



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES

DOCTORADO EN POLÍTICAS PÚBLICAS

**EL EFECTO DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL EN LOS FLUJOS
INTERNACIONALES DE CONOCIMIENTO DEL SECTOR SOLAR
FOTOVOLTAICO, 1976 – 2016**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORA EN POLÍTICAS PÚBLICAS**

PRESENTA:

GUADALUPE PALACIOS NÚÑEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JOSÉ CARLOS ALEJANDRO RODRÍGUEZ CHÁVEZ

CODIRECTOR DE TESIS:

DR. GABRIEL JAIME VÉLEZ CUARTAS

MORELIA, MICHOACÁN, MAYO DE 2017

Índice

Relación de tablas, gráficas, figuras y grafos.....	iv
Siglas y abreviaturas	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
Introducción	1
Capítulo 1. Problema de investigación y marco referencial	7
1.1. Planteamiento del problema	7
1.2. Preguntas de investigación	15
1.3. Objetivos de la investigación	15
1.4. Panorama internacional del sector solar fotovoltaico	15
1.4.1. Factores de desarrollo del sector solar fotovoltaico.....	25
Capítulo 2. Fundamentación teórica	33
2.1. Políticas de ciencia, tecnología e innovación.....	34
2.1.1. Racionalidades de las políticas de ciencia, tecnología e innovación	46
2.2. Fallos en el sistema de innovación para la producción y explotación del conocimiento	50
2.3. El análisis de la política de ciencia, tecnología e innovación desde las instituciones.....	60
2.4. Propiedad intelectual y dominio público: apropiación privada y social del conocimiento	63
2.4.1. Estructuras jurídico-políticas de la propiedad intelectual	72
2.5. Acceso a la ciencia y la tecnología en la economía del conocimiento, una mirada geopolítica.....	80

Capítulo 3. Metodología.....	91
3.1. Estrategia teórico-metodológica	92
3.2. Complejidad, redes y flujos de conocimiento en los sistemas de innovación	96
3.3. Hipótesis.....	103
3.4. Identificación de las variables y su operacionalización.....	104
3.5. Recolección y procesamiento de datos	106
3.6. Universo de estudio	112
Capítulo 4. Análisis de resultados.....	115
4.1. Ubicación estructural de la propiedad intelectual en la política de ciencia, tecnología e innovación	116
4.2. El efecto de la propiedad intelectual en los flujos internacionales de conocimiento del sector solar fotovoltaico	122
4.3. Estructuras internacionales de conocimiento del sector solar fotovoltaico: capacidades de innovación.....	159
Capítulo 5. Ejes estratégicos para una política pública de desarrollo del sector solar fotovoltaico.....	186
Conclusiones y recomendaciones	197
Bibliografía	201
Anexos	
Anexos 1. Ranking del total de citas entre e intra países para todo el periodo (1976-2016).....	216
Anexo 2. Ranking del total de citas entre e intra países antes del ADPIC (1976-1996).....	217
Anexo 3. Ranking del grado de entrada (izquierda) y de salida (derecha) de citas entre países antes del ADPIC (1976-1996).....	218
Anexo 4. Ranking del total de citas entre países después del ADPIC (1996-2016).....	219

Anexo 5. Ranking del grado de entrada de citas entre países después del ADPIC (1996-2016).	221
Anexo 6. Ranking del grado de salida de citas entre países después del ADPIC (1996-2016).	222
Anexo 7. Ranking del total de colaboraciones cognitivas entre y dentro de los países antes del ADPIC (1976-1996).	223
Anexo 8. Ranking del total de colaboraciones cognitivas entre y dentro de los países después del ADPIC (1996-2016).	224
Anexo 9. Citas históricas por año y países más citados (1944-2011).	226
Anexo 10. Total de citas por país históricamente (1944-2011).	227
Anexo 11. Citas por año y número de patentes (1955-2008).	228
Anexo 12. Número de patentes antes y después de TRIPS (1944-2011).	229
Anexo 13. Número de patentes por sector (1955-2008).	230
Anexo 14. Número de referencias a patentes y a otra literatura (1944-2008).	231
Anexo 15. Número de referencias a patentes por país (1944-2008).	232
Anexo 16. Número de referencias a otra literatura por país (1944-2008).	233

Relación de tablas, gráficas, figuras y grafos

Tablas

Tabla 1. Principales IPCs del sector solar fotovoltaico.....	112
Tabla 2. Principales CPC del sector solar fotovoltaico.	113
Tabla 3. Ranking del total de citas entre países (1976-2016).....	125
Tabla 4. Ranking del total de citas entre países antes del ADPIC (1976-1996).....	128
Tabla 5. Ranking del grado de entrada antes del ADPIC (1976-1996).....	130
Tabla 6. Ranking del grado de salida antes del ADPIC (1976-1996).	131
Tabla 7. Ranking del total de citas entre países después del ADPIC (1996-2016).....	133
Tabla 8. Ranking del grado de entrada después del ADPIC (1996-2016).	135
Tabla 9. Ranking del grado de salida después del ADPIC (1996-2016).....	136
Tabla 10. Colaboraciones cognitivas entre y dentro de los países en el sector solar fotovoltaico antes del ADPIC (1976-1996).....	139
Tabla 11. Colaboración cognitiva entre y dentro de los países en el sector solar fotovoltaico después del ADPIC (1996-2016).	141
Tabla 12. Ranking de cesionarios de patentes de celdas de silicio monocristalino.....	141
Tabla 13. Ranking de cesionarios de patentes de celdas de silicio policristalino.	142
Tabla 14. Ranking de cesionarios de patentes de celdas de película delgada.	143
Tabla 15 . Ranking de cesionarios de patentes de celdas orgánicas.....	143
Tabla 16. Ranking de cesionarios de patentes de celdas sensibilizadas por colorante.....	144
Tabla 17. Principales áreas de investigación de celdas de silicio policristalinas.	164
Tabla 18. Principales áreas de investigación científica en celdas de silicio monocristalinas.	165
Tabla 19. Ranking de países productores de artículos científicos.....	165
Tabla 20. IPCs que conforman las celdas de primera generación (1976-1992).	167
Tabla 21. Principales áreas de investigación científica en celdas de película delgada.	175
Tabla 22. Ranking de países productores de artículos científicos de FV de película delgada.	175
Tabla 23. IPCs que conforman las celdas de segunda generación (1993-2003).	177

Tabla 24. Principales áreas de investigación científica en celdas solares orgánicas y celdas sensibilizadas por colorante.....	179
Tabla 25. Ranking de países en áreas de investigación científica en celdas tercera generación.....	180
Tabla 28. IPCs que conforman las celdas de tercera generación (2004-2016).....	182

Gráficas

Gráfica 1. Frecuencia de palabras en los artículos científicos de WoS sobre propiedad intelectual (1994-2016).	94
Gráfica 2. Balance de pagos por el uso de propiedad intelectual en dólares (\$US).....	145
Gráfica 3. Balance de ingresos por el uso de propiedad intelectual en dólares (\$US).	146
Gráfica 4. Flujos de conocimiento internacionales en toda la historia del sector solar fotovoltaico (1955-2012).....	148
Gráfica 5. Flujos de conocimiento por país, antes y después del ADPIC.	149
Gráfica 6. Citas por país y por año (1945-2012).	150
Gráfica 7. Número de patentes antes y después del ADPIC (1945-2011).	151
Gráfica 8. Número de patentes a lo largo de toda la historia de la FV (1945-2012).....	153
Gráfica 9. Citas por año y número de patentes a lo largo de toda la historia de la FV (1945-2012).	155
Gráfica 10. Número de patentes por sector social (1944-2008).	160
Gráfica 11. Número de referencias a patentes y a otra literatura (1944-2008).	161
Gráfica 12. Número de colaboraciones entre la universidad y la industria (1894-2011).	162
Gráfica 13. Países con mayor número de colaboraciones entre la universidad y la industria (1894-2011).	163
Gráfica 14. Campo E04D13 tecnológico por país (1944-2008).....	168
Gráfica 15. Campo tecnológico H01L21 por país (1944-2008).....	169
Gráfica 16. Campo tecnológico H01L31 por país (1944-2008).....	170
Gráfica 17. Campo tecnológico H02N6 por país (1944-2008).	171
Gráfica 18. Campo tecnológico C30B15 por país (1944-2008).....	172
Gráfica 19. Campo tecnológico C30B28 por país (1944-2008).....	173
Gráfica 20. Campo tecnológico C30B29 por país (1944-2008).....	174

Gráfica 21. Campo tecnológico C23C14 por país (1944-2008).....	177
Gráfica 22. Campo tecnológico C23C16 por país (1944-2008).....	178
Gráfica 23. Campo tecnológico H01G9/028por país (1944-2008).	183
Gráfica 24. Campo tecnológico H01L51por país (1944-2008).....	183

Mapas

Mapa 1. Ubicación estructural de la propiedad intelectual en la política de ciencia, tecnología e innovación.	118
Mapa 2. Ejes estratégicos para una política pública de desarrollo del sector solar fotovoltaico.	187

Grafos

Grafo 1. Total de citas entre países en el sector solar fotovoltaico (1976-2016).	124
Grafo 2. Citas entre países en el sector solar fotovoltaico antes del ADPIC (1976-1996).	127
Grafo 3. Grado de entrada y salida de conocimiento de los países en FV antes del ADPIC (1976-1996).	129
Grafo 4. Citas entre países en el sector solar fotovoltaico después del ADPIC (1996-2016).	132
Grafo 5. Grado de entrada y salida de conocimiento de los países en FV después del ADPIC (1996-2016).	134
Grafo 6. Colaboración cognitiva entre países en el sector solar fotovoltaico antes del ADPIC (1976-1996).....	138
Grafo 7. Colaboración cognitiva entre países en el sector solar fotovoltaico después del ADPIC (1996-2016).	140
Grafo 8. IPCs que conforman las celdas de primera generación (1976-1992).....	166
Grafo 9. IPCs que conforman las celdas de segunda generación (1993-2003).	176
Grafo 10. IPCs que conforman las celdas de tercera generación (2004-2016).	181

Siglas y abreviaturas

ADPIC:	Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (en inglés TRIPS).
ARS:	Análisis de Redes Sociales.
CRADA:	Acuerdo de Investigación y Desarrollo Cooperativo (Cooperative Research and Development Agreement, CRADA).
CTI:	Ciencia, Tecnología e Innovación.
CyT:	Ciencia y Tecnología.
DPI:	Derechos de Propiedad Intelectual.
GATT:	General Agreement on Tariffs and Trade, por sus siglas en inglés o Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio, también se refiere a las reuniones periódicas de los estados miembros.
I+D:	Investigación y Desarrollo.
IED:	Inversión Extranjera Directa.
IES:	Instituciones de Educación Superior.
MIT:	Instituto Tecnológico de Massachusetts.
OMC:	Organización Mundial de Comercio.
OMPI:	Organización Mundial de la Propiedad Intelectual.
PI:	Propiedad Intelectual.
FV:	Energía Solar Fotovoltaica.
RAND:	La Corporación RAND (Research and Development) es un tanque de pensamiento (think tank) estadounidense que forma a las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos de América.
SNI:	Sistemas Nacionales de Innovación.
SPRU:	Science Policy Research Unit de la Universidad de Sussex, Inglaterra.

Resumen

Debido a que la innovación se ha globalizado, ha crecido la demanda de una gobernanza global del conocimiento. En materia de políticas públicas, la propiedad intelectual ha sido pionera en la extensión de un régimen institucional a nivel internacional a través del Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio. Con la firma de este acuerdo en 1994 se esperaba contar con un marco legal favorable para la innovación entre e intra países. Entre los efectos positivos esperados se encuentran el incremento en la producción de conocimiento, en los flujos de conocimiento y en las colaboraciones cognitivas. Esto como resultado de la confianza que brinda a los actores contar con normas homogéneas y el fortalecimiento de la protección de los derechos de propiedad intelectual en todos los países miembros de la OMC.

Esta investigación tiene como objetivo indagar si efectivamente ocurrieron tales incrementos en esas variables a raíz del cambio legislativo, analizando su comportamiento durante dos periodos: antes de la firma del acuerdo (1976-1996) y después de la firma del acuerdo (1996-2016). Dado que los efectos de la propiedad intelectual varían en cada sector tecnológico, se seleccionó el sector solar fotovoltaico por su relevancia para lograr la transición hacia la sustentabilidad energética. El estudio abarca a todos los países que poseen patentes en el sector, debido a que los flujos de conocimiento tiene una dinámica internacional y a que los efectos de la propiedad intelectual varían de acuerdo a las trayectorias tecnológicas y el nivel de desarrollo socioeconómico de los países, lo cual hace imperativo estudiar el fenómeno a nivel global.

Para tal fin se aplica una combinación de métodos del Análisis de Redes Sociales, la bibliometría y la estadística a un conjunto de datos de patentes extraídos de tres bases de datos: USPTO, PATSTAT y Derwent, cada una de las cuales ofrece información complementaria. Los resultados muestran que el cambio legislativo tuvo efectos favorables sólo para los países desarrollados con trayectorias tecnológicas que les permitieron incursionar en el sector. El resultado sugiere la necesidad de construir otras vías de innovación y creación de capacidades en los países en desarrollo.

PALABRAS CLAVE: ADPIC, ANALISIS, REDES SOCIALES, PATENTES, ECONOMIA, CONOCIMIENTO.

Abstract

Since innovation has become globalized, the demand for a global governance of knowledge has grown. In terms of public policies, intellectual property has been a pioneer in the extension of an institutional regime at the international level through the Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights. With the signing of this agreement in 1994, it was hoped to have a favorable legal framework for innovation between and within countries. Among the expected positive effects are the increase in knowledge production, in knowledge flows and in cognitive collaborations. All this as a result of the confidence that the actors get with the homogeneous standards and the strengthening of the protection of intellectual property rights in all the member countries of the WTO.

The aim of this research is to investigate whether such increases actually occurred in these variables as a result of the legislative change, analyzing their behavior over two periods: before the agreement was signed (1976-1996) and after the agreement was signed (1996-2016). Since the effects of intellectual property vary in each technology sector, the solar photovoltaic sector was selected because of its relevance to achieve the transition towards energy sustainability. The study covers all countries that have patents in the sector, since knowledge flows have an international dynamic and the effects of intellectual property vary according to the technological trajectories and the level of socioeconomic development of the countries, which makes it imperative to study the phenomenon at a global level.

To this end, a combination of methods of Social Network Analysis, bibliometrics and statistics is applied to a set of patent data extracted from three databases: USPTO, PATSTAT and Derwent, each of which provides complementary information. The results show that the legislative change had favorable effects only for the developed countries with technological trajectories that allowed them to penetrate the sector. The result suggests the need to build other avenues for innovation and capacity-building in developing countries.

