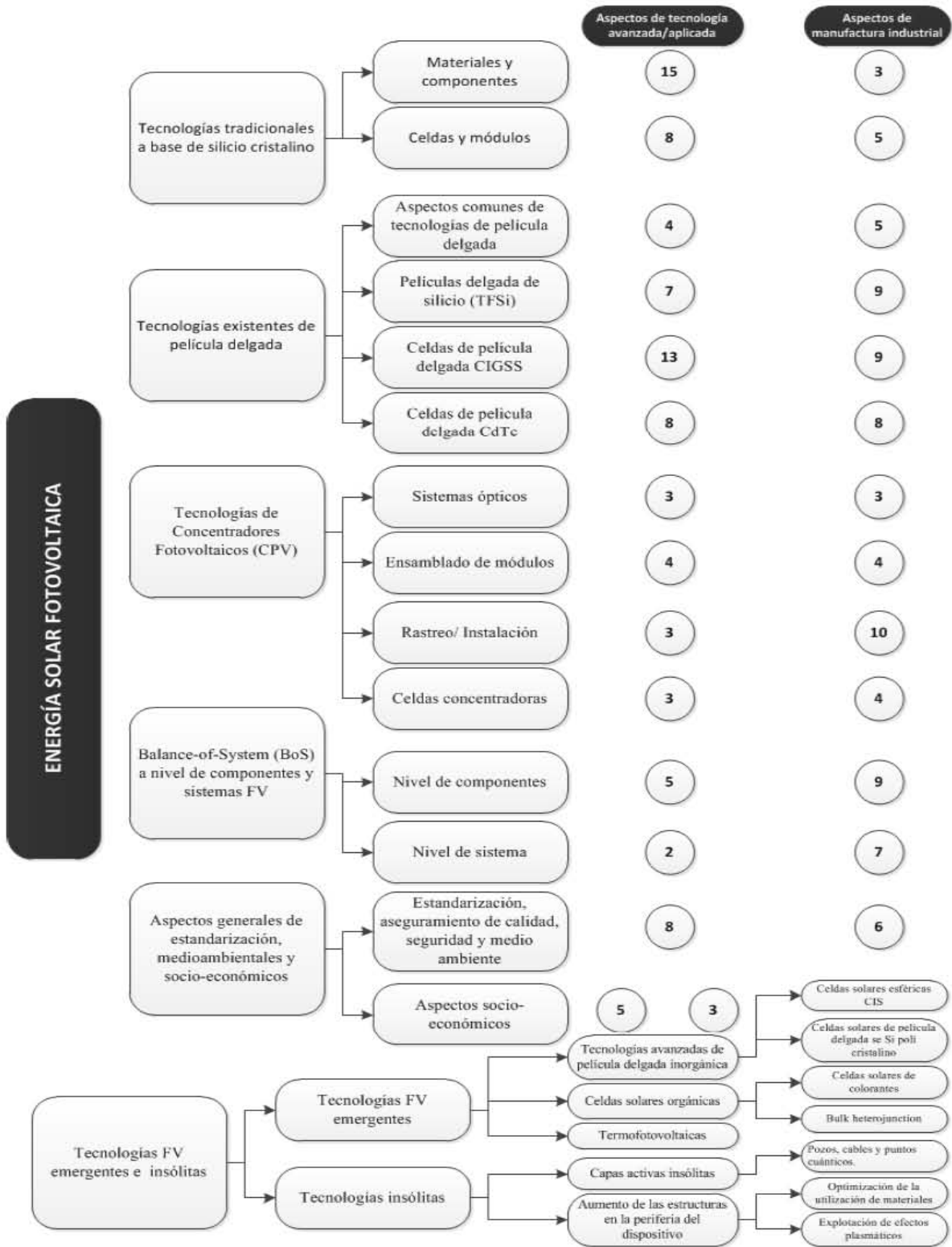
Elaboración propia

6. Los tópicos de investigación y desarrollo, se describen de manera específica en la página web <http://cesarbartolo.wix.com/solarfotovoltaica>.

- **Tecnologías tradicionales de módulos y celdas a base de silicio:** Tecnologías de módulos y celdas a base de silicio monocristalino y policristalino, que actualmente dominan el mercado.
- **Tecnologías existentes de películas delgadas:** Tecnologías existentes de celdas FV de película delgada, estas incluyen las celdas TFSi, CIGSS y CdTe.
- **Tecnologías de Concentradores Fotovoltaicos (CPV's):** Referentes a la tecnologías de concentradores fotovoltaicos (CPV), los cuales concentran la radiación solar en una célula fotovoltaica altamente eficiente.
- **Componentes para el balance del sistema (BoS):** Componentes de instalación excepto los módulos fotovoltaicos como son los soportes de montaje, cableado eléctrico simple, inversores, conexión a la red y montaje.
- **Tecnologías FV emergentes e insólitas:** Referentes a tecnologías emergentes como las celdas solares avanzadas de película delgada inorgánica, las celdas orgánicas, termo-fotovoltaicas, así como novedosas tecnologías como pozos, cables y puntos cuánticos.
- **Aspectos generales de estandarización, medioambientales y socioeconómicos:** Aspectos socio-económicos y medioambientales necesarios para lograr un mayor desarrollo de la energía solar FV.

El mapa que se muestra en la figura 18, se elaboró para facilitar la visualización y relación entre las áreas temáticas y los tópicos de investigación; asimismo su orientación hacia “tecnología aplicada/avanzada” o de “fabricación a nivel industrial”. Las tecnologías más recientes son las que se refiere “tecnologías FV emergentes o insólitas”, sus temas de investigación se enfocan en mejorar el material, el dispositivo, el rendimiento y el costo de cada tecnología.

Figura 18. Mapa de Tecnologías de energía solar fotovoltaica



Fuente: Elaboración propia

3.3 Determinación de tecnologías clave en FV

La documentación sobre energía fotovoltaica obtenida en las fases de *pre-prospectiva* y *reclutamiento* fue proporcionada al grupo de expertos que participaron en el ejercicio, con el propósito de que sirviera como base para la evaluación de los tópicos de I+D.

Se ha obtenido respuesta de los expertos mencionados en la Tabla 12. Cabe mencionar que la mayoría de ellos sólo contestaron lo relacionado a su área de especialidad.

Tabla 12. Panel de expertos participantes

Nombre de experto	Organización	Sector
Ing. Roberto Vargas	ENIUM	Negocios
Ing. Álvarez Vázquez Olaf	Grupo Salmir	Negocios
Ing. Jorge Luis Rochin Castro	KYOCERA Mex	Negocios
Ing. Ricardo Lara Zendejas	ERDC	Negocios
Dr. Arturo Morales Acevedo	IPN	Investigación y desarrollo
Dr. José Luis Maldonado Rivera	Centro de Investigación en Óptica	Investigación y desarrollo
Dr. Yasuhiro Matsumoto Kuwabara	IPN	Investigación y desarrollo
Dr. Karunakaran Nair Padmanabhan Pankajakshy	Centro de Investigación en Energía, UNAM	Investigación y desarrollo
Dr. Daniel Glossman Mitnik	Centro de Investigación en Materiales Avanzados	Investigación y desarrollo

Elaboración propia

Los tópicos de I+D sobre las diferentes tecnologías FV que se mostrarán en las tablas siguientes, son aquellos que fueron mejor evaluados en cuanto a *importancia* y *factibilidad*, en una escala del 1-5, de acuerdo a los expertos participantes en cada área temática, donde 1 es el mínimo y 5 el máximo.

3.3.1 Tecnologías tradicionales a base de silicio (TTBS)

Módulos de Silicio cristalino (c-Si), actualmente representan el 85-90% de mercado anual global. Los módulos de Si-c están subdivididos en 2 principales categorías) Silicio monocristalino (sc-Si) y ii) multicristalino (mc-Si).

3.3.1.1 Expertos Participantes en TTBS

Tabla 13. Expertos Participantes en el área de TTBS

Nombre completo	Organización donde labora	Sector al que pertenece	Nivel de expertise en el tema
Ing. Roberto Vargas	Enium SA de CV	Negocios	5
Dr. Arturo Morales Acevedo	CINVESTAV del IPN	Investigación y desarrollo	5
Ing. Olaf Álvarez Velázquez	GRUPO SALMIR SA DE CV	Negocios	4
Ing. Ricardo Lara Zendejas	Energía Renovable del Centro	Negocios	4
Dr. Yasuhiro Matsumoto	CINVESTAV-IPN	Investigación y desarrollo	3
Dr. Daniel Glossman Mitnik	Laboratorio Virtual NANOCOSMOS - CIMAV, SC	Investigación y desarrollo	3

3.3.1.2 Tópicos de investigación con mayor calificación en TTBS

Tabla 14. Tópicos de investigación con mayor calificación en el área TTBS

Área temática	Nivel de desarrollo (% de tópicos seleccionados)	Tópicos de investigación y desarrollo	Promedio >3
Materiales y componentes	Aspectos de tecnología avanzada aplicada (47%)	Encapsulantes de bajo costos	3.5
		Nuevos marcos y estructuras de soporte	3
		Reciclaje de materiales y componentes	3.5
		Fabricación de bajo costo	3.33
		Mejora de encapsulantes	3.17
		Evitar el uso de materiales peligrosos	3
		Adhesivos conductores u otras soluciones libres de soldadura para la interconexión entre los módulos	3.5
	Aspectos de manufactura industrial (--)	-----	
Celdas y módulos	Aspectos de tecnología avanzada aplicada (75%)	Heterouniones para emisores y pasivación	3
		Pasivación de superficie/ contacto	3
		Fabricación de módulos de manera automática/ Roll to roll	3
		Marcos y montaje de bajo coste	3.5

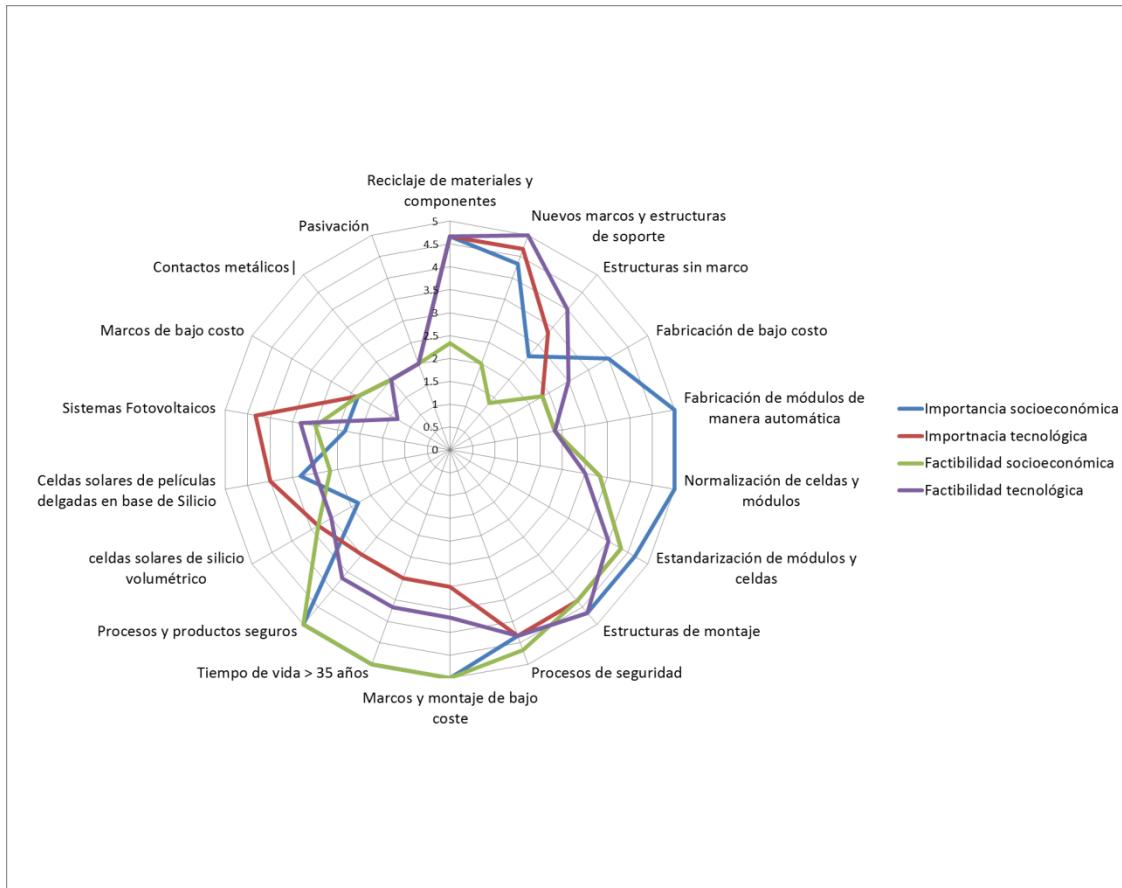
		Contactos metálicos (desarrollo de nuevos procesos, esquemas y materiales)	3
		Mejora de las estructuras de los dispositivos y conexión de módulos	3
	Aspectos de manufactura industrial (50%)	Eficiencia del módulo >20%	3
		Estandarización de celdas y módulos	3.17
		Estructuras sin marco	3.33

Elaboración propia

El porcentaje de tópicos seleccionados que aparece en la columna “nivel de desarrollo” corresponde a la proporción de tópicos con respecto a la lista original de esa área temática.

3.3.1.3 Evaluación de importancia y factibilidad de tópicos de I+D seleccionados en TTBS

Figura 19. Evaluación de importancia y factibilidad de tópicos de I+D seleccionados en TTBS



Elaboración propia

3.3.1.4 Comentarios de mayor relevancia realizados por los expertos en TTBS

“Las empresas dedicadas al sector fotovoltaico en México tienen baja competitividad, hay un amplio rango de aplicaciones que se pueden fomentar en México pero las reformas y los procesos no han sido desarrollados adecuadamente.

Para que se den una idea del mercado en México consideren lo siguiente:

-Un punto rentable para las personas que quieren invertir en esta tecnología a nivel residencial es si se encuentra en tarifa DAC y cuentan con casa propia

-A nivel comercial solo un pequeño sector (tarifa 2) piensa en invertir en este tipo de tecnología por cuestión de imagen

-Para nivel industrial con tarifas de media tensión que tengan un costo superior a 3 pesos por kWh pueden hacer una inversión (a partir de 100,000 USD) que tenga un retorno de 6 años.