Introducción

La economía del conocimiento se centra en la capacidad de innovar y crear valor más rápido con base en el conocimiento tecnológico, que ahora se reconoce como el factor estratégico del crecimiento económico. Los elementos clave para el desarrollo de los países en esta economía son la producción, difusión y uso intensivo de conocimiento (Choe et al., 2016; Wua & Mathews, 2012). Dado que la innovación se ha globalizado, ésta debe ser vista como el resultado de la sinergia y la dinámica del conocimiento a nivel mundial. La sinergia implica la colaboración entre los elementos del sistema, es decir, entre países y actores, lo cual permite integrar el conocimiento disperso, así como difundirlo y producir nuevo conocimiento. Estos elementos son la base de la innovación (Leydesdorff et al., 2015; Wang et al., 2014; Azagra-Caro & Consoli, 2014; Werner et al., 2013; Lei et al., 2013; Barberá, Jiménez & Castelló, 2011; Leydesdorff & Rafols, 2011).

La propiedad intelectual (PI) es una institución fundamental para la innovación, ya que es uno de los principales instrumentos de la política de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI), para regular la gestión del conocimiento y mediar las relaciones entre la universidad, la industria y el gobierno. Dado que el conocimiento se ha convertido en un insumo clave de la economía para la generación de riqueza, requiere de un control normativo o gobernanza, el cual se realiza a través de los regímenes institucionales de PI (Leydesdorff & Ivanova, 2016). Las instituciones de la innovación son de crucial importancia porque median los flujos de conocimiento tecnológicos, condicionando su producción, difusión y uso (Laranja et al., 2008).

El carácter global de la innovación ha hecho necesaria una gobernanza internacional del conocimiento o un marco legal común que facilite la colaboración entre países. En materia de políticas públicas, la PI ha sido pionera en la extensión de normas homogéneas a nivel mundial, a través del Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (ADPIC) (Montobbio, 2015). Sin embargo, existen fuertes críticas en relación a los procesos de inequidad y a las brechas más amplias entre países que ha generado la apropiación privada del conocimiento. Entre los estudios que aportan

evidencia empírica a favor y en contra de la PI se encuentra ampliamente analizado el sector biotecnológico, mostrando los beneficios y los costos para los países subdesarrollados, en desarrollo y desarrollados (Drahos, 2009; Guaran, 2009; Lall, 2003; Heller & Eisenberg, 1998; Merges, 2004). En un estudio más reciente, Montobbio (2015) analizó con un modelo de gravedad los efectos de la PI en los flujos de conocimiento de 13 países: el G-7 (EE.UU., Reino Unido, Japón, Italia, Alemania, Francia y Canadá) y un grupo de economías emergentes, el BRICSM (Brasil, Rusia, India, China, Sudáfrica y México). Su investigación se basa en las citas de patentes entre estos países, sin discriminar sectores, y en el número de co-inventores con diferente nacionalidad.

La presente investigación se distingue de estos trabajos en que delimita su objeto de estudio al sector solar fotovoltaico (FV) e incluye a todos los países del mundo que poseen alguna patente en el sector. Cambiar la muestra de estudio en materia de PI es importante porque ésta afecta de manera distinta a cada sector tecnológico, según el grado de dificultad en imitar o copiar la tecnología, el monto necesario del gasto en I+D y el nivel de desarrollo tecnológico de los países (Lall, 2003). Además, al no excluir países se puede obtener un panorama global del sistema de innovación y de la dinámica del conocimiento. La selección del sector FV se debe a que la energía es un sector estratégico de la economía y a su importancia para enfrentar los retos apremiantes que impone el cambio climático, los cuales demandan lograr la competitividad con las energías contaminantes.

Los estudios de innovación identifican como causantes de ésta a la producción de conocimiento, los flujos de conocimiento, la colaboración cognitiva, la colaboración económica, la capacidad de absorción, la capacidad de aprender, la estructura de financiamiento de la I+D, las políticas públicas y la configuración institucional (Lei et al., 2013; Wang et al., 2014; Barberá et al., 2011; Lall, 2003; Azagra-Caro & Consoli, 2014; Leydesdorff & Rafols, 2011; Wua & Mathews, 2012). Esta investigación se centra en el comportamiento de tres variables antes y después de la firma del ADPIC: producción de conocimiento, flujos de conocimiento y colaboraciones cognitivas.

El objetivo es determinar si después del fortalecimiento de los Derechos de Propiedad Intelectual (DPI) y su aplicación homogénea a nivel internacional a partir de 1994 estas variables se comportaron de manera favorable para la innovación, incrementando la producción y los flujos de conocimiento, así como las colaboraciones, ya que los países firmaron bajo el supuesto de que este sería el resultado (Drahoš, 2009; Montobbio, 2015; Lall, 2003; Kyungchul, Changseok, and Juneseuk, 2015). En otras palabras, se tiene como fin indagar si ha sido un buen instrumento de la gobernanza global del conocimiento.

El marco conceptual de referencia no obedece a una línea epistemológica pura, sino que más bien se auxilia de conceptos o instrumentos de análisis surgidos en diferentes matrices epistemológicas para poder interpretar los datos empíricos encontrados. Por ello, en el desarrollo de este trabajo se encuentran elementos de varias racionalidades de políticas de CTI, debido a que la práctica muestra que *"las ideas teóricas más influyentes en los círculos de política pueden ser precisamente las que ofrecen la mayor flexibilidad interpretativa"*¹ (Laranja et al., 2008, p. 825). Con miras a dotar de flexibilidad interpretativa a esta investigación se plantea un marco teórico-metodológico de carácter ecléctico y pragmático. Empero, el hecho de auxiliarse de un marco teórico ecléctico y pragmático no exime de la responsabilidad de rastrear las corrientes epistemológicas y las racionalidades subyacentes de cada afirmación, por lo cual éstas serán abordadas en el capítulo dos.

La mezcla de marcos conceptuales es posible debido a que en la realidad las lógicas subyacentes de las políticas de CTI se basan más en la búsqueda de resultados específicos que en la elección de una teoría con fundamentos neoclásicos o evolutivo/sistémicos. El conocimiento de las teorías, más que plantear una dicotomía, sólo dota a los hacedores de políticas de instrumentos orientativos y heurísticos en el diseño de políticas. Por ello, es frecuente y común encontrar en las políticas de CTI conceptos de dos teorías en aparente tensión. Lo único que varía en ellas son las combinaciones y aplicaciones, ya que sus fundamentos no son mutuamente excluyentes ni invalidan las concepciones de las otras racionalidades, más bien las incluyen para aumentar la variedad de posibles combinaciones

¹ "It is possible that the most influential theoretical ideas in policy circles may be precisely those which offer the greatest interpretative flexibility " (Laranja et al., 2008:825).

y, por ende, la complejidad (Laranja et al., 2008; Magro & Wilson, 2013). Cabe mencionar que el marco teórico-metodológico ha sido construido desde la multidisciplinaria, debido a que el tema contiene aristas que corresponden al campo de la economía, el derecho, la sociología, los estudios de innovación, las políticas públicas, la bibliometría, las redes y la ingeniería en tecnologías FV. Los instrumentos conceptuales que proveen estas disciplinas son aplicados a lo largo del desarrollo de este trabajo, dependiendo del tema en cuestión. El primer apartado está construido para abordar el problema de investigación de lo general a lo particular, por lo cual inicia planteando el fuerte cuestionamiento que hacen los investigadores respecto a la eficacia de la PI.

La evidencia empírica muestra que la PI tiene diferentes efectos en cada sector tecnológico. Sin embargo, el estado de la cuestión revela que no han sido realizados amplios estudios en cada sector tecnológico para determinar de qué manera son afectados y sugerir el régimen de PI más apropiado, considerando también su relevancia socioeconómica. En este sentido, dado que el objetivo de esta investigación es indagar en los efectos que tiene la PI en el sector solar FV, el subtema 1.4 describe el estado de la técnica, haciendo un breve recorrido histórico. El mismo apartado brinda un panorama mundial respecto a los mercados y a la PI. El capítulo uno cierra exponiendo los factores que inciden de manera positiva en el desarrollo del sector FV, según los estudios de caso de los diferentes países.

La segunda parte contiene el marco teórico, el cual ha sido desarrollado iniciando con el estado de la cuestión de las políticas de CTI. Este tema define que se está entendiendo por políticas de CTI, cuál es su quehacer y como han cambiado sus objetivos a lo largo de su historia. El recorrido histórico permite ubicar posteriormente la aparición de la PI como uno de los principales instrumentos de intervención y gobernanza del conocimiento. La lógica que sustenta el uso y fortalecimiento de la PI queda explícita en el tema "racionalidades de las políticas de ciencia, tecnología e innovación", el cual muestra que pese a la falta de métodos y conceptos homogéneos en las políticas de CTI todas comparten una gran preocupación por la producción y difusión de conocimiento como base de la innovación. El hecho de que todos los estudios de innovación coincidan en la relevancia de los flujos de conocimiento permite justificar su uso como una variable clave de esta investigación. El

siguiente tema "fallos en el sistema de innovación para la producción y explotación del conocimiento" (Gustafsson & Autio, 2011) tiene como fin tender un puente o establecer la relación de los flujos de conocimiento con las instituciones. Específicamente, desarrolla el vínculo teórico entre la lógica de fallos de sistema y la lógica de fallos de mercado con la institución que es la PI.

El siguiente tema, "análisis de las políticas públicas desde las instituciones", tiene como propósito reforzar la relevancia que tienen las instituciones en la política de CTI, exponiendo que éstas no sólo son un sistema de reglas, sino que contienen conocimiento organizado desde una variedad semántica que hace visible la comprensión de los actores del campo político, económico, administrativo, legal y técnico respecto a un tema de la agenda pública (Niinikoski & Moisander, 2014). Una vez establecida la relevancia de las instituciones en el tema, se procede a abordar la PI y el dominio público como instituciones que posibilitan la apropiación privada y social del conocimiento. Para clarificar los mecanismos a través de los cuales esto es posible se desarrolla el subtema "estructuras jurídico-políticas de la propiedad intelectual".

Después de hacer visibles los soportes jurídicos y materiales de la apropiación, acceso difusión y uso del conocimiento se contextualizan las implicaciones a nivel global en el tema "acceso a la ciencia y la tecnología en la economía del conocimiento, una mirada geopolítica". Este tema muestra las desventajas que tiene la PI y los modelos imitativos de CTI en los países en desarrollo y sugiere explorar otras vías. El capítulo tres expone la metodología e instrumentos que se utilizaron para determinar el efecto del ADPIC en la producción y flujos de conocimiento, así como en las colaboraciones cognitivas. El análisis de redes sociales combinado con la bibliometría y la estadística posibilitan comprobar la hipótesis, la cual plantea que el ADPIC sólo tuvo un efecto favorable los países desarrollados.

El capítulo tres también contiene el subtema de "complejidad, redes y flujos de conocimiento en los sistemas de innovación", el cual tiene como fin servir como el eje integrador de un marco teórico-metodológico construido desde la multidisciplinaria y hacer

una invitación al pensamiento complejo en las políticas públicas. Debido a que la complejidad es un vasto campo de estudio y no es posible abordar aquí todo su quehacer, el apartado se enfoca en los sistemas complejos vistos desde la ciencia de las redes, que es un enfoque estructural adecuado para abordar las relaciones entre países, sus posiciones y atributos.

El capítulo cuatro inicia con una revisión de los componentes de la política de CTI para posibilitar la ubicación de la PI en la estructura teórica de las políticas, con el fin de brindar elemento para indagar en los resultados de la adopción de esas políticas. Después, se muestran los resultados del análisis del comportamiento de las variables a través de los grafos de los flujos de conocimiento de la energía solar fotovoltaica antes y después del cambio legislativo que se dio con la firma del ADPIC. Los grafos se complementan con el análisis estadístico y bibliométrico de datos de patentes tomados de diversas fuentes (USPTO, PATSTAT y DERWENT). El subtema "estructuras internacionales de conocimiento del sector solar fotovoltaico: capacidades de innovación" ayuda a comprender las posiciones estructurales de los países como resultado de sus trayectorias tecnológicas.

Finalmente, el capítulo cinco llamado "ejes estratégicos para una política pública de desarrollo del sector solar fotovoltaico", presenta una propuesta de las líneas de acción que deberían orientar las políticas públicas de los países en desarrollo, ya que éstos son los más desfavorecidos con las medidas de la gobernanza global actual del conocimiento. El apartado integra evidencia empírica de otros estudios que exploran formas novedosas de gestionar el conocimiento y lograr la innovación. Los ejes estratégicos, más que ser lineamientos prescriptivos, son una invitación a pensar otras vías de innovación y otra gobernanza global del conocimiento para el desarrollo de un sector de crucial importancia para la sociedad.

Capítulo 1. Problema de investigación y marco referencial

Este apartado inicia con el planteamiento del problema de investigación yendo de lo general a lo particular. Por ello, comienza con una aproximación general al tema de los DPI, abordando el debate en torno a la apropiación privada del conocimiento. Después se revisan las posibles repercusiones de los DPI en el avance de la ciencia, la tecnología y la innovación, para posteriormente enfocar el problema de investigación en el fortalecimiento de los DPI a nivel mundial, a partir de la firma del ADPIC en 1994, y su aplicación homogénea en todos los países sin considerar las diferencias en el nivel de desarrollo, los sectores tecnológicos y las estructuras de los mercados.

Dado que el estado de la cuestión hace énfasis en los efectos diferenciados de los DPI en cada sector, se propone analizar los efectos del ADPIC en un sector tecnológico emergente: la FV, ya que la transición hacia las energías renovables es apremiante y el sector energético es estratégico para la economía en su conjunto. El apartado 1.4 brinda un panorama mundial del sector FV, las posiciones de los países en el mercado, el estado de la técnica, los factores que ha incidido en el desarrollo del sector y los desafíos económicos, sociales, políticos, tecnológicos y de regulación a los que se enfrenta la FV. La revisión de estas aristas permitirá identificar posteriormente las divergencias tecnológicas entre países y las posibles causas de las posiciones estructurales de los mismos.

1.1. Planteamiento del problema

Desde la década de los ochenta se hizo evidente el vínculo entre los sistemas de innovación y los niveles de desarrollo económico de los Estado-Nación, por lo cual han proliferado los estudios tendientes a mejorar el desempeño en la innovación de las economías nacionales. Los investigadores concordaron en que invertir mayores recursos en I+D era la clave del éxito, por tratarse del proceso que da origen a la innovación. Así mismo, cobró relevancia la idea de que las políticas de innovación adoptadas por los gobiernos ocasionaban diferentes niveles de competitividad entre la naciones, junto a su configuración

institucional, las posiciones históricas de los países, la infraestructura y el desempeño del sistema de innovación (Gustafsson & Autio, 2011; Kanwar & Evenson, 2003; Albornoz, 1997). Respecto a la configuración institucional, a nivel mundial se hizo especial énfasis en el fortalecimiento de los DPI como condición esencial para impulsar la innovación, ya que se partía del supuesto de que esto estimularía la producción y la explotación del conocimiento. Esto se tradujo en mayores nivel de protección legal para resguardar los DPI y en la aplicación de políticas más severas en sus dos subsistemas: los derechos de autor y la propiedad industrial. El argumento toral del régimen de PI es que es necesario recompensar el esfuerzo del creador y conceder un monopolio o derecho exclusivo de explotación para estimular la inversión en I+D, durante el tiempo necesario para recuperar la inversión, obtener una ganancia legítima, recompensar los riesgos tomados (Jalife, 2012; Schmitz, 2009; Kanwar & Evenson, 2003).

Este argumento, respaldado jurídicamente y legitimado socialmente, está siendo cuestionado por la falta de evidencia empírica que demuestre que realmente contribuye al avance económico, social, científico, tecnológico y de la innovación (Kanwar & Evenson, 2003; Kinsella, 2001; Evenson, 1990). Pero sobre todo, se encuentra en tela de juicio si realmente esta institución es justa para la sociedad en su conjunto (Guaran, 2009; Kinsella, 2001), ya que la PI actúa contra la ley anti-monopolios al instaurar "*derechos exclusivos de explotación de las innovaciones a una sola persona concediendo una ventaja inusual y desmedida para imponer condiciones en el mercado, en claro detrimento de otros agentes competidores e incluso del público consumidor*" (Jalife, 2012, p.6).

La tendencia mundial hacia el fortalecimiento de la PI inició en 1994, en la ronda de Uruguay, a través de la firma del ADPIC. El acuerdo, que en apariencia promovía las negociaciones comerciales multilaterales basadas en el libre mercado, exige a los Estados miembros que establezcan estructuras legales y administrativas para la implementación de los privilegios monopolísticos que otorga la PI. Esta institución es fundamental para la política de CTI, ya que contiene las normas que regulan la gestión y apropiación del conocimiento, instaurando el derecho a la propiedad privada de lo que es por su naturaleza un bien público (Drahos, 2009; Kanwar & Evenson, 2003).

El derecho de propiedad fue creado para regular la distribución de los bienes tangibles escasos, cuyo uso o consumo podía generar conflictos sociales. Su función social fundamental ha sido evitar conflictos interpersonales sobre recursos escasos a través del establecimiento de límites objetivos de la propiedad individual. Por ende, los derechos de propiedad no deben aplicarse a bienes públicos que son infinitamente abundantes, no rivales y no excluyentes en su uso o consumo. Además, la PI aplicada a objetos ideales o intangibles como lo es el conocimiento viola el derecho de propiedad de otros, porque no hay límites claros sobre la creación de una idea. Esto no sólo impide el goce de un bien público, sino que crea escasez artificial (Kinsella, 2001).

Al respecto, los juristas promotores de la PI argumentan desde el enfoque de los derechos naturales que las ideas deben protegerse porque son creaciones producto del esfuerzo de la mente de un hombre, es decir, son trabajo productivo (Kanwar & Evenson, 2003; Gallini & Scotchmer, 2002). Sin embargo, esta postura olvida que nadie construye desde cero, toda creación es resultado de combinar ideas o agregar sobre las ideas previas de otros, lo cual implica la violación de su derecho de propiedad intelectual. Esto muestra que la PI contiene una gran contradicción, que limita el derecho de los demás a su propiedad y genera una distribución injusta de los beneficios de este recurso (Kinsella, 2001).

Aunado a lo anterior, el sistema jurídico de la propiedad intelectual adolece de un reconocimiento y regulación apropiada del dominio público. El dominio público dentro de la ley de PI sólo está conformado por ciertas exclusiones, excepciones o limitaciones de las ideas que no son susceptibles de ser apropiadas y por los DPI cuyo periodo de protección ha expirado. En este marco, el dominio público es reducido a un espacio residual o a una dimensión negativa de la IP por considerar que la sociedad se beneficia de él haciendo uso pasivo del conocimiento. El descuido no es menor, porque el conocimiento beneficia a la sociedad en su conjunto, ya que es un recurso esencial para la producción de bienestar socioeconómico en la economía basada en el conocimiento. Su privatización limita la solución de problemas apremiantes, así como el avance de la ciencia, la tecnología y la innovación (CTI) al impedir el acceso libre al estado de la técnica de los investigadores, educadores, empresas y usuarios (Schmitz, 2009). La importancia de reconocer el dominio

público radica en que la actividad inventiva no es un hecho aislado y tampoco lo es la innovación, la cual no se limita a la invención, sino que es un proceso continuo de aprendizaje social no lineal, que envuelve múltiples interacciones entre actores e instituciones dentro de un sistema socioeconómico (Rodríguez & Navarro, 2014). El conocimiento necesario para este proceso se encuentra embebido en más de un sector del social, por lo tanto, es resultado del esfuerzos mental colectivo. Sin embargo, al privatizarse el conocimiento se tiene que pagar por acceder a éste y la innovación se vuelve un proceso costoso. Considerar la extensión del dominio público es fundamental para el avance de la CTI en sectores cruciales, porque en él se crean igualdad de oportunidades para todos los miembros de la aldea global, especialmente para los sectores más vulnerables (Trosow et al., 2012; Schmitz, 2009; Jackson, 2003).

Los argumentos a favor de la PI señalan que el sistema de patentes no impide la difusión del conocimiento, sino que contribuye a esta a través de la obligación jurídica de suministrar una descripción detallada de la invención, promoviendo la divulgación pública al momento de publicarse las solicitudes de patentes (Jalife, 2012; Jackson, 2003). Sin embargo, este conocimiento no puede utilizarse en forma libre por terceros, porque su uso requiere el pago de licencias o regalías. Los países en desarrollo, dado que son importadores netos de conocimiento, enfrentan costos infranqueables para resolver problemas básicos y garantizar los derechos humanos a la salud, la educación, la comida, etc. (Drahos, 2009; Guaran, 2009).

Dado que el ADPIC está respaldado por la Organización Mundial del Comercio (OMC) para garantizar su ejecución, el incumplimiento del pago de regalías implica sanciones comerciales. Esto imposibilita incluso comercializar las invenciones propias si éstas se basan en otras patentes preexistentes, lo cual se ha convertido en un problema para el avance de la innovación, la ciencia y la tecnología en los países desarrollados y en vías de desarrollo. Este fenómeno es ocasionado por una red interminable entre titulares de patentes (patent thicket)², convirtiéndose en una maraña generadora de costos e

² Patent thicket es una densa red de superposición de derechos de propiedad intelectual. En otras palabras, es un conjunto imbricado de derechos de patente, que requieren los innovadores para llegar a acuerdos de licencia de patentes de múltiples fuentes (Shapiro, 2001).

ineficiencias económicas, que frenan las innovaciones incrementales (Trosow et al., 2012; Schmitz, 2009; Shapiro, 2001). El encarecimiento del proceso inventivo por el pago de regalías y el hecho de que la PI no garantice el éxito comercial de las invenciones hace de la innovación un proceso muy costo, arriesgado y largo (Bozeman, 2000). Sin embargo, esta institución prevalece y se ha fortalecido, pese a que no existe evidencia empírica contundente que demuestre que realmente estimule la innovación o que los beneficios superen los enorme costo. Por ello, han surgido planteamientos muy serios respecto a que la innovación se impulsaría más si no hubiera patentes que confieren monopolios de 20 años, ya que aumentaría la competencia y el dinero del costoso sistema legal se iría a la I+D (Kanwar & Evenson, 2003; Kinsella, 2001; Evenson,1990).

De hecho, existe evidencia empírica que demuestra el efecto negativo de la PI sobre la productividad y las innovaciones incrementales. Por ejemplo, en los últimos 30 años se ha cuadruplicado el número de patentes concedidas en Estado Unidos. Sin embargo, según las estadísticas de la Oficina de Trabajo, el crecimiento anual de la productividad de la década de 1970 (1.2%) cayó por debajo del 1% en la década de los ochenta. Otro estudio que abona a esta afirmación es el de la historia del desarrollo de la máquina de vapor. Durante los 31 años que duró la patente de Watt (1769-1800) no hubo ningún desarrollo de ésta y su desempeño fue de 18 a 30 M£. Después de que la patente expiró, de 1801 a 1852 el desempeño fue de 30 a 110M£ (Nuvolari, 2004).

También existe evidencia empírica contra el argumento de que las patentes incentivan la actividad inventiva al asegurar un beneficios económico al inventor. Los datos muestran que los principales creadores de valor se encuentran en las IES públicas o los laboratorios gubernamentales y no son incentivados por la expectativa de un retorno de la inversión, ya que sólo dedican sólo el 2% de sus actividades a la producción de patentes y licencias. De hecho, su sistema de incentivos está ampliamente basado en la publicación de los resultados de sus investigaciones científicas, no en actividades comerciales (Bozeman & Gaughan, 2007). Dado que la mayor parte del gasto en I+D es aportada por los gobiernos y el sector industrial aporta una parte ínfima de éste, están emergiendo propuestas para concebir al Estado como emprendedor. Esto implica dejar de dotarlo de un rol pasivo en el proceso de

innovación, reducido a la creación de condiciones institucionales para garantizar la innovación o como reparador de los fallos de mercado. La iniciativa privada no es la única que incide en la oferta y la demanda de tecnología, también el Estado ejerce influencia atendiendo demandas sociales, llevando los mayores riesgos de financiamiento en áreas donde el sector privado no se atreve, y lo hace sin ningún retorno directo de la inversión (Bozeman & Gaughan, 2007; Mazzucato, 2013).

Aunque el Estado contribuye de manera activa y dinámica a la producción de conocimiento, los mecanismos de la IP actúan para que el sector privado sea el que se apropia de los beneficios del uso comercial de las invenciones, que son el resultado de las investigaciones financiadas con fondos públicos. De esta manera, se han socializado los riesgos de la innovación, pero se han privatizado los beneficios. Esta inadecuada relación riesgo-retorno de la inversión ésta dejando al Estado sin fondos para financiar la I+D e impulsar el avance de la ciencia y la tecnología (Mazzucato, 2013).

El Estado ha sido mucho más que un reparador de fallos de mercado, ha sido un "formador de mercados" de tecnología (Bozeman, 2000). Aun así, la mirada reduccionista del proceso de innovación considera que el sector privado es el actor principal y que al Estado sólo le corresponde generar una configuración institucional adecuada para la transferencia de conocimiento y el respeto a los DPI (Kanwar & Evenson, 2003). Dado que las regulaciones públicas en materia de PI afectan fuertemente la transferencia del conocimiento y el avance tecnológico, se debe indagar profundamente sobre sus efectos en cada sector tecnológico (Trosow et al., 2012; Guaran, 2009; Drahos, 2009).

No se trata de desaparecer la PI, que ha mostrado ser un instrumento estratégico de competencia favorable para algunos actores e industrias, sino de cuidar que los costos no superen los beneficios. Los regímenes de propiedad intelectual pobremente diseñados pueden reducir el acceso a la tecnología, conducir a menor eficiencia económica y hacer más lento el avance de la innovación, porque este mecanismo se basa en la ineficiente restricción del uso del conocimiento. El monopolio concedido sin duda conduce a inequidades por la concentración de las rentas y a mayores distorsiones en la asignación de

recursos. El hecho de impedir la diseminación y uso de conocimiento no sólo afecta de manera negativa las innovaciones incrementales, es decir, a las investigaciones basadas en otras innovaciones, sino que puede impedir resolver problemas sociales de grandes proporciones (Stiglitz, 2010; Drahos, 2003; Jackson, 2003).

El régimen de PI actual adolece de una falta de equidad de las normas para la distribución de los beneficios de la exploración y explotación del conocimiento, ya que se encuentra excesivamente orientado a los intereses económicos del sector privado. Esto no sólo afecta el desarrollo al interior de los países, sino que también favorece el desarrollo desigual y la dependencia tecnológica entre naciones, porque las patentes en la mayoría de los casos son de empresas multinacionales de países económicamente desarrollados (Guaran, 2009; Drahos, 2009).

En este contexto, se considera que es crucial un rediseño de la PI, con el fin de obtener resultados más justos para la sociedad en su conjunto. No es posible que una institución tan antigua y obsoleta como lo es el IP siga sin cambiar ante el continuo desarrollo de las tecnologías informáticas y de telecomunicaciones (TIC). Además, se está tratando al conocimiento como un bien tangible, cuya apropiación privada se justifica desde la teoría económica por tratarse de bienes escasos para asignarlos de forma eficiente. Empero, este no es el caso del conocimiento, que se encuentra disponible en abundancia. Este tratamiento incluso va en contra de los postulados económicos que rechazan la creación artificial de escasez y los monopolios temporales (Kinsella, 2001; Schmitz, 2009).

El problema de la escases artificial del conocimiento a través de la PI es de relevancia mundial, dado que la innovación se ha globalizado y en la era de la economía basada en el conocimiento (EBC) "la riqueza se genera a través de la creación, producción, distribución y consumo de conocimiento" (Harris, 2001, p.22). Esto implica que a nivel global las naciones más ricas son las que poseen economías del conocimiento (Thurow, 2000) y, por lo tanto, la PI favorece en ellas la gestión adecuada de la producción, difusión y uso de conocimiento, pero amplía la brecha tecnológica de los países en desarrollo que son importadores de bienes intensivos en conocimiento (Forero-Pineda & Jaramillo-Salazar,

2002). Pese a las grandes brechas tecnológicas, los países en desarrollo firmaron el ADPIC esperando un impacto positivo, ya que esto aumentaría la confianza de las empresas transnacionales para realizar inversión extranjera directa (IED), aplicando y desarrollando tecnologías. Esto facilitaría la transferencia de conocimiento, el aprendizaje, la construcción de capacidades tecnológicas nacionales y la absorción del conocimiento extranjero. Así mismo, con el fortalecimiento de la PI se esperaba un aumento global de la innovación y de las colaboraciones internacionales en I+D entre países desarrollados y en desarrollo, afectando de manera positiva los flujos internacionales de conocimiento (Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015).

El estado de la cuestión respecto a los efectos positivos y negativos de los DPI muestra que estos varían dependiendo del nivel de desarrollo tecnológico de los países, el sector tecnológico, la estructura de mercado, el grado de dificultad para imitar la tecnología, el gasto necesario en I+D y el tamaño de las firmas. En general, los estudios basan sus análisis en el comportamiento y correlación de varios indicadores económicos (PIB, IED, inversión en I+D, número de patentes, citas o flujos de conocimiento, importaciones y exportaciones de alta tecnología, u otros factores clave de crecimiento). Los sectores tecnológicos más estudiados han sido el biotecnológico, la industria farmacéutica y el software (Lall, 2003; Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015; Kyungchul et al., 2015).

El hecho de que el fortalecimiento de los DPI tenga efectos diferidos plantea la necesidad de indagar en ellos por cada sector tecnológico, ya que algunos sectores son más sensibles a éstos. Así mismo, es menester analizar el efecto mundial o entre países, dado que la innovación se ha globalizado. En este marco, la presente investigación tiene como fin estudiar el efecto del fortalecimiento de los DPI en tres variables clave, que se suponía debían verse favorecidas con la firma del ADPIC: la producción de conocimiento, los flujos de conocimiento y las colaboraciones. El sector tecnológico que se analiza es el sector solar fotovoltaico, ya que el sector energético es estratégico en toda economía. Además, el agotamiento de los recursos fósiles y los restos que plantea el cambio climático lo dotan de especial relevancia para la transición hacia una matriz energética sostenible (Dafermos et al., 2015).