Cabe mencionar que en México tenemos un alto potencial solar y es una tecnología que tendrá un auge fuerte, siempre y cuando personas como ustedes y empresas de México incentiven el desarrollo del área Fotovoltaica. La primera generación de celdas basadas en silicio está casi al tope de investigación para mejorar su eficiencia, no olviden la factibilidad de desarrollar tecnología de celdas orgánicas o de capa delgada en México”. (Vargas R, 2012)

“La tecnología de celdas solares basadas en silicio está madura y lo que se requiere es un avance en los métodos de producción que impliquen menores costos. Igualmente es importante contar con laboratorios de normalización bien equipados y con personal altamente calificado”. (Morales A., 2012)

“En México, no existe una cadena vertical para el proceso de crecimiento de cristal (silicio). Por tanto, se deba de evaluar desde la mina y extracción de cuarzo” (Matsumoto Y., 2012)

A pesar de que las tecnologías tradicionales de silicio cristalino, tienen la mayor participación en el mercado, los expertos del sector negocios como de I+D coinciden en que esta tecnología está madura. De acuerdo a la Tabla 14 y a la Figura 19 los tópicos más relevantes se enfocan en la creación de marcos y estructuras de montaje de menor coste, así como la mejora de los procesos de producción, la creación de laboratorios de normalización y el reciclaje de los materiales y componentes.

Es interesante que desde el sector de negocios, se mencione que en México hay una baja competitividad y que no existen las condiciones socioeconómicas que apoyen el desarrollo de mayores aplicaciones, por lo que hacen la invitación de incentivar el desarrollo este tipo de tecnologías, sobre todo las nuevas tecnologías de celdas orgánicas o de capa delgada.

3.3.2 Tecnologías existentes de película delgada (TEPD)

Las películas delgadas cuentan con el 10% al 15% de las ventas globales de módulos FV. Estos están subdivididos en tres principales familias: *i) Silicio amorfos (a-Si) y micromorfo (a-Si/ μ c-Si), ii) Cadmio-Telurio (CdTe), y iii) Cobre-Indio-Diselenio (CIS) y Cobre-Indio-Galio-Diselenio (CIGS).*

3.3.2.1 Expertos participantes en TEPD

Tabla 15. Expertos participantes en el área de TEPD

Nombre completo	Organización donde labora	Sector al que pertenece	Nivel de expertise en el tema
Dr. Arturo Morales Acevedo	CINVESTAV_IPN	Investigación y desarrollo	5
Dr. Daniel Glossman-Mitnik	Laboratorio Virtual NANOCOSMOS - CIMAV, SC	Investigación y desarrollo	3

Elaboración propia

3.3.2.2 Tópicos de investigación con mayor calificación en TEPD

Tabla 16. Tópicos de investigación con mayor calificación en el área de TEPD

Área	Nivel de desarrollo	Tópico de investigación y desarrollo	Promedio >3
Aspectos comunes de tecnologías de película delgada	Aspectos de tecnología avanzada/aplicada (75%)	Mejores componentes y conceptos de deposición	4
		Desarrollo de métodos de control de calidad	3
		Ensayos de otras técnicas de deposición y conceptos de sustrato/sellado.	3.5
		Demonstración de materiales de bajo costo de producción	3.5

	Aspectos de manufactura (100%)	Optimización de las líneas de producción con respecto a la productividad y calidad del producto. 3.5 Estandarización de equipo. 3 Evaluación de nuevos materiales y procesos. 3.5 Integración de controles de calidad avanzados. 3 Pilotaje de conceptos roll-to roll. 3
Películas delgadas de silicio TFSi	Aspectos de tecnología avanzada/aplicada (43%)	Procesos de plasma en grandes áreas para el control del proceso del silicio cristalino y amorfo 3 Mejora de sustratos y TCO's (captura de luz) 3 Introducir sistemas completamente optimizados para atrapar la luz en grandes áreas 3
	Aspectos de manufactura (44%)	Alta tasa de deposición de Si- μ c 3 Producir TCO de alta calidad 3.5 Eficiencia >12% (Substrato de vidrio) 3.5 Eficiencia >11% (Substrato flexible) 3.5
Celdas de película delgada CIGS	Aspectos de tecnología avanzada/aplicada (50%)	Procesos de reciclaje (Producción de residuos, producto) 3 Procesos para deposición de alta velocidad de capas funcionales. 3 Reducir el material usado (espesor de película, pureza). 3 Procesos para módulos CIGSS de gran área con eficiencia de 16%-17%. 3 Métodos alternativos de deposición de bajo costo para absorbedores CIGSS. 3 Capas alternativas de amortiguamiento 3
	Aspectos de manufactura (38%)	Equipo de producción de los procesos actuales de módulos CIGS optimizados para su rendimiento en la producción de alto rendimiento, reducción de costes de inversión y consumo de material 3 Productos estandarizados y equipos de producción en toda las industria fotovoltaica 3 Equipo optimizado para menor consumo de energía y material 3
Celdas de película delgada CdTe	Aspectos de tecnología avanzada/aplicada (75%)	Control avanzado de deposición homogénea. 3 Mejora de procesos de activación/dopaje. 3 Procesos y materiales de contacto simplificados. 3 Determinación y eliminación de diodos débiles. 3

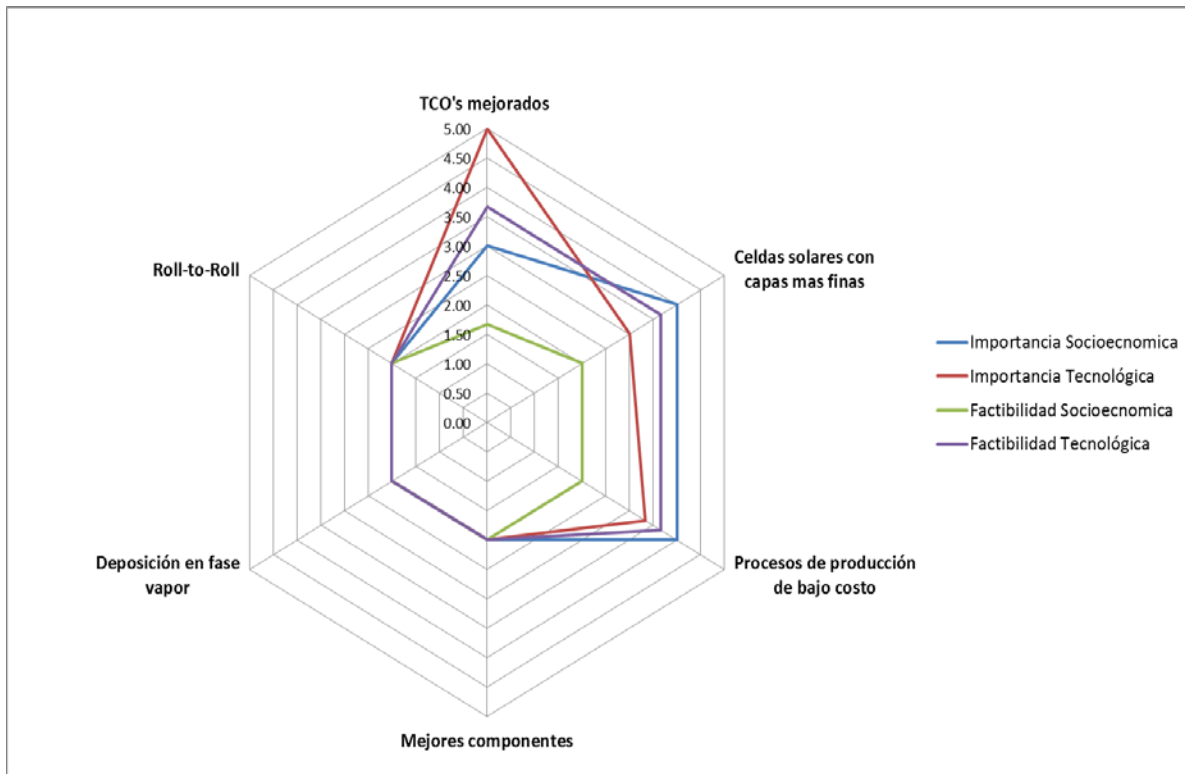
		TCO's alternativos con procesos de bajo costo (celdas de alta eficiencia con capas más delgadas).	3
		Menores temperaturas en los procesos	3
	Aspectos de manufactura (88%)	Mejorar la tecnología de producción estándar de celdas.	3
		Activación avanzada/ procesos seco, uso de precursores alternativos que contienen cloro.	3
		TCOs avanzados, nuevos procesos de interconexión para módulos.	3.5
		Tecnologías avanzadas de producción de celdas.	3
		Dispositivos con películas más finas.	3
		Control de la nucleación y morfología de la película durante la deposición.	3
		Secuencias de procesamiento y deposición simples y robustas	3

Elaboración propia

El porcentaje de tópicos seleccionados que aparece en la columna “nivel de desarrollo” corresponde a la proporción de tópicos con respecto a la lista original de esa área temática.

3.3.2.3 Evaluación de importancia y factibilidad de tópicos de I+D seleccionados en TEPD

Figura 20. Evaluación de importancia y factibilidad de tópicos de I+D seleccionados en TEPD



Elaboración propia

3.3.2.4 Comentarios realizados por los expertos en TEPD

“En celdas solares de capa delgada es muy importante desarrollar TCO's con mejores propiedades y con menor costo en su producción, que además no sean tóxicos. Reducir el espesor del material absorbente dependerá de una mejor comprensión de la física de los dispositivos y por ello es necesario avanzar en entender los materiales de capa delgada, tanto policristalinos como amorfos. Por supuesto, también será necesario desarrollar nuevos métodos de producción que sean de bajo costo.” (Morales A., 2012)

“Todos saben que las tecnologías FV de hoy tienen limitaciones hacia su uso masivo. Las nuevas tecnologías FV son muy probables que lleguen, si no desde México, desde otros países. Allá fuera

existen miles de semiconductores estables, baratos y que se producen naturalmente, los cuales nunca han sido investigados para celdas solares.

Dado que ningún país tiene una tecnología FV para satisfacer al mundo entero, hay una gran oportunidad para México de proporcionar una tecnología prometedora y entrar en la producción masiva de módulos solares fotovoltaicos. En la tecnología FV de película delgada usando tales nuevos materiales, México de ninguna manera esta por detrás de algún otro país. Así que podemos aspirar al éxito

Por lo tanto la investigación FV en México debería ser, por mucho un proyecto nacional; esto beneficiará a toda la población y preparará el camino hacia la paz, las prosperidad y la sustentabilidad.”(PKN, 2012)

En lo que se refiere a las tecnologías de película delgada, los expertos coinciden en la importancia y factibilidad de que México contribuya en los aspectos comunes de I+D, sobre todo en temas como las técnicas de deposición, la demostración de las de bajo coste de producción, así como la optimización de las líneas de producción de estas celdas así como el desarrollo de TCO's con mejores propiedades y con menor costo en su producción. Por el alto porcentaje de tópicos que se muestran en la Tabla 16 se puede inferir que existe un gran optimismo en el desarrollo de estas tecnologías, sobre todo en lo que se refiere a las celdas de CdTe, seguidas por las de TFSi y CIGS.

Se indica que existe una interesante oportunidad para México de proporcionar una tecnología que le permita ser un importante productor de módulos solares fotovoltaicos, se tienen que explorar nuevos materiales, un tema en el que nuestro país no se encuentra rezagado ni en capacidades científicas y tecnológicas ni de personal especializado.

3.3.3 Tecnologías emergentes y novedosas (TEN)

Las **Tecnologías emergentes** abarcan las películas delgadas avanzadas y las celdas orgánicas. Estas últimas están a punto de entrar al mercado a través de diferentes aplicaciones. Los **Conceptos FV novedosos** tienen como objetivo en los próximos diez años, lograr celdas solares de ultra alta eficiencia a través de materiales avanzados y nuevos conceptos y procesos de conversión. Estas están actualmente en investigación básica.

3.3.3.1 Expertos participantes en TEN

Tabla 17. Expertos participantes en el área de TEN

Nombre completo	Organización donde labora	Sector al que pertenece	Nivel de expertise en el tema
Dr. José Luis Maldonado Rivera	Centro de Investigaciones en Óptica AC	Investigación y desarrollo	4
Dr. Daniel Glossman-Mitnik	Laboratorio Virtual NANOCOSMOS - CIMAV, SC	Investigación y desarrollo	4
Dr. Mario Rodríguez	Centro de Investigaciones en Óptica A.C.	Investigación y desarrollo	3

Elaboración propia

3.3.3.2 Tópicos de investigación con mayor calificación en TEN

Tabla 18. Tópicos de investigación con mayor calificación en el área de TEN

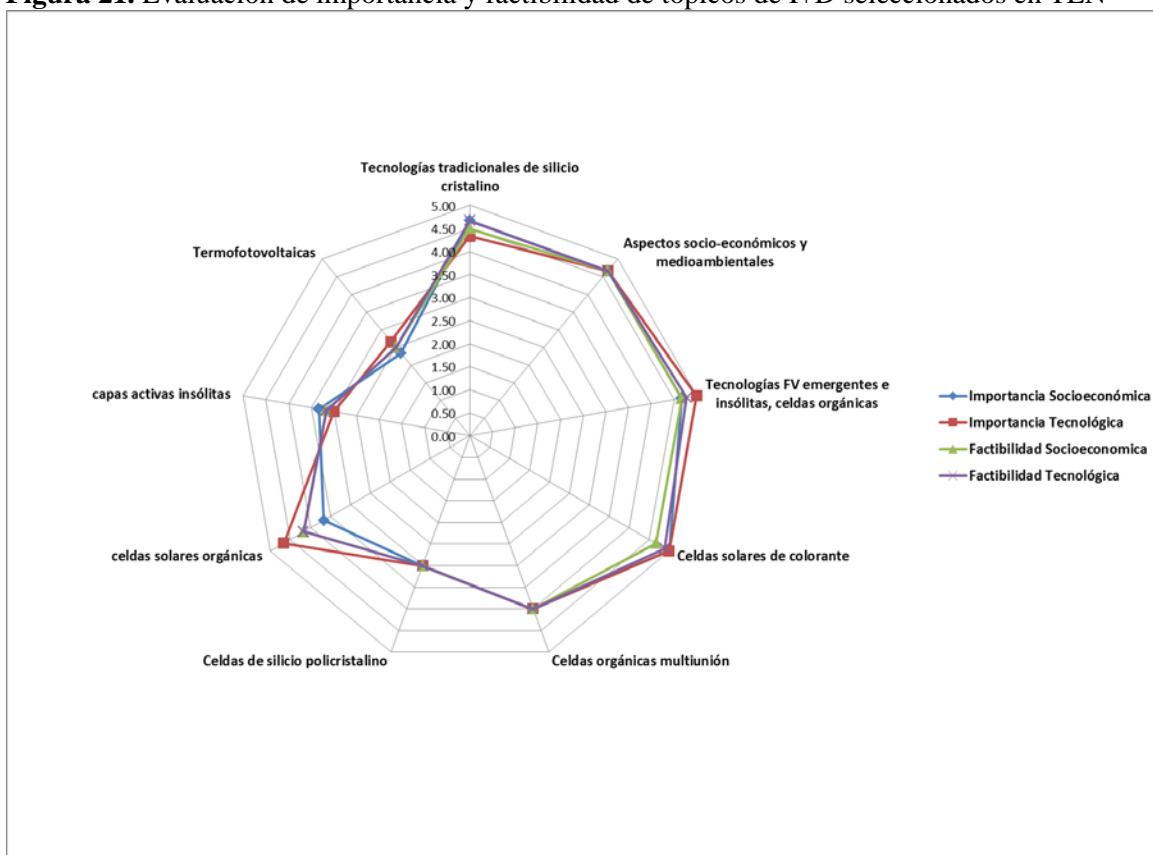
			Tópicos de investigación desarrollo	Promedio >3	
Tecnologías emergentes	Tecnologías avanzadas de película delgada inorgánica (60%)	Celdas solares esféricas CIS	Desarrollo de tecnologías de deposición.	3.67	
			Métodos de interconexión en paralelo	3.33	
		Celdas solares de película delgada de Si policristalino	Mejorar la calidad electrónica del Si policristalino y ampliar la escala de deposición	3.33	
	Celdas solares orgánicas (100%)	Celdas solares de colorantes		Mejores y mas estables sensibilizadores, electrolitos solidos y encapsulación para asegurar una vida mayor a > 15 años.	4
				Eficiencia= 15%	3.33
		Bulk heterojunction		Polímeros mejorados y más estables, estabilización de la nanomorfología por 5 años.	4
				Materiales de encapsulación de bajo costo que garanticen la estabilidad > 15 años.	3.67
			Desarrollo de tecnologías de impresión.	3.67	
			Desarrollo de multiuniones orgánicas.	4	
			Eficiencia > 10% a nivel industrial.	3.67	
	Termo fotovoltaicas	Termo fotovoltaicas	-----		
Tecnologías insólitas	Capas activas insólitas (80%)	Pozos, cables, puntos cuánticos	Tecnología de deposición	3.33	
			Síntesis de nanoparticulas	3.67	
			Caracterización morfológica y opto-electrónica.	4	
			Primera demostración de tipos de celdas solares existentes bajo 1 sol	3.67	
	Aumento de las estructuras en la periferia del dispositivo (67%)	Optimización de la utilización de materiales(construcción de peso ligero)	I+D fundamental en materiales	3.67	
			Primera demostración de tipos de celdas solares existentes bajo 1 sol de concentración	3.33	

Elaboración propia

El porcentaje de tópicos seleccionados que aparece en la columna “nivel de desarrollo” corresponde a la proporción de tópicos con respecto a la lista original de esa área temática.

3.3.3.3 Evaluación de importancia y factibilidad de tópicos de I+D seleccionados en TEN

Figura 21. Evaluación de importancia y factibilidad de tópicos de I+D seleccionados en TEN



Elaboración propia

3.3.3.4 Comentarios realizados por los expertos

Dr. Daniel Glossman-Mitnik_ Laboratorio Virtual NANOCOSMOS - CIMAV, SC

“Considero que se deben re enfocar los estudios hacia el área de celdas solares orgánicas, tanto de colorante como del multiunión poliméricas, dado que los materiales necesarios para su desarrollo son abundantes, baratos y muchos de ellos de producción enteramente nacional. Creo que se debe ir dejando la idea de producir celdas basadas en silicio, dado que en nuestro país la producción del

mismo es limitada y muy cara debido a los métodos necesarios para obtener el silicio de alta pureza requerido.”

El área de tecnologías emergentes y novedosas ha sido la que ha contado con las evaluaciones más altas, de acuerdo al alto porcentaje de tópicos que se presentaron en la Tabla 18.

Las celdas solares orgánicas, las cuales abarcan las celdas solares orgánicas y las de *multiunión*, han sido las que cuentan con el mayor número de tópicos mejor evaluados, entre ellos se busca mejorar los sensibilizadores, electrolitos sólidos y encapsulación más estables para asegurar una vida mayor a 15 años en el caso de las celdas orgánicas y polímeros mejorados, también se busca una estabilización de la nanomorfología por 5 años, así como el desarrollo de multiuniones orgánicas.

Sin duda todos los expertos tanto del sector negocios como de investigación y desarrollo han coincidido en que contamos con oportunidades de I+D en estas nuevas tecnologías, debido a que contamos con las capacidades científicas y tecnológicas, así como con recursos humanos de alto nivel para su desarrollo.

Como lo ha expresado el Dr. PKN, la I+D FV en México debería de ser un proyecto nacional, esto beneficiaría a toda la población y preparará el camino hacia la paz, la prosperidad y la sustentabilidad.

En resumen, se han detectado las siguientes líneas de I+D que pueden representar mayores oportunidades de éxito para desarrollar en México y que a través de los Centros de I+D, universidades y empresas se pueden llevar a cabo y así contar con una industria solar mexicana Tabla 19.

Tabla 19. Oportunidades tecnológicas en energía solar FV detectadas

Área temática		Nivel de desarrollo	Tópicos de investigación y desarrollo	Promedio >3
Tecnologías tradicionales de silicio cristalino	Materiales y componentes	Aspectos de tecnología avanzada aplicada	Encapsulantes de bajo costos Reciclaje de materiales y componentes Adhesivos conductores u otras soluciones libres de soldadura para la interconexión entre los módulos	3.5 3.5 3.5
		Aspectos de manufactura industrial (--)	-----	
	Celdas y módulos	Aspectos de tecnología avanzada aplicada	Marcos y montaje de bajo coste	3.5
		Aspectos de manufactura industrial (50%)	Estandarización de celdas y módulos Estructuras sin marco	3.17 3.33

Área temática		Nivel de desarrollo	Tópico de investigación y desarrollo	Promedio >3
Tecnologías de película delgada	Aspectos comunes de tecnologías de película delgada	Aspectos de tecnología avanzada/aplicada	Mejores componentes y conceptos de deposición	4
			Ensayos de otras técnicas de deposición y conceptos de sustrato/sellado.	3.5
			Demonstración de materiales de bajo costo de producción	3.5
		Aspectos de manufactura	Optimización de las líneas de producción con respecto a la productividad y calidad del producto.	3.5
			Evaluación de nuevos materiales y procesos.	3.5

Elaboración propia

Área temática			Tópicos de investigación desarrollo	Promedio >3
Tecnologías emergentes	Tecnologías avanzadas de película delgada inorgánica	Celdas solares esféricas CIS	Desarrollo de tecnologías de deposición.	3.67
			Métodos de interconexión en paralelo	3.33
		Celdas solares de película delgada de Si policristalino	Mejorar la calidad electrónica del Si policristalino y ampliar la escala de deposición	3.33
	Celdas solares orgánicas	Celdas solares de colorantes	Mejores y mas estables sensibilizadores, electrolitos solidos y encapsulación para asegurar una vida mayor a > 15 años. Eficiencia= 15%	4 3.33
		Bulk heterojunction	Polímeros mejorados y más estables, estabilización de la nanomorfología por 5 años.	4
			Materiales de encapsulación de bajo costo que garanticen la estabilidad > 15 años.	3.67
			Desarrollo de tecnologías de impresión.	3.67
	Desarrollo de multiuniones orgánicas.	4		
	Eficiencia > 10% a nivel industrial.	3.67		
Termo fotovoltaicas	Termo fotovoltaicas	-----		
Tecnologías insólitas	Capas activas insólitas	Pozos, cables, puntos cuánticos	Tecnología de deposición	3.33
			Síntesis de nanoparticulas	3.67
			Caracterización morfológica y opto-electrónica.	4
		Primera demostración de tipos de celdas solares existentes bajo 1 sol	3.67	
Aumento de las estructuras en la periferia del dispositivo	Optimización de la utilización de materiales(construcción de peso ligero)	I+D fundamental en materiales	3.67	
		Primera demostración de tipos de celdas solares existentes bajo 1 sol de concentración	3.33	

Elaboración propia

Capítulo 4. Conclusiones

México tiene la responsabilidad social e internacional de involucrarse en la producción de energías alternas, sin embargo lleva un atraso considerable en la dinámica de la generación de éstas en comparación a otros países, además de que ha dedicado limitados recursos financieros a este tema. En particular la energía solar fotovoltaica no ha logrado penetrar de manera significativa, no sólo en México sino en el mundo. Por ello la *selección metodológica* que propone este trabajo se aplicó en el área de la *energía solar fotovoltaica* para establecer las oportunidades de investigación y desarrollo tecnológico en el tema, que sean más convenientes para el país.

Se diseñó y aplicó una selección metodológica bajo el marco de la prospectiva tecnológica, cuyos atributos son que es ágil, práctica y versátil, que permite una identificación de líneas de trabajo en el área de la energía solar fotovoltaica. Adicionalmente es incluyente, está realizada con pocos recursos y en un periodo de tiempo corto, así como con un horizonte de tiempo a mediano plazo (hasta diez años) respondiendo al alto grado dinamismo y de complejidad para la resolución de problemas en el contexto actual.

La selección metodológica integró de manera complementaria la “revisión de la literatura”, la “bibliometría” y las “tecnologías claves”, a través de criterios cualitativos, cuantitativos y semicuantitativos, cuyas características son:

- Manejó un enfoque extrapolativo, que se basa en la evidencia, para mirar hacia el futuro de la energía solar FV.
- Se orientó a la búsqueda de oportunidades de desarrollo tecnológico e innovación.
- Sólo abarcó un sector tecnológico específico, el de la energía solar FV
- El horizonte de tiempo fue de 3-10 años
- La participación fue estrecha, una pequeña muestra de expertos minuciosamente seleccionados, balanceando la oferta y la demanda, con una inversión de recursos financieros, de personal y económicos mínimos.
- La duración del estudio fue de dos meses, y puede reducirse aún más el tiempo

- El estudio tiene como usuarios potenciales a investigadores, para explorar las líneas descritas en este trabajo; a empresas para seleccionar aquellas líneas que puedan representar una ventaja competitiva y a gobierno para orientar sus recursos de manera estratégica.

Se elaboró un mapa de tecnologías de energía solar fotovoltaica, el cual facilitó la visualización y relación de la amplia gama de temáticas (6) y tópicos (165) de investigación, se realizó la evaluación de los expertos, para el establecimiento de oportunidades tecnológicas en la industria solar fotovoltaica para México, destacando lo siguiente:

- En TTBS, Tecnologías Tradicionales a Base de Silicio, a nivel de tecnología avanzada aplicada tienen mayor atraktividad y oportunidad los encapsulantes de bajo costo; marcos y estructuras de montaje de menor costo y el reciclaje de materiales y componentes. Subrayando que se requiere avanzar en los métodos de producción que implique menores costos y contar con laboratorios de normalización bien equipados y con personal altamente calificado.
- TEPD, Tecnologías existentes de película delgada. Las oportunidades están en el desarrollo de TCO's (Óxidos Conductores Transparentes), con mejores propiedades y con menor costo en su producción, que además no sean tóxicos. Asimismo se requiere avanzar en entender materiales de capa delgada y el desarrollo de nuevos métodos de producción.
- TEN, Tecnologías emergentes y novedosas. Representan oportunidades a nivel mundial, pues se encuentran en fase de investigación básica. Destacando, para México, celdas solares de colorantes, particularmente lo que se refiere a estabilidad, sensibilidad, electrolitos sólidos y encapsulamiento. Asimismo las celdas solares de heterounión masiva, particularmente relacionados con polímeros y multiuniones.