1.2. Preguntas de investigación

Pregunta general

¿Cuál fue el efecto de la propiedad intelectual en los flujos internacionales de conocimiento del sector solar fotovoltaico antes (1976-1996) y después de la firma del ADPIC (1996-2016)?

Preguntas específicas

a) ¿Cuál fue el efecto del ADPIC en la producción internacional de conocimiento del sector solar fotovoltaico?

b) ¿Cuál fue el efecto del ADPIC en las colaboraciones cognitivas dentro y entre los países?

1.3. Objetivos de la investigación

Objetivo general

Indagar cual fue el efecto de la propiedad intelectual en los flujos internacionales de conocimiento del sector solar fotovoltaico antes y después de la firma del ADPIC.

Objetivos específicos

a) Analizar cuál fue el efecto del ADPIC en la producción internacional de conocimiento del sector solar fotovoltaico.

b) Determinar cuál fue el efecto del ADPIC en las colaboraciones cognitivas dentro y entre los países.

1.4. Panorama internacional del sector solar fotovoltaico

El desarrollo de las tecnologías para la producción de energía FV se ha vuelto crucial por la apremiante necesidad de la reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero, lo cual aparece en las agendas gubernamentales de todo el mundo. Los problemas planteados por el cambio climático y el aumento del dióxido de carbono (CO₂) no es el

único motivo para incentivar la innovación mundial del sector, también lo son el acceso global a la energía y el desarrollo sostenible. Los retos que presenta el sector son lograr el descenso en los costos para competir con las fuentes de energía convencional, así como mejorar la eficiencia de los módulos, la escalabilidad, el rendimiento, la manufactura, el procesamiento de potencia, la vida útil y la capacidad de almacenamiento, lo cual se puede conseguir acelerando las innovaciones (Buitenhuis & Pearce, 2012).

A la industria FV la caracteriza su rápido crecimiento mundial. Entre el 2000 y el 2011 la capacidad instalada tuvo un crecimiento promedio de 57% anual y es considerada la alternativa más viable para enfrentar los retos que impone el cambio climático (Newfield, 2013). Esto se debe a que la FV consiste en la conversión directa de la luz solar en electricidad y es la fuente de energía más abundante (1.8×10^6 MW), inagotable y limpia. La tecnología se compone en general de paneles que contienen materiales de absorción de fotones y generación de electrones, para convertir la luz en electricidad a través del efecto fotovoltaico. El sistema también contiene conexiones mecánicas y eléctricas, así como medios de regulación, que se insertan en redes de uso doméstico (kWp) o en centrales eléctricas (GWp) (Parida, Iniyar, & Goic, 2011). Sin embargo, por su propia naturaleza, las plantas de FV no proporcionan un nivel estable y consistente de producción, por lo cual el sector debe desarrollar su capacidad de almacenamiento y eficiencia (Gordon, 2015).

El sector FV es intensivo en tecnología y, por ende, contiene alto valor agregado y muchas barreras de entrada, siendo la eficiencia en la conversión de energía la clave de la competitividad. La industria FV se divide básicamente en dos segmentos que conforman la cadena de suministro. Uno es el de manufactura de materiales y fabricación de productos, el cual incluye actividades de exploración y producción (*upstream*). El otro segmento es el de instalación de sistemas, el cual incluye operaciones y mantenimiento, es altamente competitivo, intensivo en mano de obra y de bajo valor agregado (*downstream*). De acuerdo a los materiales utilizados, las celdas solares se clasifican en celdas de silicio cristalino, de película delgada y orgánicas, cada una de las cuales conforma una generación de celdas (Choe et al., 2016).

Se pueden detectar tres periodos en el desarrollo internacional de la industria FV, los cuales son precedidos por una etapa embrionaria de la tecnología a mediados de los años cuarenta con la invención de la celda de silicio por el norteamericano Russell Ohl (1946). Aunque el efecto fotovoltaico fue descubierto en 1839 por Becquerel, el descubrimiento de Russell fue la base para que poco tiempo después, en los laboratorios Bell (1954), Chapin, Pearson y Fuller encontraran que el silicio con algunas impurezas era muy sensitivo a la luz e inventaran la primera celda solar fotovoltaica práctica con una eficiencia del 6%. Esta tecnología fue utilizada posteriormente en los dos primeros satélites geoestacionarios de la entonces Unión Soviética y Estados Unidos, cuando la carrera espacial y la crisis energética condujeron a lo que podría considerarse el primero periodo del sector FV (Razykov et al., 2001).

En 1970, en la Unión Soviética, Zhore Alferov y su equipo de investigación desarrollaron la primera celda solar con heteroestructura de arseniuro de galio (GaAs), pero no se usó para fines comerciales. Fueron empresas estadounidenses las que se dedicaron a la comercialización desde los desarrollos logrados en su propia nación a partir de la década del cincuenta. Sin embargo, los retornos de la inversión en el sector no justificaban el gasto, pues la energía eléctrica procedente del carbón, así como la hidráulica y la nuclear eran más económicas, por lo cual los emprendimientos fracasaron. El segundo periodo comienza en la década de 1990 y se caracteriza por la colaboración transatlántica y la competencia entre Europa y Estados Unidos (Leydesdorff, 2015).

Aunque el crecimiento de la industria FV comenzó en la década de los ochenta, fue a partir de 1990 que se dio una rápida expansión, pasando de producir 46 megavatios (MW, equivalente a 106W) a 23 gigavatios (GW, 109W), es decir, aumentó más de 500 veces su producción. Así mismo, logró un costo de producción de 0.65 dólares por vatio, disminuyendo el precio 75% en menos de 10 años y haciendo la energía solar más competitiva, lo cual depende del costo total de la manufactura del módulo por área cuadrada y la eficiencia de conversión. El tercer periodo comienza en el 2004 y es considerado como la fase comercial o maduración de las celdas de primera generación, la cual se caracteriza por la colaboración entre la industria nipona y la americana, así como

por la colaboración dentro de Europa (Leydesdorff & Rafols, 2011; Razykov et al., 2001; Leydesdorff, 2015)³. Las celdas de primera generación (1G) son de silicio mono-cristalino y poli-cristalino, las cuales tienen un costo de producción de 1.5 dólares por vatio y son la opción más viable para aplicaciones terrestre. Con una trayectoria de desarrollo de más de cincuenta años, han dominado el mercado por su costo, su eficiencia entre 12-18%, su largo periodo de vida de 25 años y su diseño para grandes áreas. El silicio cristalino (c-Si) es el material semiconductor más utilizado en la FV para la producción de celdas solares comerciales. Sin embargo, es un material escaso y caro, su producción consume gran cantidad de energía y su utilización como materia prima compite con la industria microelectrónica. Además, casi el 50% del precio de un módulo se conforma por el costo de las obleas de silicio. Aunque la técnica “String Ribbon” de Emanuel Sachs (MIT), en 1980, permitió la fabricación en continuo de delgadas cintas de obleas policristalinas, sin deshechos y bajando los costos del corte de lingotes de silicio, el costo de producción aun no es competitivo (Castonguay, 2009; Singh, Alapatt, & Lakhtakia, 2013).

El objetivo de conseguir celdas más eficientes, de menor volumen, a menor costo y que permitan la producción a gran escala, ha estimulado que continúen las investigaciones sobre el silicio y materiales alternativos. Entre estos desarrollos se encuentran las celdas de película delgada o de segunda generación (2G) con capas de materiales semiconductores compuestas de cobre, indio, galio y selenio (CIGS) aplicadas sobre un soporte sólido. Entre sus variedades se encuentran las celdas de carburo de silicio amorfo (a-SiC), el germanio de silicio amorfo (a-SiGe), el silicio micro-cristalino (μ c-Si), el nitruro de silicio amorfo (a-SiN), el telurio de cadmio (CdTe), el sulfuro de cadmio (CdS), arseniuro de galio (GaAs) y el CuInSe_2 . Su costo de producción es de 0.76 dólares por vatio, con una eficiencia de 17.5% en laboratorios y una eficiencia real de 11-13.7%. Su costo de producción es menor que el de las obleas de silicio porque requieren menos material semiconductor y permite un amplio rango de aplicaciones en la industria de la construcción (Parida, Iniyani, & Goic, 2011).

³ Los datos de los artículos citados fueron complementada con la información disponible en: <http://www.energiza.org/solar-fotovoltaica/22-solar-fotovoltaica/624-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica>

Las diferentes celdas de película delgada han logrado avances tecnológicos notables en comparación con las celdas de silicio 1G. Empero, sólo se comercializan las celdas de a-Si y el resto de las variedades no ha podido consolidarse debido a que aun no se ha logrado bajar el costo de producción, no se han superado los desafíos térmicos y ópticos, no son funcionalmente fiables, las cadenas de suministro no son robustas, su periodo de vida es corto (de 3-4 años) y las celdas de CdTe son altamente tóxicas para el ambiente y la salud. Todo esto, aunado al escaso financiamiento económico que reciben las tecnologías disruptivas por el alto riesgo de la inversión, impide la producción y comercialización a gran escala (Razykov et al., 2011; Singh, Alapatt, & Lakhtakia, 2013).

La competencia por el silicio con la industria de la microelectrónica ha llevado al sector a desarrollar paneles solares de tercera generación (3G) a base de otros tipos de materiales semiconductores y componentes químicos orgánicos. Las celdas 3G están basadas en materiales poliméricos, semiconductores cristalinos (QDs) y nano-estructuras a base de carbono. Aunque su rendimiento real no supera a las celdas solares de silicio, presentan ventajas por sus propiedades ópticas, eléctricas y químicas, que superan a las generaciones anteriores. Entre sus variedades están las celdas sensibilizadas por colorante (DSSC) y las de óxido de titanio (TiO₂), cuya eficiencia es del 11%, lograda por un sistema químico fotoeléctrico que se asemeja al proceso de fotosíntesis, ya que operan a base de materiales de pigmentos que absorben la luz. Otra variedad son las celdas solares orgánicas de película delgada (OTSC) con nano-capas de material semiconductor, que puede aplicarse sobre superficies de vidrio, hojas metálicas flexibles y polímeros para altas temperaturas (Castonguay, 2009; Razykov et al., 2011; Bahrami, Mohammadnejad, & Soleimaninezhad, 2013).

Entre las ventajas que presentan las celdas sensibilizadas por colorante se encuentra que están hechas de materiales de bajo costo, su calidad permite aumentar la producción eléctrica, son de fácil procesamiento, tienen flexibilidad mecánica y no compiten con la industria de la microelectrónica por el silicio. Sin embargo, las celdas 3G tienen una vida más corta y una eficiencia más baja, comparadas con las celdas de silicio, por lo cual aun se encuentran en desarrollo y no han llegado a la etapa de comercialización. Es probable que

en un futuro cercano las celdas 3G lleguen a los mercados, debido a que los países más posicionados en el sector fotovoltaico lideran la I+D de celdas sensibilizadas por colorante, los cuales son Japón, China, Estados Unidos, Suiza y Corea del Sur (Guo, Xu , Huang & Porter, 2012; Choe et al., 2016).

Aunque las tres generaciones de celdas solares compiten en el mercado mundial, tienen en común su base tecnológica o de conocimiento, la cual puede ser usada en diferentes combinaciones para generar las innovaciones que superen los retos del sector. Esta combinación de conocimiento tiene como menester la colaboración, tanto cognitiva como económica. Sin embargo, la colaboración entre cesionarios es muy baja y los avances suelen resguardarse como secreto industrial, mientras que la colaboración entre inventores es alta, pero en ambos casos prevalece la colaboración intra-países y no entre países. Pese a estos patrones de baja colaboración internacional, la tasa de invención (medida por el número de patentes) muestra un notable crecimiento, lo cual podría deberse al incremento en la demanda del mercado mundial, impulsada por los acuerdos internacionales para reducir el calentamiento global o por el aumento de los precios de la energía de combustibles fósiles que se ha dado desde finales de 1990 (Lei et al., 2013).

Otra razón del incremento de las patentes podría ser que la propiedad intelectual es una sofisticada y compleja arma para mantener las ventajas competitivas y se utiliza ferozmente en este sector (Buitenhuis & Pearce, 2012). Desde el año 2000, el número de patentes en tecnología solar fotovoltaica creció un 400%, lo cual es notable en comparación con la tasa promedio de 60% en otros sectores (Lei et al., 2013). Estados Unidos, Japón y Europa (principalmente Alemania, Francia y Reino Unido) lideran la investigación y el registro de patentes, las cuales en su mayoría pertenecen al sector privado. Los estudios muestran que el número de patentes y el tamaño de mercado están altamente relacionados (Choe et al., 2016). De ahí que la extensión territorial para la protección de una patente se base en la localización de los principales mercados: Estados Unidos, Europa, Alemania, China, Corea del Sur y Taiwán (FRINNOV, 2009).

Aunque China produce el 50% de las celdas solares a nivel mundial, tiene pocas patentes y aun depende de la importación de materia prima y equipos de producción (SolarPower Europe, 2014). Por ello, no puede competir en materiales clave con Estados Unidos, Japón y Europa, los cuales tienen mayor capacidad instalada y más capacidades de innovación por su trayectoria tecnológica en la industria de semiconductores, basada en el silicio, así como en la industria de memoria dinámica de acceso aleatorio (dynamic random access memory-DRAM). Estos países son la fuente de conocimiento de Taiwán, Corea y China, cuya plataforma tecnológica común les permitió convertirse en seguidores rápidamente en la industria mundial de la FV, lo cual se refleja en la dinámica de sus citas de patentes (Lei et al., 2013).

Las citas a patentes externas en comparación con las citas a patentes internas muestra dinámicas industriales, como el aumento de la dependencia tecnológica de Corea, Taiwán y China, lo cual indica un cambio de la vía de la imitación a la innovación. Así mismo, muestran la capacidad de absorción de los países para realizar las transiciones tecnológicas, lo cual obedece a sus trayectorias tecnológicas. Tal es el caso de las celdas de primera y segunda generación, donde sólo figuran los países que cuentan con el dominio de materiales semiconductores (Watanabe, Wakabayashi, & Miyazawa, 2000; Wua & Mathews, 2012).

Las citas intra-nacionales revelan la capacidad de absorción, así como la capacidad de combinar y producir de nuevo conocimiento. Tal es el caso de Taiwán y Estados Unidos, quienes tienen una alta propensión a citar sus propias fuentes, en comparación con China, que exhibe un bajo grado de flujos de conocimiento intra-nacionales en las celdas 1G, lo cual podría deberse a su relativamente débil capacidad tecnológica en la industria de semiconductores o la de monitores de pantalla plana (Watanabe et al., 2003). El sector que genera las invenciones también es un indicador de las capacidades de innovación de un país. Por ejemplo, en Taiwán el sector privado es el iniciador y líder de las tecnologías 2G y 3G, lo que indica su alta capacidad de innovación y de absorción, pero las universidades apenas figuran después del 2000. Sus fuentes de conocimiento externo las encabezan Estados Unidos y Japón (70%). Para el caso de China, las fuentes internas dependen en

gran medida del sector público (49%), lo cual lo coloca como líder en términos de vinculación científica o patentes basadas en la ciencia. La mayoría de sus patentes son en tecnologías 2G y 3G, las cuales son propiedad de las universidades (83%) (Wua & Mathews, 2012).

Otro indicador relevante en términos de innovación son las colaboraciones internacionales. En este sentido, Estados Unidos es el país con el mayor número de patentes hechas en colaboración con otros países, pero éstas representan sólo un pequeño porcentaje del total de sus patentes. En cambio, China muestra un nivel de colaboración internacional más alto y sus socios son Estados Unidos, Gran Bretaña, Japón y Alemania. Sin embargo, China tiene un reducido número de patentes y flujos de conocimiento intra-nacionales, lo cual podría reflejar su baja capacidad de absorción e innovación, pese a ser el país que produce el 50% de las celdas a nivel mundial (Lei et al., 2013). Esto podría deberse a su débil trayectoria en áreas tecnológicas complementarias como la industria de semiconductor o pantallas planas (Wua & Mathews, 2012).

En general, en el sector FV hay una baja proporción de patentes co-asignadas, una gran exclusividad de propietarios y un gran número de co-inventores internacionales por patente, lo cual muestran que la colaboración cognitiva entre países es alta. Los principales países que tienen colaboración cognitiva y económica son Estados Unidos, Japón y Alemania (Lei et al., 2013), que son países con mercados ascendentes, con altos niveles de I+D y de patentes, donde las capacidades tecnológicas son el factor clave de éxito (Singh et al., 2013). China comienza a figurar después del 2000, incrementando las aplicaciones de patentes (Choe et al., 2016) y exhibiendo una alta producción de artículos científicos en celdas 3G. Además, su investigación se caracteriza por ser de alta calidad, ya que se lleva a cabo por inventores-autores. Así mismo, su colaboración internacional ha aumentado en materia de celdas solares sensibilizadas por colorante, las cuales prometen inundar los mercados futuros por su facilidad de producción, a partir de materiales relativamente impuros, y por ser una alternativa de bajo costo de las celdas fotovoltaicas de silicio (Wang et al., 2014). En este escenario, la posición actual de China sólo le permite sacar ventaja de la producción de las celdas 1G, ya que la industria FV se encuentra en la etapa de

explotación de las tecnologías de silicio cristalino (c-Si) y en la etapa de exploración de las tecnologías de película delgada y de compuestos orgánicos (Wua & Mathews, 2012; Watanabe, Wakabayashi, & Miyazawa, 2000).

La ventaja de China no es menor, porque la energía solar se ha vuelto más competitiva gracias a que disminuyó el costo total de la manufactura del módulo por área cuadrada, aumentando la eficiencia de conversión e inundando los mercados con celdas 1G (Buitenhuis & Pearce, 2012). Se calcula que el mercado fotovoltaico crece a una tasa anual del 35% en Estado Unidos, Japón, Europa, China y Taiwán. El 50% de las aplicaciones son rurales y el mercado está segmentado en uso residencial, industrial, comercial y sistema de escala de servicios públicos. Las predicciones optimistas esperan que el mercado siga en crecimiento, ya que actualmente el consumo mundial de energía alcanza los 10 teravatios anuales y las proyecciones estiman que para 2050 será de 50 teravatios (Razykov et al., 2011).

Según France Innovation Scientifique et Transfert SA (FIST SA)⁴ el mercado fotovoltaico está conformado principalmente por celdas 1G (89.5%), de las cuales 42.2% son de silicio mono-cristalino y 45.2% son de silicio poli-cristalino. Las celdas de película delgada conforman el 10.5% del mercado, las celdas de a-SiC participan con el 5.2%, caracterizándose por su bajo costo de producción y larga duración, seguidos de los Cd-Te con una participación de 4.7% en el mercado mundial. Los 10 principales productores de celdas y módulos, que conforman el 50% de la producción mundial (4.92 gigavatios) son: First Solar, Suntech Power, Sharp, Q-Cells, Yingly Green Energy, JA Solar, Kyosera, Trina Solar, Sunpower y Gintech (Razykov et al., 2011; Ong, 2010).

Los principales mercados del mundo son China (10.6 GW), Japón (9.7 GW), Estado Unidos (6.5 GW) y Reino Unido (2.4 GW), quien lidera el desarrollo de energía solar en Europa, seguido por Alemania (1.9 GW) y Francia (927MW). Las principales áreas de producción de celdas son China, Taiwán, Japón y Europa, las dos primeras producen un tercio del total. Empero, Alemania y Japón cuentan con 63% de la capacidad instalada

⁴ Información disponible en <http://www.fist.fr/>

(FRINNOV, 2009). A nivel mundial, se calcula que Estado Unidos, China, Europa y Japón serán los principales mercados durante la década de 2020. Se estima un crecimiento del 80% del mercado europeo para el 2019, con una expansión territorial más allá de Italia, Grecia y Alemania, cuya demanda actual es del 7%. Sin embargo, este escenario optimista podría verse frustrado por el costo del capital, que es una de las principales limitantes para reducir los costos de producción, y por políticas como las del 2013 y 2014, que ralentizaron el crecimiento de mercado. Si continúan las condiciones negativas de inversión y las políticas de transición desfavorables en países clave, se prevén escenarios negativos para el futuro cercano. Es probable que se dé un estancamiento de mercado si continúan las políticas basadas en el mercado, en lugar de las políticas de subsidio, así como las políticas que obstaculizan el mercado emergente de la producción para el autoconsumo, como el impuesto solar español o las multas altas a prosumidores⁵ no declarados, que hicieron imposible invertir en él (SolarPower Europe, 2014; Newfield, 2013).

El desarrollo del sector FV que se ha presentado hasta el momento se debe a la combinación de políticas favorables que varios gobiernos del mundo implementaron. Tal es el caso del crédito fiscal por inversión solar (*Solar Investment Tax Credit* o ITC), uno de los más importantes mecanismos de política federal para apoyar el despliegue de la energía solar en los Estados Unidos, así como las políticas de tarifas subsidiadas o destinadas a fomentar la confianza de los inversores para el desarrollo de capacidades. Así como las políticas de fomento de la producción para el autoconsumo, que aumentaron la energía fotovoltaica distribuida en 2013 a más del 50% de la capacidad instalada, mismas que llevaron a España a lograr una capacidad instalada del 7% y ser el segundo mercado europeo más importante en 2005 y 2006 (SolarPower Europe, 2014).

Según las proyecciones, se espera que para el 2060 la energía solar cubra más del 50% de la demanda de energía mundial, si se logra reducir el costo por unidad instalada (\$/W), el incremento de la eficiencia y la reducción del costo de producción de los módulos a través de las economías de escala o las fusiones industriales internacionales (Buitenhuis & Pearce, 2012). Debido a que esta tecnología trabaja mejor en áreas con alta radiación solar, los

⁵ La palabra prosumidor o prosumer proviene de la fusión de las palabras en inglés productor y consumidor, y ahora es propia de la jerga del sector FV.

expertos predicen que el crecimiento más grande será en lugares como África, México y el suroeste de Estados Unidos. México tiene una ventaja natural por ubicarse en el cinturón solar de la tierra y ser uno de los países que más radiación solar recibe (hasta 2500 kWh/m² anuales) al noroeste en Baja California, Sonora, Chihuahua y Durango. México, además presenta ventajas en términos de base industrial, como la fuerza de trabajo calificada y el conocimiento en la producción de componentes destinados a las instalaciones de California y Nevada. También cuenta con un Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y un Departamento de Energía Solar de la UNAM, el cual proyecta un importante crecimiento en términos de producción, volumen de mercado y puestos de trabajo para el 2020 (Bernardelli, 2010).

Hasta el momento, estas ventajas no se han aprovechado. La baja tasa de inversión, la reestructuración del sector energético mexicano y los cambios en la composición del gobierno político nacional podrían ser algunas limitantes. Dado que México forma parte del *SolarPACES Implementing Agreement-SP IA*, el cual persigue, a través de la cooperación internacional, la innovación, la reducción de costos, el aumento de la confiabilidad y el desarrollo del mercado; los avances que se logren en el sector beneficiarían al resto de los 13 países miembros (Bernardelli, 2010).

1.4.1. Factores de desarrollo del sector solar fotovoltaico

La transición internacional hacia las energías verdes sustentables no se ha logrado, a pesar de los esfuerzos de los gobiernos por financiar, subsidiar y ofrecer políticas públicas para su impulso. Los estudios al respecto muestran múltiples factores a los que se les atribuye el fracaso o escaso éxito en algunos países. Entre las limitaciones se han señalado los regímenes institucionales pobremente diseñados, la falta de coordinación entre los diferentes niveles de gobierno, la carencia de empresas que cubran toda la cadena de suministro para su implementación a gran escala, así como la falta de incentivos para la colaboración y transferencia de conocimiento entre investigadores. Lo que es evidente es que el sector presenta retos tanto de desarrollo tecnológico como de mercado, por lo cual es menester identificar actores, procesos, tendencias y eventos clave del sistema de innovación

del sector (Guo, Xu , Huang & Porter, 2012). Respecto a los retos tecnológicos, la colaboración en la actividad inventiva es crucial para reducir los riesgos que implica la exploración del conocimiento en las celdas solares 2G y 3G (Wang et al., 2014). La colaboración cognitiva no es enteramente ajena a la colaboración económica, pues ambas se implican causando flujos de conocimiento tácito y codificado entre los individuos y las organizaciones. Ésta puede ser local, nacional o internacional, pero depende de las ventajas estratégicas económicas o cognitivas que ofrezca cada socios (Lei et al., 2013).

En sector solar FV, los países adquieren ventajas competitivas de acuerdo al tipo de celdas solares que componen sus mercados, tanto de conocimiento como de comercialización de la celda que producen. En cuanto a la producción, las celdas 2G no depende de la industria preexistente, su proceso de manufactura es en línea, consumen menos material semiconductor y tienen menor costo de producción que las celdas de primera generación, las cuales tienen como prerrequisito la existencia de la industria de semiconductores y la producción de silicio, además dependen de una diversidad de técnicas de manufactura, pero aun así componen el 90% del mercado mundial (FRINNOV, 2009).

La colaboración internacional en la actividad inventiva es un resultado natural de la globalización del comercio y la inversión, así como de la economía basada en el conocimiento, que emergió como resultado del uso intensivo de este (Montobbio, 2013). El valor de la colaboración radica en que forma canales de comunicación del conocimiento, conforma rutinas y prácticas comunes. Sin embargo, no es un fenómeno común, ya que dependen de diversos factores como las trayectorias tecnológicas, las cuales dotan a los países de capacidades de absorción e innovación. Las diferentes trayectorias entre naciones resultan en relaciones de transmisión de conocimiento de frontera entre los países desarrollados y en el aislamiento de los países en desarrollo, lo cual ha conducido a perpetuar las divergencias tecnológicas y económicas (Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015).

Las trayectorias tecnológicas afectan los proyectos conjuntos porque determinan la existencia condiciones clave como: la capacidad aprender, comprender, utilizar, combinar y transferir nuevos conocimientos tecnológicos en términos técnicos y materiales; así como

de mecanismo de comunicación efectiva y de coordinación eficiente, junto a una gestión adecuada de la propiedad intelectual y un sistema de incentivos. Además, se requieren recursos humanos, financiamiento, herramientas y equipos adecuados para adquirir nuevo conocimiento, sin olvidar la capacidad de entender la diferencia cultural (Sugandhavanija et al., 2011). De ahí que se asocie la competitividad de una nación con la acumulación de capacidades tecnológicas. El hecho de que la capacidad de innovación sea la clave de la competitividad conduce a una mayor colaboración nacional pero a un recelo respecto a la colaboración internacional (Montobbio, 2013).

Antes de la década de 1990, se partía del supuesto de que ésta desconfianza en la colaboración internacional se veía acrecentada por el hecho de que existían diferencias en las legislaciones de los países sobre derechos de propiedad intelectual y la posibilidad de derramas de conocimiento en el proceso de difusión. Esto generó que los países desarrollados demandaran una protección más fuertes y criterios homogéneos. El ADPIC tuvo como fin cumplir con estas demandas a nivel mundial creando un marco legal común. Además, prometía como resultado el incremento de las colaboraciones tecnológicas internacionales y la deslocalización de la I+D generando el acceso al conocimiento extranjero y la aceleración del aprendizaje, lo cual beneficiaría particularmente a los países en desarrollo. Sin embargo, los estudios muestran que las colaboraciones entre países se dan por la búsqueda de acceso a mercados o beneficios económicos, así como por las capacidades cognitivas de los socios, que están embebidas en los individuos y es costoso transferirlas (Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015).

Los estudios de innovación sobre los efectos del ADPIC evidencian que éstos varían según el tipo de industria, sus factores clave, el tamaño del mercado, la demanda de productos innovadores, la estructura de la competencia, la etapa de desarrollo económico del país y su capacidad de innovación, así como la dimensión de los DPI en cuestión. Los países desarrollados muestran que los DPI más fuertes les proporcionan a las empresas estrategias de competencia, a través del número de patentes para bloquear la adopción de nuevas tecnologías y retrasar el lanzamiento al mercado de nuevos productos por parte de los competidores, aumentando así su cuota de mercado. Empero, si bien es cierto que los DPI

favorecen el crecimiento de algunas industrias al dotarlas de instrumentos estratégicos de competencia, también es cierto que pueden desalentar la innovación y el crecimiento (Kyungchul et al., 2015). A nivel internacional los países deciden estratégicamente como usarlos DPI respecto su posición relativa con otros países en el mercado, el grado de apropiación del conocimiento, la estructura e intensidad de la competencia, el tipo de conocimientos, las relaciones geopolíticas y el grado de asimetría en las capacidades tecnológicas. Así mismo, consideran el grado de fortaleza de la política de PI de los países y las medidas cautelares para hacer valer estos derechos (Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015). Además, las firmas aplican para una extensión territorial de la protección de la PI en los países donde se encuentran los principales mercados y en el caso de las celdas solares fotovoltaicas estos se encuentran en Estados Unidos, Europa y China (Kyungchul et al., 2015).

Entre los efectos favorables esperados con la firma del ADPIC están que favorecería el incremento en la innovación, por el aumento en los incentivos para invertir en I+D derivados del monopolio de la explotación del conocimiento, y también que facilitaría las colaboraciones entre sectores y países, generando así un incremento en los flujos de conocimiento (Kyungchul et al., 2015). Sin embargo, el supuesto está supeditado a la "Capacidad Nacional de Innovación"⁶ de los países, sus recursos económicos, científicos y tecnológicos, así como a la sofisticación tecnológica, el tamaño de la investigación de cada sector industrial, la composición del financiamiento de la I+D por sector institucional y la cooperación público-privada. Dado que la "Capacidad Nacional de Innovación" es la capacidad de un país para producir y comercializar sus innovaciones de manera sostenida, esto implica tener un sector privado con capacidad para financiar parte del gasto total en I+D e incrementar la producción de conocimiento (Azagra-Caro & Consoli, 2014).