De este modo, la metodología ayuda a identificar y decidir qué temas específicos representa un verdadero nicho de oportunidad e impacto en el que se invierta sus recursos. Lo cual se alinea con el Plan Nacional de Innovación, en donde se reconoce que los recursos disponibles son escasos y que se requieren una focalización de esfuerzos

Bibliografía

- ADIAT / CONACYT. (2002). *Prospectiva tecnológica industrial de México 2002-2015*.
- Alan Porter, e. a. (2011). *Forecasting and Management Technology*.
- ANES. (2012). *Asociación Nacional de Energía Solar*. Recuperado el 23 de Abril de 2012, de http://www.anes.org/anes/index.php?option=com_wrapper&Itemid=14
- Australian Science and Technology Council. (1994). Matching science and technology to future needs: 2010. *International perspective, Canberra*.
- Barber, D. (28 de Octubre de 2011). *Energy trends Mexico PV*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2011, de http://www.energytrend.com/Mexico_Emerging_Solar_Market
- BCG. (2009). *Diagnóstico y estrategias para la atracción de inversiones y operaciones a México*.
- Capdevielle, e. a. (2000). *Production Systems and Technological Patterns*. Cimoli, M. (ed.) Developing Innovation Systems, London.
- CICTI. (2006). *La vinculación industria-centros tecnológicos de investigación y desarrollo: el caso de los centros CONACYT de México*.
- CIEMAT/IALE. (2009). *Tendencias tecnológicas mundiales en el desarrollo y aplicación de paneles solares fotovoltaicos*. España.
- Comité Intersectorial para la Innovación. (2011). *Programa Nacional de Innovación*. México.
- CONACYT. (2004). *Informe General del Estado de la Ciencia y la Tecnología*. México.
- CONACYT. (2010). *Consejo Nacional de Centro y Tecnología*. Recuperado el Enero de 2012, de <http://www.mexicocyt.org.mx/centros/cifras>
- CONACYT. (2012). *Consejo asesor de recursos de información*. Recuperado el 20 de Julio de 2012, de <http://www.cari.org.mx/>
- CONACYT. (s.f.). *México: ciencia y tecnología*. Recuperado el 20 de Enero de 2012, de Sistema de Centros Públicos de Investigación: <http://www.mexicocyt.org.mx/centros>
- Consejo Ejecutivo de Empresas Globales. (2006). *Reflexiones sobre la competitividad en México*.
- Cullen, S. E. (2009). *ALTERNATIVE ENERGY POWERS UP: STAKING OUT THE PATENT LANDSCAPE FOR ENERGY FROM WIND, SUN AND WAVES*. Thomson Reuters .
- Elgar, E. (2008). *The Handbook of Technology Foresight: Concepts and Practice*.
- EU ProSun . (s.f.). *EU PRO SUN*. Recuperado el 23 de Mayo de 2012, de <http://www.prosun.org/es/ue-solar-sostenible/industria-solar-de-la-ue/cadena-de-valor-de-la-energia-solar.html>

- Gasca, C. E. (25 de Mayo de 2009). Se desaprovechan energías renovables. *El universal*.
- Instituto Mexicano de la Competitividad. (2012). *Índice de Competitividad Internacional 2011: Más allá de los BRICS*.
- International Energy Agency. (2011). *PVPS Annual Status Report*.
- International Energy Agency. (2010). *Solar Photovoltaic Energy: Technology Roadmap*.
- International Renewable Energy Agency. (2012). Solar Photovoltaics. En *RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES*. Emiratos Arabes Unidos.
- Merritt, H. (2004). *The Performance, Management, and Relevance of Government supported Technology Research Centres: The SEP-CONACYT Technology Centres of Mexico*.
- MEYS & RDP of the Czech Republic. (2002). *Proposal of the National Research Programm*. Prague: <http://www foresight.cz>.
- Miles. (2002). *Appraisal of Alternative Methods and Procedures for Producing Regional Foresight*. Manchester.
- Miles, I. (2010). The development of technology foresight: A review. *Technological Forecasting and Social Change*, 1448-1456.
- MOWERY, D. C. (1983). The Relationship Between Intrafirm and Contractual Forms of Industrial Research in American Manufacturing 1900-1940. *Explorations in Economic History*, 351-374.
- MOXON'S, B. (1996). *Defining Data Mining DBMS Online*.
- OCDE. (2009). *Reviews of Innovation Policy: Mexico*.
- OCDE. (2010). *Perspectivas OCDE: México Políticas clave para un Desarrollo Sostenible*.
- OCDE/IEA. (2006). *RENEWABLE ENERGY: RD&D Priorities*.
- OECD/IEA. (2008). *Renewable Energy: RD&D Priorities Insights from IEA Technology Programmes*.
- OECD/IEA. (2010). *Technology Roadmap: Solar photovoltaic energy*.
- Photovoltaic Technology Platform. (2008). *A Strategic Research Agenda for Photovoltaic Solar Energy Technology*.
- Popper, R. (2008). *Foresight Methodology: an overview and more*. Bonn, Germany.
- Popper, R. (2008). Foresight: processes, practices and methodologies.
- Popper, R. (2008). *How are foresight methods selected?* Emerald Group Publishing Limited.

- Porter, A. (2004). Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods. *Technological Forecasting & Social Change*, 287–303.
- Porter, A. (2010). Technology foresight: types and methods. *Int. J. Foresight and Innovation Policy*.
- Porter, A. L. (2005). QTIP: Quick technology intelligence processes. *Technological Forecasting & Social Change* 72, 1070–1081.
- REN21. (2012). *RENEWABLES 2012: GLOBAL STATUS REPORT*. Paris, France.
- Rosell, A. (2010). México. Despegue sin ayudas. La fotovoltaica intenta abrirse camino sin ayudas estatales. *Photon*, 85-91.
- SE/Techba/FUMEC. (2011). Sector Energía Solar. En *Programa Innovación Orientada*.
- SED. (2010). *Valoración de la Información contenida en el Sistema de Evaluación del Desempeño (SED), 2009-2010*.
- Solleiro, J. L., & Castañón, R. (2005). Competitiveness and innovation systems: the challenges for Mexico's insertion in the global context. *Technovation*, 1059–1070.
- UNESCO. (2010). *SCIENCE REPORT 2010: The Current Status of Science around the World*.
- UNIDO. (2005). *Technology Foresight Manual: Organization and Methods*.
- Villavicencio, D. (2009). *Sistemas de Innovación en México*. México: Plaza y Valdés.
- WAITRO. (1992). *Best Practices for the Management of Research and Technology*. Denmark: Taastrup.
- World Economic Forum. (2012). *The Global Competitiveness Report 2011–2012*.
- Yim, H. (2010). Technology foresight in practice.

Apéndices

Apéndice A. Métodos de prospectiva tecnológica

Breve descripción de algunos métodos de prospectiva	
Backcasting	Consiste en trabajar sobre un futuro imaginario, para establecer que camino puede llevarnos ahí desde el presente.
Lluvia de ideas	Método creativo e interactivo utilizado en grupos de trabajo cara a cara y en línea para generar nuevas ideas en torno a un área específica de interés
Paneles de ciudadanos	Método que reúne a grupos de ciudadanos (miembros de una organización política y/o residentes de una zona geográfica determinada) dedicados a proporcionar puntos de vista sobre temas relevantes (muy a menudo para un gobierno regional o nacional)
Escaneo del ambiente	Método que implica la observación, examinación, monitoreo y descripción sistemática del contexto social, tecnológico, económico, ambiental, político y ético de un país, industria, organización, etc.
Ensayos	Método centrado en uno o en un pequeño conjunto de imágenes del futuro, con una descripción detallada de algunas de las principales tendencias que promuevan la evolución de un escenario en particular, y/o los roles de las partes interesadas que ayuden a su realización.
Panel de expertos	Método que reúne a grupos de personas dedicadas a analizar y combinar sus conocimientos sobre una determinada área de interés. Pueden ser locales, regionales, nacionales o internacionales.
Futures Workshops	Método que implica la organización de eventos o reuniones que duran desde unas pocas horas a unos pocos días, en los cuales hay una mezcla de pláticas, presentaciones, discusiones y debates sobre un tema en particular.
Juegos	Una de las técnicas más antiguas de prospectiva y planeación, en donde un juego de guerra ha sido utilizado por los estrategas militares. Es una forma de rol de juego en el cual una gran "línea de comandos" describe el contexto de las acciones y los actores involucrados.
Entrevistas	A menudo descrita como "conversaciones estructuradas" son una herramienta fundamental de la investigación social. En prospectiva son a menudo utilizadas como un instrumento de consulta formal, destinada a reunir los conocimientos distribuidos a través de los entrevistados.
Revisión de la literatura	A menudo parte del proceso de <i>exploración del entorno</i> . Las revisiones generalmente utilizan un estilo de escritura discursiva y se estructuran en torno a temas y teorías seleccionadas: En ocasiones la revisión puede tratar de explicar los puntos de vista y las visiones futuras de los distintos autores
Análisis morfológico	Método utilizado para detectar soluciones prometedoras a un problema dado y en consecuencia determinar los posibles futuros. Se utiliza generalmente para sugerir nuevos productos o desarrollos y para construir escenarios multidimensionales.
Encuestas/cuestionarios	Herramienta fundamental para la investigación social y método comúnmente utilizado en la prospectiva.
Arboles de relevancia	Método en el que se aborda el tema de investigación en una forma jerárquica. Normalmente comienza con una descripción general del tema y continua con una exploración desagregada de los diferentes componentes y elementos, examinando particularmente la interdependencia entre ellos.
Escenarios	Método que consiste en la construcción y uso de visiones coherentes más o menos sistemáticas de los posibles estados futuros de un negocio.
Análisis FODA	Método que identifica en primer lugar los factores internos de la organización o de la unidad geopolítica en cuestión y los clasifica en términos de fortalezas y debilidades. De igual forma se examinan y clasifican los factores externos (por ejemplo los cambios socio-económicos y ambientales o el comportamiento de los competidores, las regiones vecinas etc.) y los presenta en términos de oportunidades y amenazas
Análisis de impacto	Método que trabaja sistemáticamente a través de las relaciones entre un conjunto de variables, en lugar de examinar cada una de ellas como si fuera independiente de las demás. Por lo general el juicio de expertos es usado para examinar la influencia de cada variable dentro de un sistema dado, en términos de las influencias reciprocas de cada variable sobre la otra, por lo tanto se produce una matriz cuyas celdas representan el efecto de cada variable sobre las otras

Breve descripción de algunos métodos de prospectiva (Continuación)	
Delphi	Método que involucra la votación repetida de los mismo individuos, retroalimentación (algunas veces), respuestas anónimas desde las primeras rondas de votación, con la idea de que ello permita hacer mejores juicios que se hagan sin la influencia indebida de fuertes defensores de alto status.
Tecnologías críticas	Método que consiste en la elaboración de una lista de tecnologías clave para una industria específica, país o región. Una tecnología se dice que es “crítica” si esta contribuye a la creación de riqueza, o si contribuye a aumentar la calidad de vida de los ciudadanos, es fundamental para la competitividad empresarial o es una tecnología de apoyo que influye en muchas otras tecnologías.
Análisis de criterios	Método usado como técnica de priorización y apoyo a las decisiones, especialmente en situaciones y problemas complejos, donde hay múltiples criterios en los cuales hay que ponderar el efecto de una intervención en particular.
Mapeo de actores	Técnica tradicional de planeación estratégica la cual toma en cuenta los intereses y las fortalezas de las diferentes partes interesadas, con el fin de identificar objetivos clave en un sistema y reconocer posibles alianzas, conflictos y estrategias. Este método es comúnmente utilizado en asuntos políticos y empresariales
Mapa de ruta tecnológico	Método que esboza el futuro de un sector de la tecnología, generando una línea del tiempo para el desarrollo de varias tecnologías relacionadas y (a menudo), incluyendo factores tales como las estructuras reguladoras y de mercado.
Bibliometría	Método basado en el análisis cuantitativo y estadístico de las publicaciones. Este puede implicar simplemente trazando el número de publicaciones que surgen en un área o tal vez en la producción publicaciones de países en diferentes ámbitos y como estas evolucionan a través del tiempo.
Modelación y simulación	Método que se refiere al uso de modelos basados en computadora que relacionan todos los valores obtenidos por variables particulares. Los modelos simples pueden estar basados en relaciones estadísticas entre solamente dos o tres variables. Los modelos más complejos pueden usar cientos, miles o incluso más variables (por ejemplo los modelos econométricos utilizados en la política económica).
Análisis de extrapolación de tendencias	Proporcionan una idea aproximada de como los acontecimientos pasados y presentes pueden ser en el futuro- asumiendo, hasta cierto punto, que el futuro es una continuación del pasado.

AN OVERVIEW AND COMPARISON OF MAJOR PV TECHNOLOGIES

Technology	Units	1 st Generation PV		2 nd Generation PV			3 rd Generation PV		
		Single crystalline silicon (sc-Si)	Polycrystalline silicon (pc-Si)	Amorphous silicon (a-Si)	Copper Indium Gallium Diselenide (CIS/ CIGS)	Cadmium Telluride solar cells (CdTe)	III-V compound Multijunction, Concentrated PV (CPV)	Dye-sensitized (DSSC)	Organic or Polymer (OPV)
Best research solar cell efficiency at AM1.5*	%	24.7		10.4 Single-junction 13.2 Tandem	20.3	16.5	43.5	11.1	11.1
Confirmed solar cell efficiency at AM1.5	%	20-24	14-18	6-8	10-12	8-10	36-41	8.8	8.3
Commercial PV Module efficiency at AM1.5	%	15-19	13-15	5-8	7-11	8-11	25-30	1-5	1
Confirmed maximum PV Module efficiency	%	23	16	7.1/ 10.0	12.1	11.2	25	-	-
Current PV module cost	USD/W	< 1.4	< 1.4	~ 0.8	~ 0.9	~ 0.9	-	-	-
Market share in 2009	%	83	3	1	13		-	-	-
Market share in 2010	%	87	2	2	9		-	-	-
Maximum PV module output power	W		320	300	120	120	120	-	-
PV module size	m ²	2.0	1.4-2.5	1.4	0.6-1.0	0.72	-	-	-
Area needed per kW	m ²	7	8	15	10	11	-	-	-
State of commercialisation		Mature with large-scale production	Mature with large-scale production	Early deployment phase, medium-scale production	Early deployment phase, medium-scale production	Early deployment phase, small-scale production	Just commercialised, small-scale production	R&D phase	R&D phase

*Note: Standard Testing Conditions, temperature 25°C, light intensity 1000W/m², air mass 1.5.

Apéndice C. Lista de expertos participantes

Dr. Arturo Morales Acevedo

Investigador en el campo de Celdas Solares y Sistemas Fotovoltaicos en el CINVESTAV del IPN. Miembro activo de ANES e ISES, así como Editor Asociado de Solar Energy Journal.

Dr. Yasuhiro Matsumoto Kuwabara

Investigador del CINVESTAV del IPN en el campo de Celdas solares de Silicio Cristalinas a heterounión híbridas inorgánica-orgánica y de películas delgadas y Materiales con el objetivo de aplicarlas en dispositivos optoelectrónicos en silicio nanocristalinos y silicio rico en oxígeno.

Dr. Karunakaran Nair Padmanabhan Pankajakshy

Investigador del Centro de Investigación en Energía de la UNAM, sus líneas de investigación son las Celdas solares de compuestos semiconductores en películas delgadas y los materiales semiconductores por depósito químico y su adecuación para celdas solares.

Dr. Mario Daniel Glossman Mitnik

Investigador del Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMA) en el área de simulación computacional y modelado. Contribuyó a la Puesta en Operación del Laboratorio de Innovación fotovoltaica y Caracterización del Celdas Solares

Dr. José Luis Maldonado Rivera

Investigador del Grupo de Propiedades Ópticas de la Materia (GPOM) de la División de Fotónica, en el Centro de Investigaciones en Óptica (CIO), ubicado en León, Guanajuato.

Ing. Ricardo Lara Zendejas

Energía Renovable del Centro ofrece soluciones de ingeniería para el aprovechamiento de fuentes de energía como sol. Entre sus productos se encuentran los postes, refrigeradores, bombas solares, sistemas aislados y de interconexión. Atienden al sector industrial, doméstico, público y rural, brindando asesoramiento desde la planeación, dimensionamiento, venta, instalación y servicio de los sistemas.

Grupo SALMIR

Ing. Olaf Álvarez Vázquez

Grupo Salmir ofrece soluciones en energías alternas desde el proyecto, dimensionamiento, instalación, puesta en marcha, funcionamiento, servicio y capacitación. Busca contribuir con la disminución de la contaminación y el calentamiento global.

Enium SA de CV

Ing. Roberto Vargas

ENIUM es el líder en instalación de paneles solares en México. Vendemos e instalamos soluciones para energía solar térmica y energía solar fotovoltaica.

Apéndice D. Estudio sobre el estado de la energía solar fotovoltaica

1.1 La energía solar FV

Las celdas solares son dispositivos electrónicos que hacen una conversión directa de la luz del sol en electricidad. La forma moderna de la celda solar fue inventada en 1954 en los laboratorios Bell. Hoy en día la FV es una de las tecnologías de energía renovables con más rápido crecimiento y se espera que juegue un rol mayor en el futuro de la generación global de energía.

La potencia eléctrica de una celda fotovoltaica individual es muy débil, entre 1 y 3 W, por lo tanto, con el fin de generar mayor potencia, las células se reagrupan en módulos fotovoltaicos. Las condiciones de funcionamiento de los módulos dependen de la radiación solar y la temperatura. Por ello, se han definido unas condiciones de trabajo estándar que permitan medir y comparar correctamente los diferentes módulos fotovoltaicos. Estas condiciones se han normalizado para una temperatura de 25°C y 1.000 W/m² de radiación solar.

Un sistema FV consiste de celdas FV que son agrupadas juntas para formar un módulo FV y de los componentes auxiliares (Balance del Sistema) que incluye los inversores, controles, baterías, etc. Hoy en día, existe un amplio rango de tecnologías de celdas FV en el mercado que usan diferentes tipos de materiales y en un futuro la cantidad será a un mayor. Las tecnologías de celdas FV están usualmente clasificadas en tres generaciones, dependiendo del material básico usado y los niveles de madurez comercial

- Primera Generación: Silicio monocristalino y multicristalino
- Segunda Generación: Lámina delgada policristalina (CuInS₂, CIS, CdTe, Silicio amorfo en lámina delgada), Lámina delgada monocristalina (AsGa)
- Tercera Generación: Células fotoelectroquímicas, poliméricas y nanocristalinas

A continuación se da una breve descripción de cuales son las tecnologías que se actualmente se encuentran en el mercado o en desarrollo:

Módulos de Silicio cristalino (c-Si), actualmente representan el 85-90% de mercado anual global. Los módulos de Si-c están subdivididos en 2 principales categorías) Silicio monocristalino (sc-Si) y ii) multicristalino (mc-Si).

Las películas delgadas cuentan con el 10% al 15% de las ventas globales de módulos FV. Estos están subdivididos en tres principales familias: i) *Silicio amorfo* (a-Si) y micromorfo (a-Si/ μ c-Si), ii) *Cadmio-Telurio* (CdTe), y iii) *Cobre-Indio-Diselenio* (CIS) y *Cobre-Indio-Galio-Diselenio* (CIGS).

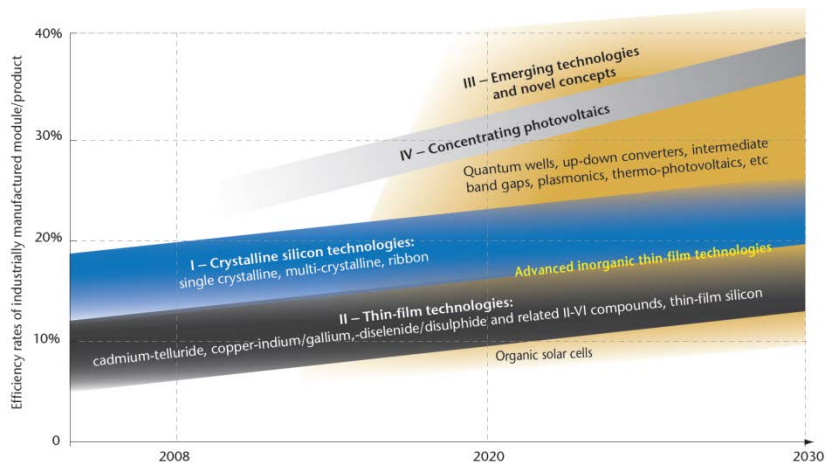
Tecnologías emergentes abarcan las películas delgadas avanzadas y las celdas orgánicas. Estas últimas están a punto de entrar al mercado a través de diferentes aplicaciones.

Concentradores FV (CFV) usan un sistema concentrador óptico el cual enfoca la radiación solar en una pequeña celda de alta eficiencia. La tecnología de CFV está actualmente siendo probada en aplicaciones piloto.

Conceptos FV inéditos con el objetivo de lograr celdas solares de ultra alta eficiencia a través de materiales avanzados y nuevos conceptos y procesos de conversión. Estas están actualmente en investigación básica.

En la siguiente figura se brinda un panorama del status de estas tecnologías y sus proyecciones al año 2030 (Figura 22).

Figura 22. Estatus de la tecnología FV y sus perspectivas



Fuente: IEA PVPS

Además de la I+D en celdas y módulos FV, el desarrollo también se enfoca en los componentes necesarios para la instalación de los sistemas FV, los llamados componentes para el Balance del Sistema (BOS, por sus siglas en inglés).

1.2 Mercado e industria Solar FV

A continuación se dará una breve explicación de los puntos clave relacionados con el estado actual del mercado y la industria solar FV a nivel mundial y México.

Mercado Mundial

El mercado solar FV mostró otro año de extraordinario crecimiento, casi 30GW de nueva capacidad solar FV entró en funcionamiento a nivel mundial en 2011, incrementando la capacidad global total en 74% a casi 70 GW (Figura 23). Gran parte de la nueva capacidad fue agregada a finales de año, impulsado por la disminución en las tarifas arancelarias, la inminente expiración de políticas, y una dramática reducción en los precios. La participación en el mercado de las películas delgadas cayó de un 16% en 2010 a un 15% en 2011 (REN21, 2012).

Los principales países con capacidad total instalada a finales de año fueron Alemania, Italia, Japón, y España, seguido muy de cerca por Estados Unidos (Figura 24).

Por primera vez, la solar FV representó la mayor capacidad agregada que otro tipo de tecnología de generación de electricidad: Solamente la FV representó casi el 47% de toda la nueva capacidad eléctrica en la Unión Europea que entró en funcionamiento en 2011.

Figura 23. Capacidad Solar FV total instalada en el mundo 2005-2011

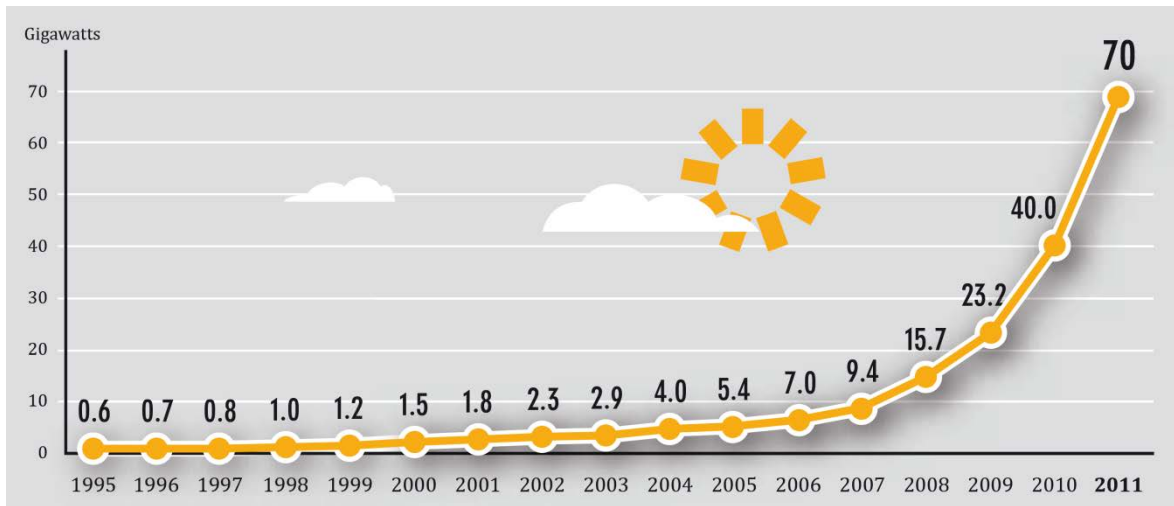
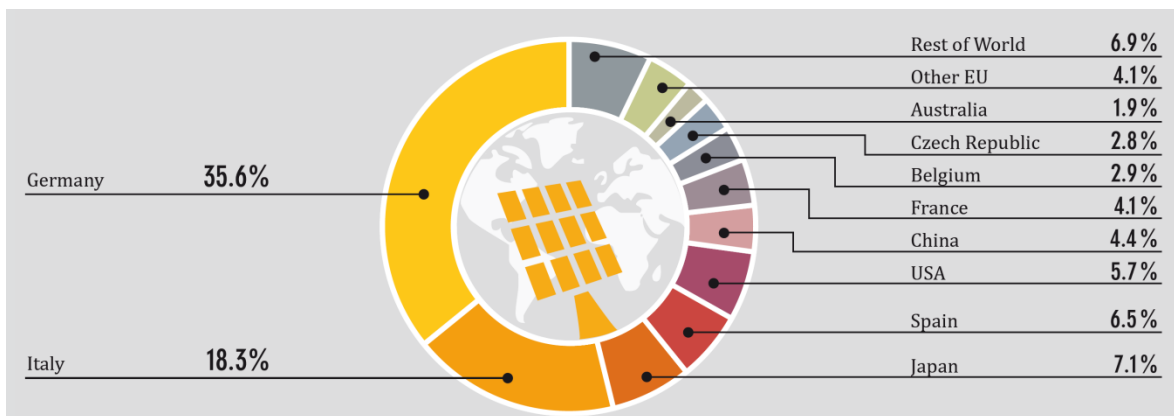


Figura 24. Capacidad Solar FV operando, 10 principales países, 2011



La gran mayoría de la capacidad FV instalada hoy en día está conectada a la red, con un estimado de 2% de capacidad global fuera de la red. Sin embargo hay un creciente interés en los sistemas fuera de la red y de pequeña escala particularmente en países en desarrollo

El mercado de los concentradores FV (CFV) es aun débil, pero el interés en esta tecnología ha incrementado debido en gran parte a los altos niveles de eficiencia en lugares con alta insolación y bajo contenido de humedad. La mayoría de los proyectos de CFV están en fase piloto o prototipo, pero el primer proyecto en el mundo de varios megawatts fue instalado en 2011, y un estimado de 33 MW estuvo en operación a principios de 2012.

Industria solar FV a nivel mundial

El tamaño total de la industria mundial FV ahora excede los 100 billones de USD por año. Pero mientras 2011 fue un buen año para los consumidores y los instaladores, los fabricantes enfrentan una dura competencia por la cantidad de competidores. Los fabricantes de celdas módulos y polisilicio han luchado para obtener beneficios o incluso sobrevivir en medio de un exceso de inventario, la caída de los precios, disminución del apoyo gubernamental, crecimiento del mercado más lento durante gran parte del año y la significativa consolidación de la industria.

La reducción en los precios de los módulos FV continuó en 2011, debido al aumento en las capacidades de producción, innovaciones tecnológicas, competencia entre los fabricantes y una gran caída en el precio del silicio. Según algunas estimaciones, el precio de los

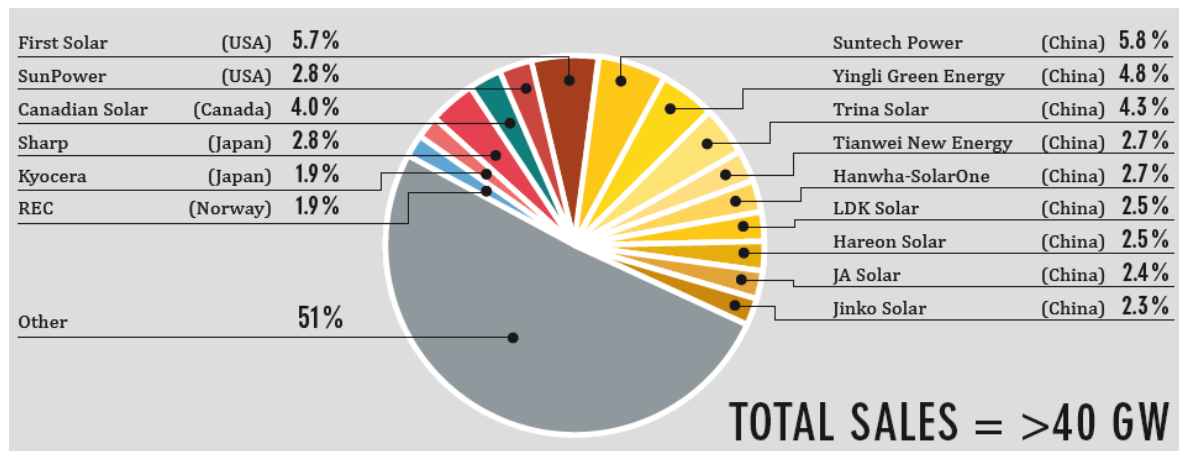
módulos cayó más del 40% durante el año, y el costo del sistema instalado en techos cayó en más del 20%. Los precios de las celdas de película delgada también cayeron en 2011, su ventaja en precio se ha reducido, esto debido a las dramáticas reducciones en los costos de los módulos cristalinos.

Toda la producción relacionada a la FV incrementó muy rápidamente, lo que resultó en una excesiva oferta de módulos. Aproximadamente 33.1GW de celdas de silicio cristalino y 34.8GW de módulos fue producido en 2011, un aumento de alrededor de 21.2 GW y 20.5GW, respectivamente, en 2010.

Al final de año la capacidad de producción fue estimada en 55.7GW, con una capacidad efectiva de 30GW. Aunque la producción de las películas delgadas continuó cayendo, de un pico de 21% en 2009 a 13% en 2011

Durante la última década, el liderazgo en producción se ha desplazado desde Japón a Europa y ahora a Asia. La fabricación de módulos continuó su marcado cambio en 2011, principalmente a expensas de firmas Europeas (Figura 25).