Ahora bien, cuando la mayor parte del financiamiento en I+D proviene del sector privado, se favorece la producción de conocimiento, pero se afecta de manera negativa los flujos de conocimiento. Esto se debe a que las firmas financian la I+D con el objetivo de obtener

⁶ La Capacidad Nacional de Innovación puede ser medida por el número de patentes, según la teorías del crecimiento endógeno, la competitividad internacional y el enfoque tradicional de los sistemas nacionales de innovación (Azagra-Caro & Consoli, 2014).

beneficios, por lo tanto privilegian la investigación aplicada y las innovaciones incrementales, favoreciendo el secreto industrial y la revelación parcial en las patentes. En cambio, cuando el gobierno proporciona la mayor parte del financiamiento en I+D aumentan las innovaciones radicales y los flujos de conocimiento, debido a que éste persigue beneficios sociales y apoya sectores de alto riesgo. Dado este efecto opuesto en la composición del financiamiento en I+D por sector institucional, es recomendable buscar un equilibrio (Newfield, 2013; Azagra-Caro & Consoli, 2014).

El hecho de que los costos y beneficios del ADPIC dependan de la "Capacidad Nacional de Innovación" de cada país, genera que los países en desarrollo no se vean favorecidos por éste, debido a que los sistemas de innovación periféricos que los caracterizan presentan una estructura industrial concentrada en sectores tecnológicos poco sofisticado, ausencia de aglomeración industrial y la inversión en I+D proviene principalmente del sector público. Además, los recursos humanos altamente especializados (científico y tecnólogos) se encuentran concentrado en el sector público, el cual tienen grandes dificultades para transformar la I+D en innovaciones y transferencia de conocimiento. La transferencia de conocimiento tácito y codificado es importante porque puede incrementar la capacidad de innovación de un país. Sin embargo, el conocimiento codificado generado en las universidades no es fácilmente transferible a las firmas. Además, las políticas públicas se dirigen a procesos formales, descuidando otras vías de interacción informales entre la industria y la universidad, causando la distribución desigual entre firmas de los beneficios de la investigación (Fernández-Esquinas et al., 2015).

Entre las vías formales se encuentran los proyectos de colaboración intensivos en investigación, la explotación de patentes, la creación de spin-offs, la educación y la capacitación especializada. Los mecanismos informales implican la transferencia conocimiento tácito a través del uso de instrumentos y consultorías para la solución de problemas, entre otros. El tipo de interacción universidad-industria, los mecanismos y el rango de las actividades de explotación están determinados por la capacidad de absorción de las firmas (Fernández-Esquinas et al., 2015). La absorción a su vez depende de la acumulación de conocimiento. Los enfoques schumpeterianos ya hacían énfasis en la

"destrucción creativa" (1912) y "la acumulación creativa" (1943) como procesos clave del crecimiento económico, donde las grandes firmas acumulan conocimientos transferibles en áreas tecnológicas y mercados específicos (Leydesdorff & Ràfols, 2011). Esto se debe a que el conocimiento evoluciona sobre la base de nuevas combinaciones de ideas existentes o hallazgos anteriores, por lo cual hay una acumulación de conocimientos (Werner et al., 2013).

El papel que se le ha dado a las universidades en los países es el de generar capacidades y habilidades desde la educación y producir conocimiento, pero al descuidar las políticas para la colaboración con las firmas difícilmente esto resulta en innovaciones. Así mismo, es menester que las firmas tengan la capacidad de absorción, ya que sin ésta carecen de habilidades para identificar, comprender, incorporar y explotar nuevo conocimiento. Esta capacidad de las firmas a su vez depende del tamaño de la inversión interna en I+D, la cual cuando es elevada contribuye a reducir la brecha cognitiva con otros campos del conocimiento y con actores como las universidades. Otros factores que influyen son el tamaño de la firma, el sector tecnológico y los derechos de propiedad intelectual (Fernández-Esquinas et al., 2015). Además, aunque aun prevalece el desacuerdo respecto a si es la demanda del mercado o los avances tecnológicos o su combinación lo que impulsa el crecimiento de un sector tecnológico, lo que sí está claro es que las políticas públicas han contribuido de manera positiva (Guo, Xu , Huang & Porter, 2012).

Si bien es cierto que el crecimiento del mercado es crucial para mejorar las capacidades de manufactura del sector, no se debe dejar de lado que este crecimiento está supeditado a que la energía solar compita con las energías convencionales. Esto no depende de meros avances técnicos, sino más bien del contexto global del mercado de energéticos, es decir, la propensión al consumo, el precio del petróleo, entre otros. Hasta el momento, el desarrollo del sector se ha debido a políticas de incentivos fiscales y financieros. Tal es el caso de China que se ha posicionado como uno de los líderes en el sector debido a las políticas de estímulos de su gobierno, que han generado un incremento en la demanda de energía y un amplio portafolios de patentes de las instituciones académicas, entre ellas la universidades de Nankai, Shanghai y Sichuan (FRINNOV, 2009; SolarPower Europe, 2014).

Alemania goza de una buena posición en el sector porque implementó políticas como la post-nuclear y las políticas de energías renovables de largo plazo basadas en subvenciones públicas directas, recargos de servicios públicos pasados a los contribuyentes, fortalecimiento del sector manufacturero, pagos directos a pequeños productores, programas de incentivos a la adopción residencial, entre otros, logrando una capacidad instalada 50% superior a la de Estados Unidos. Además, desde 1973 a raíz de la crisis del petróleo, implementó un amplio rango de políticas e instituciones para las prácticas pro-solares, como el incremento en el gasto en I+D, la creación de infraestructura, empresas emergentes de base tecnológica (start-up), apoyo a grandes firmas de energía y formación redes (financieras/tecnológicas). Sus proyectos de demostración ganaron la legitimidad de los votantes, lo cual trajo consigo leyes de tarifas de alimentación y normas auxiliares, convirtiéndose en un referente de co-evolución socio-tecnológica (Newfield, 2013).

Dado que la investigación en energía solar fotovoltaica requiere instalaciones de vanguardia y grandes montos de inversión, las tarifas de alimentación son un instrumento de política diseñado para acelerar la inversión. Esto se hace a través de contratos a largo plazo (15-25 años) de compra de energía a los productores de energía renovable con el fin de ofrecerles una compensación o precio basado en los costos de producción de la electricidad que suministran a la red. El contrato proporciona certeza en los precios y ofrece a los inversores un rendimiento razonable, lo cual coadyuva a financiar inversiones en energía renovable a los propietarios de viviendas, las empresas y los agricultores (Klein et al., 2008; Couture, Cory, & Williams, 2010).

Las barreras de entrada a la industria son altas, por lo cual es muy reducido el número de empresas que presentan más del 50% de las aplicaciones de patentes y éstas se usan en la construcción de portafolios estratégico de propiedad intelectual. Hasta el 2000, un reducido número de empresas japonesas eran líderes internacionales en la aplicación de patentes, concentrando la propiedad intelectual en SHARP, FUJI ELECTRIC, MITSUBISHI, SANYO y CANON. En varios casos, estas aplicaciones no se convirtieron en un producto solar fotovoltaico disponible en el mercado, lo cual podría deberse a que la rigurosa oficina japonesa sólo concede el 36% de patentes, al largo periodo de tiempo de concesión de las

patentes, a fusiones que fracasaron, a su enfoque en celdas de película delgada que aun no se consolidan en el mercado o a que el sector privado tiene pocas alianzas estratégicas en I+D con el sector académico (FRINNOV, 2009).

Estados Unidos comenzó a posicionarse como líder en la aplicación de patentes a partir del 2000, como resultado de los altos niveles de colaboración entre la industria y las IES, una propiedad intelectual más distribuida, la explotación de licencias, el surgimiento de numerosas 'start-up', la pericia académica del Midwest Research Institute y la Universidad de California, así como a los incentivos gubernamentales del Departamento de Energía, que estimuló la presentación de aplicaciones de patentes y el desarrollo del mercado fotovoltaico con subsidios hasta del 25%. A partir del 2009 se da una caída internacional en la presentación de aplicaciones de patentes, vinculada con la situación económica mundial, los déficit gubernamentales que han conducido a recortes masivos en el presupuesto destinado a la I+D y al fortalecimiento de los DPI (FRINNOV, 2009).

Hasta el 2011, el gran líder en capacidad instalada fue Alemania, que creció a un ritmo anual del 57%, pese a su situación geográfica. Sin embargo, ni Estado Unidos ni Alemania han podido enfrentar los desafíos que presentan las celdas policristalinas asiáticas de bajo costo. A partir del 2012 las firmas comenzaron a declararse en bancarrota, incluida Q-Cells y Solyndra conocidas por su excelencia técnica, y la industria global presenta una condición paradójica. Por un lado, hay un rápido crecimiento en la capacidad instalada y decremento en los costos, pero a la vez hay quiebra por problemas financieros y pérdida de cuotas de mercado. Esto presenta serios cuestionamientos a los modelos schumpeterianos de innovación que privilegian el rol de los agentes económicos de mercado y conceden poco crédito a los factores sociales u otros actores. La historia del sector muestra que las tecnologías emergentes necesitan del apoyo permanente de las instituciones y el fomento de las prácticas no mercantiles (Newfield, 2013).

Capítulo 2. Fundamentación teórica

"Existe una reconocida necesidad de conceptualizar mejor el papel de las instituciones en la innovación. En particular, sería útil explicar cómo las instituciones juegan un papel en los desarrollos dinámicos, en lugar de explicar la inercia y la estabilidad"

Frank Geels (2004:3)

Este capítulo presenta un marco conceptual multidisciplinar y pragmático, debido a que es necesario observar el fenómeno en cuestión desde diversas disciplinas de las ciencias sociales como la economía, los estudios de innovación, la sociología de la ciencia, el derecho y las políticas públicas. La labor de construir un marco teórico desde diferentes disciplinas es posible desde la ciencia de la complejidad, por ello, el tema se abordará en la estrategia teórico-metodológica. Existe una aparente contradicción entre el enfoque de políticas públicas y complejidad, debido a que en materia de complejidad el sistema se auto-organiza y el orden emerge más allá de las voluntades individuales y en las políticas públicas se cree que el sistema puede ser intervenido. Esta aparente contradicción se resuelve en complejidad aplicada, que es un campo que permite comprender los sistemas complejos y su dinámica para tomar decisiones.

Este apartado inicia con la fundamentación teórica de las políticas de CTI, analizando las racionalidades que están detrás de su diseño histórico. Después, se revisan los posibles fallos en el sistema de innovación para la producción y explotación del conocimiento, con un especial énfasis en el papel de las instituciones para tender un puente epistemológico con la PI, que es la principal institución de la política de CTI actual. Enseguida, se desarrolla el tema de la PI y el dominio público desde el punto de vista legal, social y económico para determinar las consecuencias de la apropiación privada y social del conocimiento. Este análisis se amplía con un sub-apartado de las estructuras jurídico-políticas. Finalmente, se aborda el tema del acceso a la ciencia y la tecnología en la economía del conocimiento, observando las implicaciones de la PI para los países en desarrollo desde una mirada geopolítica.

2.1. Políticas de ciencia, tecnología e innovación

Los estudios en materia de política de CTI se han venido desarrollando a lo largo de los últimos cincuenta años. Aunque aún no se cuenta con conceptos claros y metodologías robustas en la materia, los investigadores coinciden en colocar en el centro de sus estudios la producción, difusión, transferencia y explotación del conocimiento. Esto implica indagar en los mecanismos de regulación, organización, gestión y financiamiento del conocimiento. Los estudios de CTI a lo largo de la historia se han enfocado en la aplicación de la ciencia y la tecnología (CyT) en la resolución de problemas políticos, sociales, económicos, ambientales, entre otros, así como la generación de nuevos o mejores productos, procesos y servicios (Martin, 2012).

Desde la postguerra, la aplicación del conocimiento científico ha obedecido a intereses y objetivos distintos, lo cual se refleja en el contenido de las políticas, que pueden ser clasificadas en periodo caracterizados por diferentes actores, temas, supuesto, instituciones, instrumentos, conceptos y dinámicas. A lo largo de su historia la evolución de las políticas de CyT se ha caracterizado por pasar de estar basadas en la oferta a enfocarse en la demanda, así como por dejar de hacer énfasis en la investigación básica para impulsar la investigación aplicada y después orientarse a la síntesis de ambas en la denominada "investigación estratégica", que integra la exploración teórica con la búsqueda la de aplicación del conocimiento. La dinámica de las políticas de CyT también abarca la evolución de la relación entre la ciencia y la sociedad, lo cual incluye el poder económico y político. Cada periodo contiene una relación específica entre la ciencia y la política, que orienta las acciones y la creación o cambio de las instituciones (Albornoz, 1997).

Aunque en el siglo XIX se encuentran registros de algunas políticas que pueden catalogarse como de CTI tanto a nivel federal como estatal y local, se considera que la historia de las políticas de CTI comienza en la postguerra, ya que antes de este periodo las políticas en esta área eran incipiente y estaban centradas en el desarrollo económico basado en la agricultura. En la primera mitad del siglo XX, aunque ya estaban disponibles las publicaciones de las teorías schumpeterianas que reconocían la importancia de la

innovación para el desarrollo económico, las políticas se limitaban al sistema de patentes. La política de CyT como hoy la concebimos emerge en 1945, en un contexto caracterizado por la Guerra Fría. Su misión era conformarse como una política para la ciencia o la investigación, motivo por el cual durante veinte años el contenido de las políticas públicas se dirigió a sistematizar la actividad científica y a desarrollar el modelo de la investigación básica. Sus acciones se dirigían a la formación de recursos humanos altamente calificados en la CyT, así como a su organización en grupos de trabajo, su retención y la creación de instituciones adecuadas para tales fines. En este primer periodo, hubo mucho fomento a la investigación básica; sin embargo, se descuidó la difusión, ya que las políticas servían a fines militares y de seguridad nacional (Alic, 2008; Martin, 2012).

El siguiente periodo (1965-1978) se desarrolla la llamada ciencia para la política, que se caracteriza por perseguir objetivos socioeconómicos nacionales y orientarse a la investigación aplicada, privilegiando la agricultura, la carrera militar y espacial, así como la salud (Albornoz, 1997). A partir de la década de 1970, con diversas mezclas de política, se consolida el modelo lineal tradicional, cuyo propósito es amalgamar la ciencia y la tecnología con el crecimiento económico. Debido a eso, sus procesos se orientaron a la investigación aplicada, sin descuidar la ciencia pura o básica, ya que esta era considerada un paso previo necesario, justificando así las enormes inversiones de fondos públicos en las universidades para desarrollar la investigación básica (Martin, 2012; Trouset, 2014).