Figura 25. Participación en el mercado de los 15 principales fabricantes, 2011



A pesar de los muchos desafíos, la innovación continuó a lo largo de la cadena de valor con los avances en la eficiencia, mejora en los procesos, desarrollo de materiales orgánicos, plásticos y finanzas, entre otros, y la reducción de costos continuó con su trayectoria a la baja, con un promedio de 7-8% anualmente. Los productores de celdas película delgada continuaron mejorando la eficiencia, incrementaron la adopción en techos y reduciendo sus costos.

Al inicio de 2012, los precios de los módulos de película delgada había caído por debajo de USD 1 /watt (W), con precios disponibles entre los USD 0.84 y USD 0.93/W. Los precios de los módulos de silicio cristalino son más variados, pero fueron típicamente en el rango de los USD 1.02 a USD 1.24/W para los mercados más competitivos. Los costos de los módulos FV tienen una tasa de aprendizaje del 22% lo que implica que los costos se reducirán en poco más de un quinto con cada duplicación de la capacidad. La continúa reducción de costos, se debe al rápido crecimiento de la implementación.

El costo total de la instalación de los sistemas FV puede variar ampliamente entre países y regiones. Esta variación refleja la madurez de los mercados locales, la mano de obra local y los costos de fabricación, los niveles y estructuras de los incentivos, y el rango de otros factores. A un promedio de USD 3.8/W para los sistemas de silicio cristalino, Alemania tienen los niveles mas bajos de sistemas FV en el mercado residencial a pequeña escala (<5kW). En comparación, el promedio de los costos de instalación en 2011 en Italia, España, Portugal y Estados Unidos fue entre USD 5.7 a USD 5.8 /W (International Renewable Energy Agency, 2012).

Los sistemas de uso público que usan módulos FV de película delgada como Silicio amorfo, Cadmio-Telurio y Cobre-Indio-Galio-Diselenio (CIGS) tienden a tener menos costes de capital que los sistemas residenciales en un mercado dado, pero este no es siempre el

caso si se incluye un sistema de seguimiento. Los sistemas a gran escala de película delgada tuvieron un costo promedio de alrededor USD 3.9/W, no más barato que el costo promedio de los sistemas de silicio cristalino residencial en Alemania.

Las proyecciones para la continúa reducción de costos es muy buena. Sin embargo, la tasa a la cual los costos de la FV disminuirán es altamente incierta debido al rápido crecimiento en el mercado FV comparado con la base instalada y la alta tasa de aprendizaje para la FV. Dejando a lado esta incertidumbre, el costo de instalación de un sistema residencia de silicio cristalino puede caer entre los USD 3.8 a USD 5.8/W en 2011 a unos USD2.9 a USD 4.1/W en 2012 si las actuales tendencias continúan.

1.3 Estado de la energía solar FV en México

Los recursos solares en México son de lo mejor en el planeta, superiores a Alemania y España, quienes son reconocidos como líderes mundiales en sistemas fotovoltaicos instalados. Los recursos de FV en nuestro país son en promedio 60% más altos que en Alemania.

El factor de retorno energético (FRE) en México es altamente favorable, produciendo 17 veces más energía que la requerida para fabricar el sistema fotovoltaico, lo cual es 1.5 veces más alto que el FRE en Alemania y casi igual al de España (SE/Techba/FUMEC, 2011).

El 80% de las instalaciones fotovoltaicas en México se encuentran fuera de la red eléctrica, principalmente en áreas rurales.

En México no existe subsidio para electricidad fotovoltaica y se compite contra tarifas subsidiadas en energía eléctrica residencial el cual es considerado como el más alto del planeta por parte del Banco Mundial, dificultando la penetración de la tecnología.

Una de las mayores oportunidades para empresas mexicanas se encuentra en el posicionamiento como jugadores clave en la cadena de proveeduría para plantas de producción eléctrica de gran capacidad con fines industriales, principalmente aquellas de la región del sur de California y Arizona.

Otras oportunidades para empresas mexicanas abarcan diversas áreas como el diseño y manufactura de paneles fotovoltaicos, y alumbrado público basado en energía solar.

Marco general

El gobierno mexicano está tratando de lanzar programas para el desarrollo masivo de sistemas conectados a la red, en especial la Comisión Federal de Electricidad (CFE) está llevando a cabo planes y proyectos para introducir la energía FV como una alternativa para la generación distribuida. La Comisión Nacional Reguladora esta también haciendo su trabajo para establecer el marco regulatorio para capacidades a gran escala. Con respecto a la formación de recursos humanos en tecnología FV, la oferta se está incrementando considerablemente, como el programa de entrenamiento que el Instituto de Investigaciones Eléctricas ha promovido (Internacional Energy Agency, 2011).

La industria mexicana FV esta participando activamente hacia la calidad, a través de la estandarización de productos y servicios. El precio de los inversores también mostró reducciones en sus precios pero a una tasa menor que los módulos FV. En lo que respecta a los componentes "BOS" se observó una alta disponibilidad de soluciones estandarizadas.

Programa Nacional para el desarrollo de la FV

A pesar de que no se ha implementado un programa nacional para el desarrollo de la tecnología FV, el gobierno federal creó el fondo para para la transición energética y el uso sustentable de energía durante el 2009, cuyo objetivo es el uso de recursos económicos para fomentar el sector energético nacional a través de acciones y programas enfocados en lograr un mejor y mas amplio uso de los recursos de energía renovable y tecnologías limpias de energía y la FV entra en este programa. Además en 2011, La CFE llamó a la construcción de una planta de un sistema centralizado conectado a la red de un MW en la Península de Baja California, esta planta de energía FV será la primera en ser operada por la CFE.

Después de un prolongado atraso, se espera que se reactive el programa de electrificación rural, que se enfoca en la instalación de energía FV en comunidades rurales con menos de 100 habitantes. Por otro lado el INFONAVIT esta estudiando alternativas para la incorporación de generadores FV de pequeña capacidad (alrededor de 1 kW) en viviendas de familias con ingresos bajo y medio bajos.

Investigación y Desarrollo

Como se ha mencionado el Fondo para la Transición Energética, ha logrado apoyar el desarrollo de las tecnologías de energía renovables. La academia y las instituciones de I+D han sido los principales receptores de este fondo. En 2011 este fondo concedió apoyo a la FV en las siguientes áreas: i) Desarrollo de materiales para celdas solares FV de película delgada ii) dos proyectos para la construcción de un banco de pruebas par pequeños sistemas FV y un banco de pruebas para sistemas en mini-redes e híbridos. Además los esfuerzos en I+D han continuado para el desarrollo de tecnología de inversores para los sistemas conectados a la red.

Desarrollo de la industria y el mercado

De acuerdo a compañías FV mexicanas, el 2011 fue un bue año. La mejor estimación para el mercado mexicano fue de 6.5MW, el cual coincide con las predicciones hechas a inicios de año. Los ensambladores de módulos FV reportaron ventas de alrededor de 3 MW; parte de esa producción fue comercializada en países de América Latina. La presencia de módulos FV chinos baratos es remarcable. Una compañía española productora de celdas y módulos estableció una planta ensambladora en Tijuana, cuya producción es principalmente exportada al mercado de Estados Unidos. Durante este año, el IIE concretó la transferencia de tecnología de un inversor a una compañía local.

Tres fabricantes internacionales de módulos fotovoltaicos tienen instalaciones de producción en México. También dos empresas nacionales están ensamblando módulos fotovoltaicos en el país. La producción de Kyocera, Sanyo y Unisolar, es para el mercado de exportación.

Los módulos ensamblados se venden en el mercado internacional. ERDM y Solartec son empresas mexicanas, sus módulos fotovoltaicos son vendidos principalmente en el mercado nacional. Parte de la producción de ERDM es exportada a América Central y países del Caribe. Solartec ensambla sus módulos fotovoltaicos en México, pero no se ha proporcionado información sobre la producción durante el año 2010.

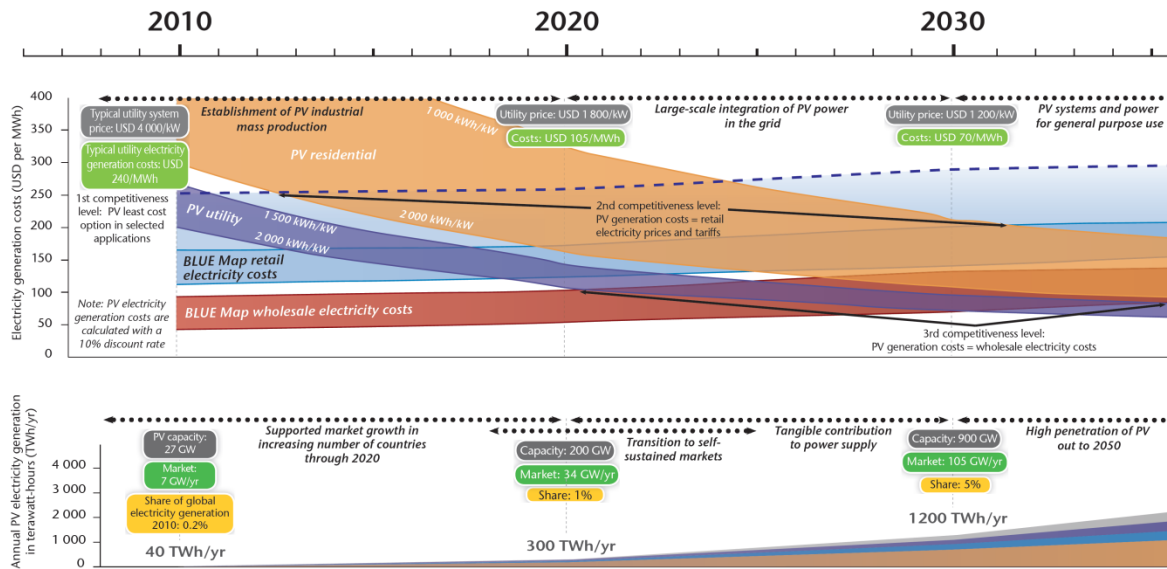
Por otro lado, no hay producción en el país de materia prima, lingote o celdas

En 2011, el histórico precio bajo de los módulos FV tuvo un impacto positivo en la capacidad FV instalada, como en años anteriores, las expectativas de crecimiento del mercado para los próximos años es alentadora.

Proyección 2010-2050 de la energía solar FV

La Figura 26 muestra la participación en el mercado esperada para la energía solar FV en las próximas décadas (OECD/IEA, 2010).

Figura 26. Desarrollo del mercado FV y niveles de competitividad



Assumptions: Interest rate 10%, technical lifetime 25 years (2008), 30 years (2020), 35 years (2030) and 40 years (2050); O&M costs 1%.

En la primera década, se espera que los sistemas FV residencial y comercial logren una paridad en precio con la red de distribución de electricidad en un número de países caracterizados por un buen recurso solar y altos precios de energía convencional. En algunos casos es probable que esto se produzca antes de 2015. En 2020 los costos de generación de FV se espera en un rango de USD 13-26 centavos/kWh (sistemas comerciales) a USD 16-31 centavos/kWh (sistemas residenciales), dependiendo de los niveles de irradiación solar en un sitio específico. Estos costos se esperan que sean inferiores que los precios de electricidad en muchos países.

En el mismo periodo, los sistemas FV a nivel industrial lograrán los USD 10 cent/kWh llegando a competir con los precios mayoristas de electricidad en algunos países. Para lograr estos objetivos, La energía FV marcos políticos sostenidos y coherentes además de incentivos de apoyo durante estos años.

De 2020 a 2030, la hoja de ruta prevé que la FV avanzará hacia la integración de la red a gran escala y empezar a ser competitiva a una escala más amplia. Hacia el final de la década, el costo típico de un sistema de generación FV a nivel industrial se espera que disminuya a USD 7-13 centavos/kWh y la FV se vuelva competitiva a escala industrial con precios de electricidad al mayoreo en algunas regiones del mundo. En ese momento, los sistemas comerciales y residencial se convertirán a un costo competitivo en casi todas las regiones del mundo con razonables irradiación solar.

El volumen anual de mercado habrá incrementado por otro factor de tres en esta década (tocando el punto de referencia de 100 GW para 2030), dando lugar a una capacidad instalada acumulada de casi 900GW a nivel mundial. Durante este periodo, los incentivos económicos deben empezar a eliminar gradualmente mientras que se deben mantener las garantías de acceso a la red y el apoyo sostenido a la I+D.

La fase de 2030- 2050 será caracterizada por la difusión a gran escala de los sistemas FV y sus usos para propósitos generales. Los costos del sistema están en un rango de USD 800 a USD 1200/kW dependiendo del sector de aplicación. Esto conducirá a costos de generación de USD 4.5-9 centavos/kWh a escala industrial y de USD 6.5-13.5 centavos/kWh a nivel residencial. El mercado anual seguirá creciendo, aunque a un ritmo más lento que en las décadas anteriores. La capacidad total acumulada instalada incrementara a mas de 3 000 GWp. Esto generará una producción de electricidad de aproximadamente 4500 TWh/año, correspondiendo a la participación proyectada de alrededor del 11% del total de electricidad en el mundo.

La información aquí presentada mostró la gran variedad de tecnologías que se encuentran en el mercado o en desarrollo, el gran auge que tuvo la energía solar FV en cuanto a instalación de capacidad y sus principales países, el difícil momento que atraviesan los fabricantes de módulos FV y el panorama de México en el desarrollo, instalación y regulación de estas tecnologías. Por último se ha brindado un panorama sobre las proyecciones de la participación de esta energía en las próximas décadas. Esta información, junto con la construcción metodológica realizada en el capítulo anterior, conforma la fase 1 de este ejercicio de identificación de oportunidades tecnológicas.

Apéndice E. Análisis de artículos y patentes de energía solar

Con el objetivo de conocer los principales actores y las instituciones que están trabajando en el tema de la energía solar fotovoltaica, se ha realizado un análisis de datos de publicaciones y patentes a nivel mundial y nacional. Los resultados obtenidos ayudarán a identificar a actores que podrían apoyar el proceso de identificación de tecnologías críticas.

Artículos a nivel mundial

La búsqueda se realizó el 9 de marzo de 2012, con la fórmula de búsqueda antes mencionada, en un lapso de tiempo de 1990 a la fecha, debido a que ese año es el límite de búsqueda que se puede realizar en la base de datos Web Of Science (WOS). El número total de publicaciones obtenidas fue de 38,153 a nivel mundial.