En la década de 1980, la CyT adquiere gran relevancia política por su aplicación en la toma de decisiones de otras políticas públicas. En este tercer periodo, se retoma el enfoque evolutivo complejo de Joseph Schumpeter, dotando la política de CyT de una lógica economicista al considerar al proceso de innovación como el principal impulsor del crecimiento económico. En este enfoque los actores relevantes no son las Instituciones de Educación Superior (IES), sino las empresas, de cuya interacción surgen nuevas combinaciones de tecnologías, reglas de organización y habilidades humanas. Este cambio de actores y objetivos basado en las teorías neoschumpeterianas da origen a la política de innovación y al llamado giro economicista de las políticas de CyT (Elzinga, & Jamison, 1996; Albornoz, 1997; Dodgson et al., 2011). Durante este periodo, se retoman las ideas

marshallianas, nutridas de bases empíricas, haciendo énfasis en el contexto social, cultural e institucional como factores que impactan el crecimiento de una región. Esto inserta la lógica territorial en el análisis y pone el germen del concepto "innovación social". El énfasis en lo territorial genera tendencias en la política que promueven la proximidad geográfica para favorecer la reducción de la distancia física y los costos, así como para facilitar el intercambio de información, ya que las interacciones cercanas aumenta la confianza, generando marcos compartido de creencias y promoviendo procesos de aprendizaje. Esto conlleva a dejar de lado la capacidad de la oferta en investigación para centrarse en impulsar la cooperación de las firmas, que son las que responden a la demanda cambiante y proveen de recursos humanos cualificados. Su enfoque no abandona la racionalidades de fallos de mercado/asimetría de la información, la diferencia es que sus acciones políticas regionales tienen como fin reducir la incertidumbre, crear redes de aprendizaje y adquirir "ventajas competitivas" a través de "clusters" (Laranja et al., 2008).

En la misma década, los estudios de innovación se articularon en torno a la economía evolucionista neoschumpeteriana para generar un modelo interactivo del proceso de innovación, lo cual dio origen al concepto de sistemas de innovación y la teoría de recursos de la empresa. El desarrollo de la economía evolucionista de Nelson y Winter (1982) en los estudios de política CyT fue uno de los aportes más relevantes en el campo, ya que presentó un enfoque estructuralista evolutivo como alternativa a la economía neoclásica. Su importancia radica en que, haciendo una analogía con la evolución biológica, analiza el cambio tecnológico y la innovación como pilares del crecimiento económico, ya que generan "variación" en nuevos productos y servicios, los cuales son seleccionados por el mercado, es decir, éste último funge como un "mecanismo de selección". A su vez, los nuevos productos o servicios están influidos por las "rutinas" dentro de las empresas, que son los genes que funciona como un mecanismo de "auto-replicación" (Martin, 2012; Nelson & Winter, 1982).

Desde finales de la década de 1950, existían grupos de trabajo sobre innovación, como el MIT y RAND, conformados por economistas y sociólogos, pero trabajaban de manera atomizada o desvinculada de los grupos de otras disciplinas. En 1974, el SPRU y

Manchester comenzaron a traspasar estos límites disciplinares para fusionarse en torno al marco de la economía evolucionista presentada por Nelson y Winter, el enfoque neoschumpeteriano, la teoría del crecimiento endógeno y la historia económica de la tecnología. De ésta mezcla comienzan a emerger términos como el de rutinas, competencias básicas, capacidades dinámicas y capacidad de absorción. El campo se enriquece con trabajos sobre gestión de la ciencia y con los instrumentos de la bibliometría o cienciometría. Sin embargo, pese al interés común, aun en la actualidad no hay integración en los enfoques conceptuales ni en las metodologías de los estudios de innovación (Martin, 2012).

Dado que en este punto de la historia se sabe que la tecnología es una combinación de conocimiento tácito y codificado, las políticas comienzan a centrarse en los procesos de aprendizaje, las capacidades cognitivas, el conocimiento relacionado con los mercados y la capacidad de cambiar para aumentar la capacidad cognitiva. Desde esta perspectiva, la innovación es un conjunto de procesos colectivos y acumulativos basados en trayectorias de dependencia y en el contexto de los actores. La trayectoria de dependencia/tecnológica explica los patrones de la convergencia/divergencia del desarrollo regional, ya que la estructura económica y la variedad/novedad de la tecnología co-evolucionan o se refuerza mutuamente con las instituciones, influyendo en la producción y aplicación del conocimiento. El principio fundamental es ver al sistema como evolutivo y dinámico, con disfunciones, bloqueos y brechas de conocimiento, que limitan la capacidad cognitiva y de cambio de los actores (Laranja et al., 2008).

Se podría considerar que el cuarto periodo de las políticas de CTI comienza a finales de la década de 1980 con la proliferación de modelos dinámicos y el abandono del modelo lineal. A partir de este periodo, el conocimiento es considerado un recurso clave para la creación de la riqueza. Esta idea se refuerza con los estudios de Drucker en 1993 sobre la administración del conocimiento y la "sociedad post-capitalista". Así mismo, en este periodo comienza a usarse el término "política de innovación" de manera genérica para designar a la política de CTI o a los estudios que las incluyen. El énfasis en la innovación trae implícita la idea de que las políticas deben orientarse por el enfoque de la gestión y la

economía de la ciencia, la tecnología, y la innovación. El concepto de sistemas de innovación es acuñado por Freeman en 1987 para explicar el éxito económico de Japón en sectores de alta tecnología. Este concepto, junto con las ideas de innovación de Lundvall (1998) que analizan el sistema a nivel nacional, se extendió a nociones tales como sistemas regionales de innovación. Éste último enfoque analiza la interacción de las empresas con su ambiente regional, basando la innovación en el aprendizaje colectivo y las derramas del conocimiento que emana de la I+D. Estos trabajos también dan origen a las nociones de los sistemas tecnológicos, regímenes y nichos relacionados con la sostenibilidad (Martin, 2012; Trouset, 2014).

El concepto de sistemas de innovación se extienden a otras escalas de estudio y de ahí surgen: el sistema sectorial, el sistema tecnológico y los grandes sistemas técnicos (o LTS por sus siglas en inglés- *Large Technical Systems*). Las tres perspectivas tienen en común que conciben la innovación como un proceso co-evolutivo, que implica interrelaciones de los elementos del sistema. Los estudios de sistemas sectoriales de innovación se centran en la naturaleza sistémica de la innovación; mientras que los sistemas tecnológicos hacen énfasis en el régimen institucional de la red de agentes que interactúan en un área tecnológica específica para producir, difundir y utilizar conocimiento tecnológico dinámico a través de redes de competencias. La inclusión en los estudios tanto de la oferta generada por las innovaciones como la demanda (usuario) ocasiona que se pase del enfoque en los sistemas sectoriales de innovación a los sistemas socio-técnicos. Aunque el avance teórico es importante, las escalas múltiples de análisis dificultan determinar los niveles de intervención pública más eficaces (Laranja et al., 2008; Geels, 2004).

Otra característica del periodo es que se da un cambio en la forma como se conciben las relaciones entre el gobierno, la universidad y la industria, lo cual es el resultado de un cambio en la concepción de la producción del conocimiento del Modo 1, o investigación disciplinar con neutralidad de la ciencia, al Modo 2. Este último plantea mayor interacción entre el gobierno, la universidad y la industria, fomentando la multidisciplinaria para resolución de problemas de manera responsable y reflexiva. Un giro importante en el Modo 2 es que el conocimiento científico deja de ser considerado un bien público para convertirse

en un bien privado regido por la PI y susceptible de mercarse como el resto de los bienes tangibles. El sustento teórico de este cambio se encuentra en los argumentos de fallos de mercado y la PI se concibe como un régimen que resulta de las formas de organización y gestión del conocimiento de las comunidades globales de investigación (Trousset, 2014).

Al darse este cambio en la forma de relacionarse de la universidad, la industria y el gobierno surge el enfoque de "triple hélice" de Leydesdorff (2000) para analizar el desempeño tecnológico que resulta de su interacción. Desde esta perspectiva, la universidad es el actor más importante por su capacidad de producir conocimiento, formar recursos humanos y contribuir al desarrollo socioeconómico. Dada su importancia y como resultado de los instrumentos de política que fomentan los sistemas competitivos de financiamiento de la investigación, comienza a surgir la concepción de universidades emprendedoras (Martin, 2012).

Si bien este enfoque es un avance teórico, los críticos hacen evidente que se dejan de lado el rol de las organizaciones no gubernamentales o el tercer sector, que fungen como actores de intermediación entre los actores públicos, privadas y académicos, haciendo circular recursos tangibles e intangibles, generando alianzas estratégicas y haciendo innovación social. Por este motivo, sugieren que el modelo de innovación debe ampliarse a un Modo 3 o de cuádruple hélice, para explicar la innovación como resultado de la interacción entre el gobierno, las universidades, la industria y la sociedad civil. A diferencia del Modo 1 centrado en la investigación básica universitaria y el Modo 2 enfocado en la aplicación del conocimiento, el Modo 3 se orienta a integrar las acciones del gobierno, la universidad y la industria con las acciones emergentes sociedad civil, generando una dinámica de integración de las acciones de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba (Trousset, 2014 Carayannis & Campbell, 2012).

Uno de los modelos que se posiciona para explicar la relación entre universidad, empresa y gobierno es el de Sistemas Nacionales de Innovación (SNI), que considera que los resultados económicos están vinculados con la capacidad tecnológica de las instituciones dentro de una nación, lo cual provocó un cambio en los procesos de financiación pública de

la ciencia, que prevalece hasta ahora. Este cambio consiste en que la investigación, para obtener fondos públicos, debe justificarse en términos de aplicación y beneficios económicos para la sociedad. Desde entonces, se ha dejado de buscar la autonomía de la investigación para responder a objetivos de responsabilidad pública y, dado que el conocimiento científico es un importante motor de crecimiento económico, se persigue la transferencia de conocimientos dentro de las metas de las políticas universitarias contemporáneas de investigación (Trousset, 2014; Leydesdorff et al., 2015).

En la actualidad, la política de innovación sigue estando permeada de la perspectiva del Sistema Nacional de Innovación (SNI) (Lundvall, 1998; Freeman, 1995). A partir del desempeño exitoso de Estados Unidos en 1995 hay un fuerte predominio en las recomendaciones de política por seguir su modelo único de innovación. Empero, orientar las políticas en este sentido supone invisibilizar los avances teórico para no tomar en cuenta las diferencias nacionales en las estructuras de innovación, así como en el contexto político y social. Además, la racionalidad que sustenta el modelo americano de la política de innovación es la de fallos de mercado, lo cual implica que los países, de manera homogénea y sin contemplar sus diferencias en los niveles de desarrollo, orientan su política hacia la oferta de la investigación dejando de lado los enfoques basados en la demanda. Esta miopía se debe a que adolecen de la perspectiva de la complejidad en las políticas públicas, por lo cual no hay un enfoque de los sistemas dinámicos o las combinaciones sistémicas propias de cada región (Dodgson et al., 2011).

El modelo de Sistemas Nacional de Innovación se basa en considerar que el crecimiento económico está relacionado con la producción tecnológica y, por lo tanto, la competitividad internacional está fuertemente vinculada con la producción de conocimiento. Estudios más recientes encontraron evidencia de que los resultados económicos de la producción del conocimiento no son homogéneos entre países, sino que éstos variarán de acuerdo al contexto nacional, es decir, factores sociales, políticos y institucionales. Así mismo, se encontró evidencia de que las inversiones en I+D por sí mismas no generan avance tecnológico, ya que éste está más relacionado con procesos de aprendizaje y las relaciones entre usuarios y productores de conocimiento. A partir de estos

hallazgos, las políticas han estado más centradas en el conocimiento aplicado y se ha dejado de fomentar la investigación básica. Así mismo, los criterios de cantidad y calidad de las nuevas tecnologías están siendo remplazados por cuestionamientos de pertinencia y la aceptabilidad (Trousset, 2014; Veenstra, 2014).

El hecho de que conocimiento se considere el principal recurso para la producción de la riqueza en la economía del conocimiento lo dota de relevancia política, por lo cual es menester revisar la dimensión política de éste, es decir, su relación con lo público. Esta relación puede ser analizada a través de las instituciones del conocimiento que se encargan de su gestión desde una arena pública, pero cuyo objetivo principal es la innovación para la competitividad. Esto se traduce en una gestión del conocimiento que privilegia intereses del sector privado, en detrimento o descuido de los otros sectores. Si bien se reconoce que la política de CTI implica la vinculación del gobierno, las IES y las empresas, sus instrumentos se reducen a poner el conocimiento al servicio del crecimiento y la competitividad de las economías nacionales. Por lo tanto, la gestión de las instituciones del conocimiento se encarga de cumplir estos propósitos con criterios de eficacia y eficiencia, sin contemplar las implicaciones de carácter social (Albornoz, 1997; Niinikoski & Moisander, 2014).

El problema de orientar las políticas de CTI desde una racionalidad técnica y dejar de lado su dimensión política es que no se considera la profunda relación del conocimiento, la naturaleza y la sociedad. Esta parcialización de la política coloca ésta triada en torno a la competitividad y pierde de vista su heterogeneidad y, por ende, su complejidad (Albornoz, 1997; Ordóñez, 2011). Así mismo, los esfuerzos para mejorar la política se centran excesivamente en encontrar e imitar los sistemas de innovación quiméricos "óptimos", los cuales se persiguen aun cuando la evidencia empírica muestra una gran diversidad de sistemas con grandes diferencias. Aunado a esto, aun se carece de integración y coherencia en los marcos conceptuales, hay dificultad en la operacionalización de las variables y en realidad no se maneja el pensamiento sistémico en el diseño de políticas, por lo cual sólo se enfocan en las fallas de mercado (Trousset, 2014; Dodgson et al., 2011).

Si bien los estudios de la CTI enfatizan los procesos de aprendizaje, siguen sin considerarse las diferencias en los contextos socio-políticos, cayendo en un pragmatismo, instrumentalismo y racionalismo excesivos, además de ser prescriptivas en lugar de analizar la realidad para desarrollar los instrumentos adecuados para ésta (Niinikoski & Moisander, 2014).

La tendencia a imitar aspectos culturales e importar modelos exógenos de políticas, sin analizar su realidad, ha predominado en América Latina. Esta característica se ve reflejada en falta de colaboración entre investigadores y la baja producción en materia de políticas de políticas públicas, en los cuales la mayor proporción proviene de Estados Unidos (21%) y Reino Unido (12%), seguido de Países Bajos, Alemania, China, España. Respecto a América Latina sólo figura Brasil entre el Top 15 de países con más publicaciones recientes (Trousset, 2014). Tampoco se ha procurado construir un modelo distinto, como en el caso de los "tigres" asiáticos, que han logrado la innovación basados en la copia y sin pasar por la invención, tal es el caso coreano (Drahos, 2009).

Lo anterior revela que no existe una vía única trazada por los países industrializados. Empero, aunque en los países en desarrollo no exista un determinismo científico o tecnológico, sí hay enormes brechas en la infraestructura de CTI. Esto se hace evidente al comparar entre los países desarrollados y en desarrollo los recursos destinados a la I+D y la composición de la estructura del gasto en el mismo rubro. Las grandes diferencias en las capacidades de innovación han traído como resultado una imposibilidad para acortar o cerrar las brechas, lo cual se agrava al seguir modelos imitativos de políticas. Pese a ello, Latinoamérica sigue la receta de invertir en I+D para logra la anhelada innovación bajo el supuesto de que ésta se basa en la linealidad "investigación básica- investigación aplicada- desarrollo experimental" (Albornoz, 1997; Forero, 2005).