Países con mayor número de publicaciones

A nivel mundial la producción de artículos es dominada por EE.UU, China Japón y Alemania respectivamente, quienes acumularon el 54 % de los artículos. Esto demuestra el liderazgo que tienen estos países en la investigación y desarrollo de la energía solar FV (Tabla 20). Por otro lado, en México se encontraron 324 publicaciones, las cuales representan el 0.85% de la producción mundial y que lo posicionan en el lugar número 25.

Estos datos muestran, de alguna manera, la brecha que existe entre los países líderes en publicaciones referentes a la energía solar FV y México.

Tabla 20. Número de publicaciones en solar FV por país

	País	No de publicaciones	%
1	USA	8821	23.147
2	CHINA	4419	11.596
3	JAPAN	4062	10.659
4	GERMANY	3297	8.652
5	SOUTH KOREA	2232	5.857
6	ENGLAND	1516	3.978
7	TAIWAN	1506	3.952
24	BRAZIL	338	0.887
25	MEXICO	324	0.85

Instituciones con mayor número de publicaciones a nivel mundial

La Tabla 21 muestra las instituciones con mayor número de publicaciones a nivel mundial, donde La Academia China de Ciencias es la más productiva con 1022 publicaciones (2.682%), seguido con 871 artículos el Laboratorio Nacional de Energía renovable (NREL) de los Estados Unidos lo que representa el 2.286%.

Tabla 21. Instituciones con mayor número de publicaciones en solar FV a nivel mundial

	Institución	País de origen	No de publicaciones	%
1	CHINESE ACAD SCI	CHINA	1022	2.682
2	NATL RENEWABLE ENERGY LAB	USA	871	2.286
3	NATL TAIWAN UNIV	TAIWAN	384	1.008
4	OSAKA UNIV	JAPÓN	360	0.945
5	UNIV NEW S WALES	AUSTRALIA	353	0.926
6	NATL INST ADV IND SCI TECHNOL	JAPÓN	340	0.892

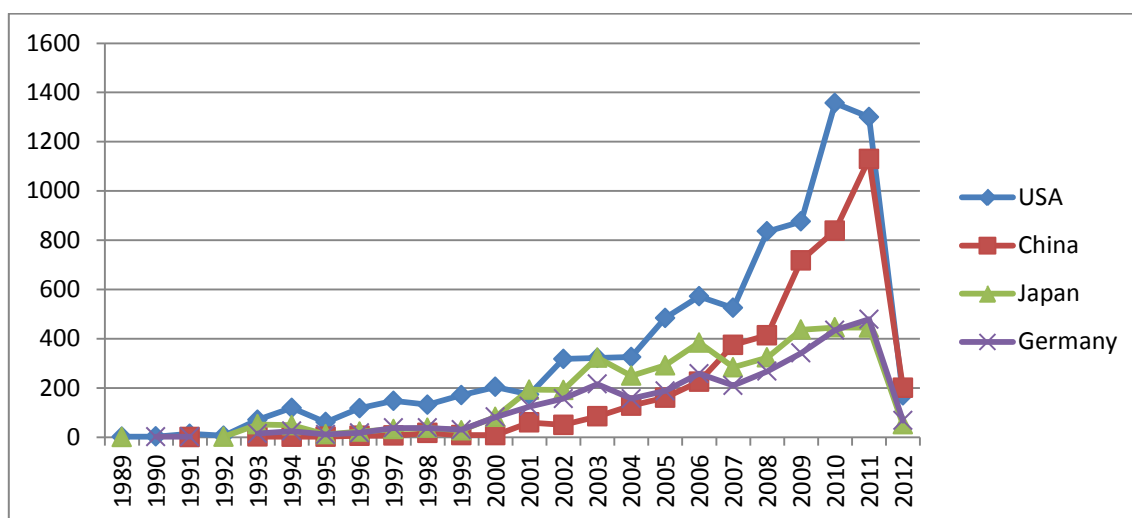
7	UNIV LONDON IMPERIAL	REINO UNIDO	306	0.803
8	FRAUNHOFER INST SOLAR ENERGY SYST	ALEMANIA	301	0.79
9	NATL CHIAO TUNG UNIV	TAIWAN	275	0.722
10	HAHN MEITNER INST BERLIN GMBH	ALEMANIA	256	0.672

Análisis de 4 países líderes

Posteriormente se realizó un análisis de los 4 países con mayor producción de patentes, Estados Unidos (8821 artículos), China (4419 artículos) Japón (4062 artículos) y Alemania (3297 artículos). Estos cuatro países representan casi el 54% de las publicaciones a nivel mundial (20,599 artículos).

En este análisis se buscó identificar, de una manera mas detallada, a las instituciones y autores con mayor número de artículos, además de revisar sus tendencias de publicaciones a lo largo de los años. Las publicaciones en relación a la FV comenzaron a crecer en el año 2000, pero fue hasta 2008 cuando este crecimiento fue exponencial sobre todo en EE.UU y China (Figura 27), lo que muestra el gran interés de estos dos países por dominar la tecnología solar fotovoltaica.

Figura 27. Tendencias de publicaciones en solar FV de 4 países líderes



INSTITUCIONES

Tabla 22. Instituciones líderes en publicaciones sobre Solar FV

	Estados Unidos	China	Japón	Alemania
1	NATL RENEWABLE ENERGY LAB (797)	Chinese Acad Sci (1041)	Natl Inst Adv Ind Sci & Technol (353)	FRAUNHOFER INST SOLAR ENERGY SYST (401)
2	UNIV CALIF BERKELEY (249)	S China Univ Technol (295)	OSAKA UNIV (344)	Hahn Meitner Inst Berlin GmbH (288)
3	Univ Florida (207)	Univ Hong Kong (188)	Tokyo Inst Technol (306)	Forschungszentrum Julich (170)
4	Stanford Univ (204)	Jilin Univ (175)	UNIV TOKYO (279)	Univ Stuttgart (144)
5	Univ Washington (197)	Nankai Univ (158)	KYOTO UNIV (199)	Univ Erlangen Nurnberg (115)

En Estados Unidos la institución con mayor número de publicaciones encontradas fue el Laboratorio Nacional de Energía Renovables (NREL, por sus siglas en inglés) con 797 publicaciones (Tabla 22), seguido por la Universidad de California Berkeley, U. de Florida, Stanford y Washington.

En China, se muestra un claro dominio de la Academia China de las Ciencias la cual cuenta con 1041 publicaciones, ésta es una institución del consejo del estado chino, que tiene como sede a Pekín y que cuenta con institutos distribuidos por toda China.

La producción de publicaciones en Japón parece estar mas equilibrada entre las instituciones (tabla 7), siendo esta dominada con 353 publicaciones, por el Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología Industrial Avanzada (AIST, por sus siglas en inglés) quien es una institución pública de investigación fundada por el gobierno japonés, y la cual depende de la Ministerio de Economía, Comercio e Industria Le siguen la Universidad de Osaka con 344 y el Instituto Tecnológico de Tokio con 306 publicaciones.

La institución que cuenta con mayor número de publicaciones en Alemania es el Instituto de Sistemas de Energía Solar (401 publicaciones), que pertenece al sistema de institutos de investigación aplicada Fraunhofer Institute.

AUTORES

Tabla 23. Autores líderes en publicaciones sobre Solar FV

	Estados Unidos	China	Japón	Alemania
1	Yang, Yang(UCLA,77)	Li, Yongfang (Chinese academic science,144)	Soga, Tetsuo(Nagoya Ints Technology,199)	Rau, Uwe (University Stuttgart, 81)
2	Germack, David S (NREL, 63)	Zhang, Jing-ping(Chinese academic science,58)	Umeno, Masayoshi (Nagoya Ints Technology,102)	Warta, Wilhelm (FRAUNHOFER INST SOLAR ENERGY SYST,78)
3	Rohatgi, Ajeet (Georgia Insitute Technology,63)	Wu, Jihuai(Huaquiao University,51)	Kondo, Michio(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology,100)	Leo, Karl (Tech University Dresden,71)
4	Emery, Keith A(NREL,61)	Cao, Yong (S China University Technology,49)	Jimbo, Takashi(Nagoya Ints Technology,94)	Carius, Reinhard (Forschungszentrum Julich,66)
5	McGehee, Michael D(Stanford University,59)	Lan, Zhang(Huaquiao University,49)	Yamaguchi, Masafumi (Toyota Technology Institute,91)	Lux-Steiner, CM (Hahn Meitner Inst Berlin GmbH,66)

En lo que se refiere a los autores más productivos en Estados Unidos, Yang Yang de la UCLA ocupa la primera posición con 77 artículos. Seguido por David Germack del NREL con 63 publicaciones (Tabla 23).

En China, se vuelve a demostrar el dominio de la Academia de Ciencias China. Yongfang Li cuenta con 144 publicaciones, seguido por Jing-ping Zhang con 58 artículos.

En Japón se observa que los autores con mayor producción pertenecen a la Universidad de Osaka con Tetsuo Soga con 119 publicaciones, Masayoshi Umeno con 102 y Takashi Jimbo con 94 publicaciones.

En lo que se refiere a los autores más productivos en Alemania se muestra que Uwe Rau de la universidad de Stuttgart se encuentra con el autor líder con 81 publicaciones encontradas, seguido por Wilhel Warta del Fraunhoder Institute con 78 publicaciones.

La institución que presenta más autores es el Forschungszentrum Julich, el cual es un centro de que pertenece a la asociación Helmholtz de Centros de Investigación Alemana.

Publicaciones sobre Solar FV en México

Realizando un filtro sobre la base de datos anterior, tomando solamente las publicaciones realizadas por instituciones mexicanas se obtuvieron 327 publicaciones, que como ya se mencionó representan el 0.85% del total de los artículos encontrados a nivel mundial y que colocan a México en el lugar 25 en producción de publicaciones sobre el tema.

El análisis de estas publicaciones se ha realizado en una semana y se han podido determinar a instituciones y actores clave en el desarrollo de la tecnología solar FV, las principales redes de colaboración entre países, instituciones y autores.

Tabla 24. Publicaciones sobre Solar FV en México

	Afiliación de autores (No de publicaciones)	Colaboración con países (No de publicaciones)	Autores (Institución, no de publicaciones)
1	IPN (110)	México (327)	Nair, PK (UNAM, 27)
2	Universidad Nacional Autónoma de México (105)	USA (33)	Nair, M S (UNAM,26)
3	CIMAV (13)	España (18)	Morales-Acevedo, Arturo (CINVESTAV, 24)
4	UAEM (12)	India (11)	Contreras-Puente, Gerardo S (IPN, 19)
5	Universidad Autónoma Nuevo León (12)	Cuba (8)	Mathew, Xavier (UNAM,19)
6	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (10)		Sebastián, P J (UNAM,18)
7	IIE (10)		Matsumoto, Yasuhiro (UNAM, 14)
8	CIO (9)		Vigil-Galan, O (IPN,14)
9	CENIDET (7)		Asomoza-Palacio, R (CONVESTAV, 12)
10	Universidad Michoacana (7)		Campos-Álvarez, J (UNAM,11)
11			Mendoza-Pérez, Rogelio(UACM,11)
12			Calixto-Rodríguez, M (UNAM,10)
13			Sanchez-Juarez, Aarón(UNAM,10)
14			Sastre-Hernández, Jorge (IPN, 10)
15			Velumani, S(CINVESTAV, 10)
16			Glossman-Mitnik, Daniel (CIMAV,7)
17			Gonzalez-Hernandez, J (CINVESTAV,17)
18			Hu, Hailin (UNAM,7)
19			Oskam, Gerko (CINVESTAV, 7)
20			Aguilar-Hernandez, J R (IPN, 6)

Principales instituciones en México

La Tabla 24 muestra las 10 instituciones que cuentan con el mayor número de publicaciones. Se nota un claro dominio por parte de instituciones el IPN y la UNAM, que son las dos principales universidades públicas del país.

El IPN registró 110 publicaciones, lo cual lo colocaría como la institución con mayor número de publicaciones, mientras que la Universidad Nacional Autónoma de México registró 105 publicaciones. Las otras universidades que se encuentran entre las más productivas son la UAEM, la UANL y la BUAP.

En cuanto a centros de investigación que se encuentran en la lista de las 10 más productivas, se encuentra el CIMAV, el IIE el CIO y el CENIDET.

Colaboración con otros países

Algunas de las publicaciones realizadas por mexicanos han sido en colaboración con otros países. De las 327 publicaciones encontradas, se muestra que la mayor colaboración ha sido con instituciones de Estados Unidos (33 publicaciones), seguida por España (18 publicaciones) y la India (11 publicaciones)

Autores con mayor número de publicaciones

Como se mostró anteriormente las publicaciones en México son ampliamente dominadas por dos instituciones públicas la El IPN y la UNAM, esto también se ve reflejado en los autores con mayor número de publicaciones. Los 20 autores más productivos de los cuales 8 pertenecen a la UNAM, 10 al IPN, 1 al CIMAV y 1 a la UACM.

Por parte de la UNAM, todos los autores que se encuentran entre los 20 más productivos laboran en el Centro de Investigación en Energía (CIE), el cual es líder en investigación referente en energías renovables a nivel nacional. De los 10 integrantes del IPN 6 son del Centro de Investigación Avanzada (CINVESTAV) y los otros 4 son de la Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM)

Redes de colaboración entre instituciones y autores

Una manera de generar un mayor conocimiento es a través de las redes de colaboración que se lleguen a formar, las instituciones trabajan con otras instituciones, pero ¿cuales son esas instituciones? ¿Con que institución se puede realizar una colaboración? Son preguntas que se pueden responder a través del análisis de estas redes.

La figura 2 se muestra un mapa de correlación de 30 instituciones con mayor número de publicaciones, un mapa de correlación busca la coincidencia de palabras en un documento, en este caso busca la coincidencia del nombre de las instituciones en cada una de las publicaciones encontradas. El objetivo de este mapa es para conocer como es la colaboración entre estas instituciones.

Los nodos representan a cada una de las instituciones y el grosor de los vértices representan la relación que existen entre cada uno de los nodos⁷.

Los nodos más grande son la UNAM y el IPN lo que significa que estas instituciones tienen una mayor colaboración con otras instituciones

De acuerdo al mapa de correlación (Figura 28) la UNAM tiene una estrecha colaboración con el NREL, la Universidad de Colorado, la UAEM y el IMP. Mientras que el IPN tiene una buena colaboración con la Universidad de la Habana, la Universidad Pablo Olavide, la universidad de Osaka y la BUAP. Por otro lado hay una buena colaboración entre el IPICYT, la universidad Wake Forest y la UASL.

Un análisis más detallado de este mapa, puede ayudar a una institución a saber como contactar a otra institución con la cual tal vez necesite un intermediario.

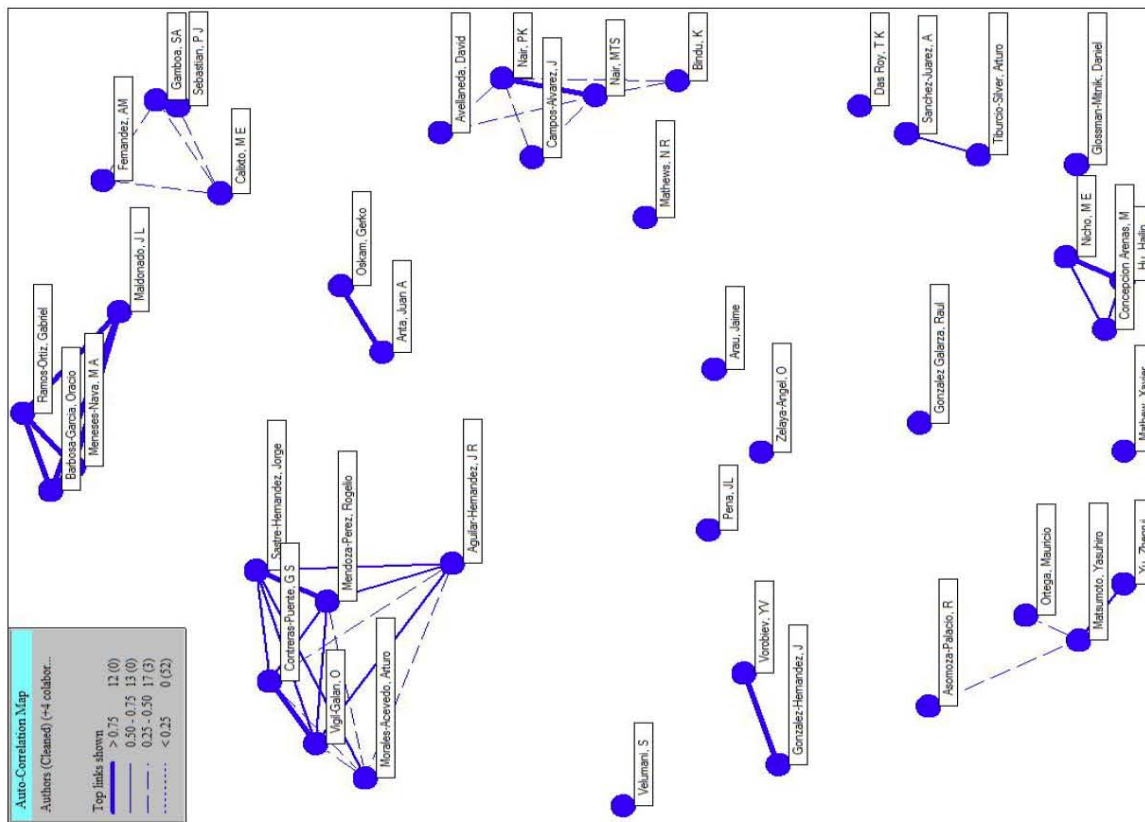
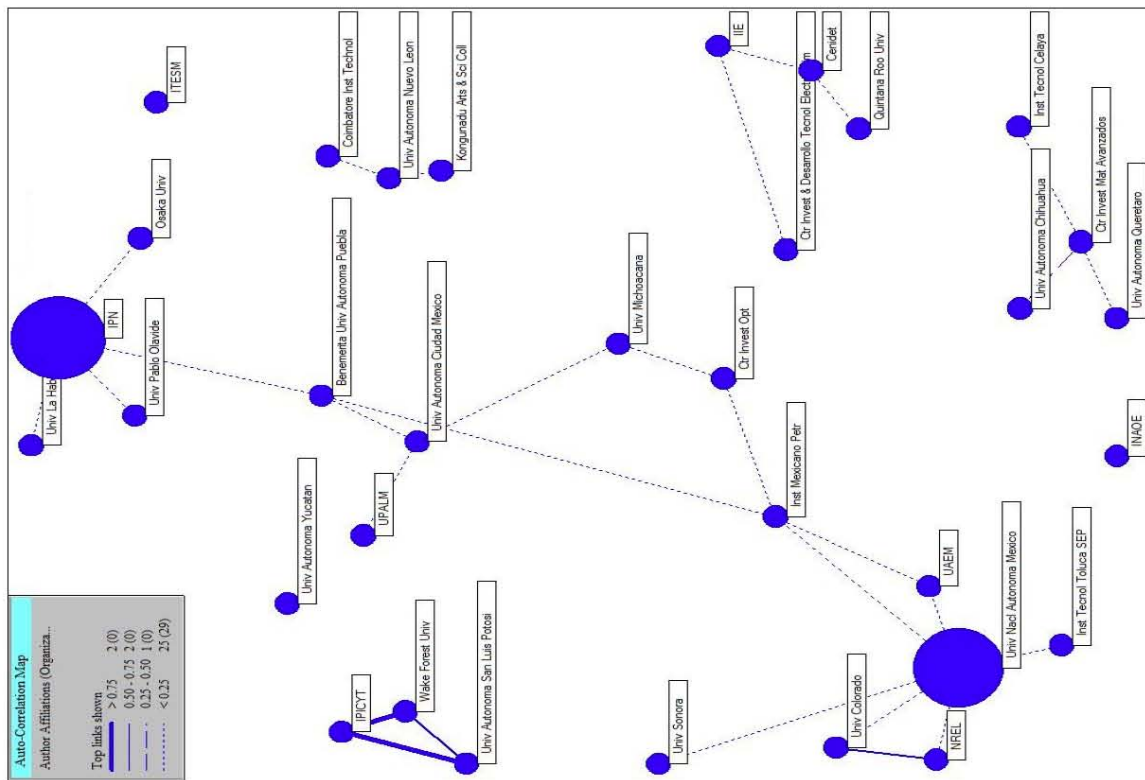
Redes de colaboración entre autores

Al igual que con la red de colaboración entre instituciones, a continuación se presenta el mapa de colaboración entre autores.

Esta figura permite darnos cuenta de los principales grupos de colaboración, que están trabajando en energía solar fotovoltaica. Al menos se pueden apreciar 6 grupos de investigación y desarrollo con 2 o más integrantes casi todos ellos de la UNAM y el IPN.

⁷ Las líneas de diferente grosor son una forma de representar el grado de colaboración, sin embargo el que algunas instituciones aparezcan aisladas, o que no cuentan con algunas ligas de colaboración, aunque se esté realizando, es por que esa colaboración podría no ser tan fuerte.

Figura 28. Redes de colaboración entre autores en México sobre solar FV



Artículos más citados

Por último se presentan los artículos más citados en la plataforma Web Of Science (Tabla 25. Publicaciones de México más citadas en WOS). Solo se describen las instituciones mexicanas y los autores de estas instituciones aunque la mayoría de los artículos han sido en colaboración con instituciones extranjeras.

Tabla 25. Publicaciones de México más citadas en WOS

	Nombre de la publicación	Veces citado	Institución*	Autores *
1	Meso-structure formation for enhanced organic photovoltaic cells	187	IPICYT, UASLP	Marisol Reyes-Reyes, Román López-Sandoval
2	Nitrogen-doped and CdSe quantum-dot-sensitized nanocrystalline TiO ₂ films for solar energy conversion applications	64	CIO, Univ Michoacana	Tzarara Lopez Luke , Elder De La Rosa
3	CdTe/CdS solar cells on flexible substrates	53	UNAM	Xavier Mathew
4	Deposition of smooth Cu(In,Ga)Se ₂ films from binary multilayers	46	UNAM	M.E Calixto
5	Gallium-doped ZnO thin films deposited by chemical spray	46	UNAM, IPN	H. Gomez, A. Maldonado. M. de la L. Olvera, D.R. Acosta
6	Antimony sulfide thin films in chemically deposited thin film photovoltaic cells	39	UNAM	Sarah Messina, M.T.S. Nair, P.K. Nair
7	Structural and chemical transformations in SnS thin films used in chemically deposited photovoltaic cells	39	UNAM	David Avellaneda, Guadalupe Delgado, M.T.S. Nair, P.K. Nair
8	Dye-sensitized SnO ₂ electrodes with iodide and pseudohalide redox mediators	33	IPN(CINVESTAV)	A. Marton.,Gerko Oskam
9	Thin film CdS/CdTe solar cells: Research perspectives	33	IPN(CINVESTAV)	Arturo Morales-Acevedo
10	Preparation and characterization of semiconducting Zn(1-x)Cd(x)Se thin films	30	UNAM, IMP	P.J. Sebastián
11	Reporting solar cell efficiencies in solar energy materials and solar cells	30	UNAM	Xavier Mathew

De estas publicaciones se observa que la mayoría son referentes a celdas solares FV de película delgada de segunda y tercera generación específicamente nuevos materiales y técnicas de deposición.

Patentes registradas en México

Para el análisis de las patentes se utilizó la misma fórmula de búsqueda utilizada para las publicaciones, pero para obtener las patentes que están registradas en México se incluyó la condición de que el número de patente empezara con el prefijo "MX", así obtendríamos las patentes que han solicitado su protección en este país.

La búsqueda se realizó del año 1963 al 2012 y se encontraron 69,291 patentes, de las cuales 405 patentes (0.58%) son las que se encontraron registradas en México, un número relativamente bajo (Tabla 26).

Tabla 26. País de prioridad de patentes registradas en México

	País de prioridad	Titular de patente	CIP	CIP (6 dígitos)
1	US (217)	SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE (32)	H01L(293)	H01L-031
2	CA (115)	FIRST SOLAR INC (16)	B32B (63)	H01L-21
3	KR (80)	UNIV PRINCETON (14)	C03C (40)	H02N-006
4	DE (61)	FORREST S (13)	C23C (40)	E04D-013

5	EP (45)	BAYER AG (12)	B05D (30)	H01L-051
6	FR (35)	GEBR SCHMID GMBH&CO (10)		H01L-025
7	CN (31)	KYOSEMI CORP (10)		
8	MX (28)	EBARA SOLAR INC (7)		
9	JP (26)	3M INNOVATIVE PROPERTIES CO (6)		
10	AU (24)	AKZO NOVEL N (6)		

País de prioridad de las patentes

El país de prioridad en una patente, es aquel en el que se ha realizado por primera vez la solicitud de la patente. Esto puede darnos una idea de cuales son los países más interesados en proteger sus patentes en México.

Como se puede observar en la tabla, de las 405 patentes encontradas solo 28 tienen como país de prioridad a México. El país que más patentes protegió en México fue EE. UU con 217 patentes, seguido por Canadá con 115 patentes y Corea con 80 patentes.

China y Japón países líderes en tecnología fotovoltaica solo registraron 31 y 26 patentes respectivamente, mientras que Alemania no está en esta lista.

Titulares de patentes

El titular de una patente, como su nombre lo dice es quien posee los derechos de la patente, y puede ser independiente o no del inventor, sin embargo la mayoría de patentes pertenecen a grandes empresas. De la lista de los 10 titulares con más patentes (tabla 16) 9 son compañías multinacionales, sin embargo, dentro de esta lista también se encuentra la Universidad de Princeton quien cuenta con 14 patentes protegidas en México.

Saint-Gobain Solar Glass

La compañía que cuenta con el mayor número de patentes es Saint-Gobain con 32 patentes encontradas, esta empresa ofrece vidrio extra-claro texturizado, y otros vidrios de valor agregado, a fabricantes mundiales de módulos fotovoltaicos (FV), así como espejos planos y curvos para la industria de Concentración de Potencia Solar (CPS).

First Solar

First Solar es fabricante de módulos solares de capa fina, con sede principal en EE.UU. y con plantas de producción en Alemania, Malasia y EE.UU. y proveedor de plantas fotovoltaicas a escala industrial. First Solar es el mayor fabricante de módulos solares a nivel mundial, con una capacidad de producción en el año 2011 superior a 2.4 Gigavatios (GW).

Universidad de Princeton

Es una de las principales universidades de los Estados Unidos, las patentes registradas por esta universidad referentes a solar fotovoltaica comparten derechos con Stephen Forrest (número 4 de la lista), quien pertenece al departamento de ingeniería eléctrica de la misma universidad.

Clasificación Internacional de Patentes

La clasificación internacional de patentes es realizada por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), esta clasificación es asignada a las patentes de acuerdo al tipo de tecnología y principios que utilice. Esto puede ayudar a entender que tipo de tecnologías son las que protegen los titulares de las patentes en México.

En la tabla 17 se puede observar que de las 405 patentes encontradas 293 tienen la clasificación H01L lo cual habla sobre el dispositivo solar FV en su conjunto, 63 patentes tienen la clasificación B32B la cual es característica de las patentes relacionadas con las celdas de película delgada. En tercer lugar tenemos 40 patentes con la clasificación C03C lo cual tiene que ver con el tratamiento del vidrio utilizado como material encapsulante.

Al hacer un análisis más del título de las patentes y su clasificación, podemos darnos cuenta de que Saint-Gobian Glass, está protegiendo la creación de nuevos materiales y tratamientos para sus vidrios, con el objetivo de que sean ultra claros y reflejen la menor cantidad de luz. Por otro lado First Solar está protegiendo la creación de sistemas completos de las celdas fotovoltaicas, dispositivos para la manufactura de las celdas y sistemas de pruebas para los módulos fotovoltaicos. La universidad de Princeton y Stephen Forrest de su departamento de ingeniería eléctrica están protegiendo métodos de producción y la modificación de celdas solares orgánicas. Bayer por otro lado protege materiales usados para los módulos fotovoltaicos, específicamente modificaciones al poliuretano. Como podemos ver cada uno está desarrollando tecnología en diferentes áreas de la energía fotovoltaica desde los materiales para su uso en los módulos hasta procesos de fabricación de celdas solares orgánicas.