La falacia de esta linealidad queda expuesta al revisar las actividades económicas, el nivel de innovación y el acceso a la tecnología en relación al nivel de desarrollo de los países, lo cual los coloca en alguna de las tres categorías siguientes:

- 1) Economías impulsadas por factor, donde la actividad económica se basa principalmente en la extracción de recursos naturales y la innovación de procesos se basa en la compra de equipamiento producido en otros sectores.
- 2) Economías impulsadas por la eficiencia, la cual se caracteriza por la innovación de productos y su grado de industrialización es tal que proveen de equipos especializados o transfieren innovaciones a otros sectores. Su eficacia técnica se debe a la explotación de economías de escala y a la existencia de procesos flexibles.
- 3) Economías impulsadas por la innovación, donde el sector servicios se expande aceleradamente y el sector industrial ofrece una gran variedad de productos, basados en descubrimientos científicos y, cuyos resultados se derivan de la actividad de I+D. La innovación de productos se caracteriza por operar en la frontera del conocimiento científico y, entre su tejido empresarial, se encuentran industrias como la electrónica, la aeroespacial o la farmacéutica (Pavitt, 1984; Hoogduin, 2014; Veenstra, 2014).

Esta clasificación hace evidente que, para el caso de América Latina, podría ser más conveniente centrarse en el desarrollo y fortalecimiento de capacidades científicas y tecnológicas antes que en la I+D. Los estudios muestran que la I+D no está directamente detrás de la innovación, sino que los procesos de aprendizaje y la innovación social son condición previa. Por ello, una perspectiva menos economicista de la innovación podría ofrecer una mejor comprensión de ésta como resultado de un proceso complejo que abarca a toda la sociedad y no se reduce a la interacción de actores económicos. Esto no quiere decir que se deba dejar de lado la importancia de la competitividad, ni que se deban dejar de perseguir las ventajas dinámicas que ofrece el conocimiento en un contexto global, sino que el conocimiento debe ser tratado bajo otra lógica más allá de la del modelo competitivo, que implica perdedores y olvida que la innovación es un proceso social (French, 1990; Albornoz, 1997; Magro & Wilson, 2013).

Las críticas que señalan que la política de CTI debe ser dotada de una racionalidad distinta a la tecnocrática, cuyos criterios de eficacia y eficiencia tienen como fin la competitividad per se, sugieren que la dimensión política es necesaria porque introduce un análisis

teleológico. El estudio de los fines es necesario porque discute la orientación de las políticas respecto a una visión de la sociedad y las distingue claramente de sus instrumentos de gestión, cuyos aspectos técnicos no se confunden con los fines. Así mismo, se reconoce el carácter social de los procesos producción, difusión y aplicación del conocimiento, así como la importancia del contexto y la articulación de los actores con intereses concretos en torno al Estado. De este modo, las políticas de CTI son vistas como la intersección de capacidades, oportunidades y restricciones (Albornoz, 1997; Beyme, 1994; Ordóñez, 2011).

Analizar capacidades, oportunidades y restricciones en la economía del conocimiento debe ser un menester para el diseño de políticas de CTI, ya que la ciencia es una red socio-técnica que implica relaciones entre científicos y sus entornos económicos, jurídicos, sociales, políticos y digitales. Éste último cobra importancia en la actualidad, ya que el acceso a las TIC posibilitan la difusión del conocimiento científico y aumentan la velocidad de la propagación de ideas en la sociedad y entre los países (Forero, 2005). Además, hacen posible pasar del consumo a la producción del conocimiento, estimulando la colaboración multidisciplinaria geográficamente distribuida. Empero, el acceso a las TIC por sí mismo no resuelve el problema de las brechas en el conocimiento, ni el de los marcos jurídicos que protegen la apropiación del conocimiento por parte de las corporaciones multinacionales (Wolf y Miranda, 2011).

El avance tecnológico no puede sobrepasar por sí mismo las restricciones impuestas a nivel nacional. Aunque el internet hizo más accesible el conocimiento científico internacional esto no redujo las brechas que existen dentro de las mismas naciones ni entre ellas, ya que prevalece la concentración de las TIC en pocos usuarios, lo cual refleja también el nivel de acceso de los investigadores. El fenómeno se debe a los altos costos de la comunicación digital, la formación precaria que impide la absorción y explotación del conocimiento, las restricciones que impone la PI, la dificultad para transmitir el conocimiento tácito y la competencia por fondos de investigación que impide la colaboración científica, la cual es crucial para transmitir conocimiento tácito y reducir los costos derivados de la duplicación de proyectos. Aunado a lo anterior se tiene que la manera de hacer ciencia es distinta en los países industrializados y los países en vías de desarrollo. En los primeros, predominan las

vinculaciones nacionales e internacionales basadas en los equipos de investigación tradicional, que se procuran espacios físicos de estrecha interacción con la comunidad científica. En cambio, los países en vías de desarrollo se caracterizan por tener equipos de investigación que trabajan de manera aislada, sin vinculación nacional e internacional, como receptores pasivos, con agendas limitadas a lo local y publicaciones con arbitrajes deficientes. De ahí que la ciencia latinoamericana, que no sigue la lógica de mercado y se sostiene con fondos estatales nacionales, pierda visibilidad ante la competencia con agendas universales, donde la especialización de grupos crea monopolios del conocimiento (Forero, 2005).

Lograr la colaboración en la investigación ha sido uno de los principales objetivos de la política de CTI, desde que se está haciendo un esfuerzo para transitar del enfoque de fallos de mercado al pensamiento de los sistemas evolutivos complejos. Aunque ahora se sabe que los mercados sí fallan, es evidente la complejidad de los sistemas de innovación, por lo cual su éxito depende del grado de conectividad de las redes, de sus instituciones, de su capacidad de organización y adaptación, así como de su habilidad para transformar el nuevo conocimiento en innovaciones que mejoren el sistema económico y social (Dodgson et al., 2011).

Si bien es cierto que existe una dinámica auto-organizada de los mercados de la ciencia a nivel global que se escapa a toda intervención humana, los gobiernos de cada país generan las condiciones a nivel local a través de la asignación o etiquetas de recursos financieros y la orientación de las políticas de CyT dictando el rumbo de las investigaciones. En este sentido, los equipos de investigación no sólo son sensibles a los programas de financiación, sino que también entran en juego las diferentes vinculaciones de los equipos de trabajo y su contexto nacional con la dinámica de auto-organización de los mercados internacionales (Leydesdorff & Rafols, 2011).

Aunque parece haber una separación radical entre el enfoque de fallos de mercado (neoclásico) y los evolucionistas-sistémicos en la práctica han coexistido dentro de una misma región, a través de la combinación de diferentes instrumentos de políticas de CTI.

En este sentido, se considera pertinente referirse en la actualidad a combinaciones de políticas de innovación y sus instrumentos. El problema de esto es que, aunque en la práctica se usan estas combinaciones, aun no se logra visualizar las implicaciones y los alcances en el diseño, implementación y evaluación de las políticas de innovación. Los resultados de la interacción de las políticas no parecen obedecer a los objetivos individuales enmarcados en ellas, ya que éstos siempre serán mayores que la suma de sus efectos individuales. De ahí que el pensamiento sistémico siga siendo todo un reto y permanezcan los esquemas lineales neoclásico (Magro & Wilson, 2013).

2.1.1. Racionalidades de las políticas de ciencia, tecnología e innovación

A lo largo de los cincuenta años de historia de la política de CTI se pueden distinguir "racionalidades" o lógicas que sustentan determinadas medidas e instrumentos de política de cada periodo. Las racionalidades se conciben como modelos formales, en cierta medida, que orientan el diseño, la implementación y la evaluación de políticas. Estos modelos se basan en teorías, cuyos axiomas, reglas de inferencia y suposiciones sobre la naturaleza del sistema justifican la intervención a través de la articulación de un problema y la lógica del esquema de los resultados esperados de esa intervención. Develar la racionalidad de una política es un paso necesario tanto para realizar una evaluación eficaz como para identificar influencias de otras lógicas. Dado que en la práctica las políticas no siguen una sola racionalidad, sino que más bien predominan las combinaciones de políticas, es menester determinar sus convergencias, divergencias y complementariedades, para superar la dicotomía "racionalidad neoclásica versus racionalidad evolucionista" (Laranja et al., 2008).

Las delimitaciones, funciones y relaciones entre público-privado, ciencia-tecnología y universidad-industria son dinámicas, lo cual dificulta la intervención por parte de las políticas de CTI en los diferentes niveles de los sistemas de innovación (Leydesdorff, 2000). La racionalidad de estas intervenciones puede ser observada desde dos niveles: 1) el nivel meta-lógico o filosófico-ideológico de las políticas de gobernanza, para determinar cómo, cuándo y hasta donde es adecuada la acción gobierno; y 2) el nivel de políticas

específicas derivadas de conceptos y teorías que orientan el diseño e implementación de instrumentos (Laranja et al., 2008). El primero nivel genera paradigmas que cambian la asignación de roles a los actores en materia de exploración y explotación del conocimiento. Históricamente estas racionalidades se han identificado con el nombre de fallos de mercado, misión y cooperativo (Larédo & Mustar, 2001).

La racionalidad o lógica de fallos de mercado se basa en los análisis de la economía neoclásica, la cual considera que el mercado sin restricciones es el mecanismo más eficiente para asignar recursos y guiar a tasas óptimas la producción de conocimiento y el cambio tecnológico. Sin embargo, dado que los mercados fallan en generar mecanismos para la producción y apropiación del conocimiento, se producen externalidades y una sub-oferta o producción inferior al óptimo. Dado que en este enfoque la empresa es el principal actor para impulsar la innovación, la intervención del gobierno es mínima y las políticas de innovación se destinan a subvencionar la I+D y a incentivar la innovación a través de los DPI. Su influencia atraviesa todos los periodos y no sólo limita el rol del gobierno a atender fallos de mercado, sino que también el de las universidades que deben enfocarse en la investigación básica (Magro & Wilson, 2013).

El paradigma de misión predominó de 1945 a 1965 y después resurgió en 1992 extendiéndose hasta el presente. En este enfoque la misión del gobierno es amplia, ya que sus políticas de intervención se centran en definir la I+D de manera planificada en áreas de interés nacional, que no pueden ser atendidas por el sector privado. Se sustenta teóricamente en la gobernanza liberal tradicional, la cual considera que el gobierno tienen gran capacidad para conducir recursos e influir en el desarrollo tecnológico y la innovación. Desde la perspectiva de fallos de mercado el motor del cambio tecnológico es la demanda y la oferta de tecnología. En cambio, en el paradigma misión el sector público moldea la demanda y los mercados de tecnología a través de instrumentos que van desde las regulaciones de la transferencia de conocimiento hasta la demanda de invenciones específicas destinadas al sector público (Bozeman, 2000; Alic, 2008). El reconocimiento de las capacidades del gobierno y las universidades trajo consigo el paradigma cooperativo, cuyo periodo de influencia comenzó en la década de los ochenta y se extendió hasta los

noventa. Este enfoque considera que no sólo las firmas y los mercados pueden impulsar la innovación y el crecimiento económico, sino que éstas pueden cooperar con el gobierno en I+D. Su sustento teórico se encuentra en el desarrollo económico regional, por ello se enfatiza la transferencia tecnológica y los planes económicos centralizados. Una de sus políticas más relevante fue el Acuerdo de Investigación y Desarrollo Cooperativo (CRADA, por sus siglas en inglés), en la cual el gobierno y las universidades desarrollan tecnología pre-competitiva, para acelerar su uso y comercialización en el sector privado, optimizando recursos y facilitado su transferencia intersectorial (Bozeman, 2000; Larédo & Mustar, 2001).

El paradigma cooperativo radica en la conjunción de esfuerzos entre la universidad, el gobierno y la industria para la producción y transferencia del conocimiento. Aunque los acuerdos persiguen la co-producción del conocimiento, la responsabilidad de esta labor recae principalmente en las universidades y el gobierno. Este paradigma trajo consigo cambios en política de patentes en 1980, con el fin de expandir el uso de la tecnología generada en laboratorios de gobierno. Empero, esta medida fue considerada como un patrocinio de la PI por parte del gobierno que no beneficiaba a los verdaderos productores de conocimiento y permitía su apropiación por parte de las industrias. Aun así, este paradigma se ha percibido como contrario al neoclásico por su promoción de la I+D cooperativa, incluso entre los sectores y firmas rivales, ya que impulsa su colaboración en el desarrollo de tecnologías precompetitivas (Bozeman, 2000; Bozeman & Gaughan, 2007).

El reconocimiento de las universidades como principales productores de conocimiento dio origen al acta Bayh-Dole en 1980 en Estados Unidos, la cual permite que éstas posean derechos de propiedad sobre las invenciones que fueron financiados con fondos públicos y obtengan regalías por sus patentes, con el fin de incentivar la invención y generan nuevas fuentes de ingresos (Coupé, 2003). Sin embargo, esta iniciativa cambió la misión pública de las universidades, las cuales pasaron de mantener el conocimiento científico en el dominio público para su potencial utilización en el desarrollo de tecnologías a producir conocimiento aplicado susceptible de apropiación, comercialización y monopolización. Esto ocurrió no sólo en Estados Unidos sino también en Europa, que decidió tomar medidas

similares ante las presiones de la competitividad internacional (Forero, 2005). Los estudios que analizan los resultados de esta política varían. Algunos afirman que contribuyó a la rápida aparición de nuevas empresas de alta tecnología y las altas tasas de crecimiento económico en la década de 1990 en Estados Unidos. Así mismo, se reconoce a las patentes como la forma más eficaz de difusión del conocimiento entre las universidades y de transferencia de conocimiento de la universidad a la industria. Desde la promulgación del acta se identifica un aumento de las patentes y de los recursos financieros en las universidades, así como mayor participación de las universidades en actividades con la industria y el surgimiento de la investigación biomédica. Por otro lado, los argumentos en contra señalan que si bien aumentó la cantidad de patentes académicas, su importancia, generalidad y calidad disminuyó, debido a que fueron producidas por académicos inexpertos. Además, se encontró evidencia de que los avances en materia económica se deben a la proliferación de oficinas de transferencia de tecnología en las universidades (Mowery & Ziedonis, 2002; Rodríguez & Gómez, 2011; Trouset, 2014).

A partir de la década de 1980, las naciones industrializadas han desarrollado relaciones mercantiles centradas en el conocimiento científico, por ello los gobiernos de todo el mundo han cambiado sus instrumentos de política de innovación. Estos instrumentos pasaron de ser tradicionalmente económicos y enfocados en la distribución de recursos a promover la creación, producción, difusión y apropiación de diversos tipos de conocimiento aplicado a objetivos sociales, políticos y económicos (Martin, 2012; Niinikoski & Moisander, 2014). La evolución de las políticas de innovación hacia la lógica sistémica ha hecho más complejas las racionalidades o lógicas que sustentan a éstas, haciendo que coexistan en un mismo diseño tanto políticas evolucionistas-sistémicas junto a neoclásicas. Por ello, es menester desarrollar una comprensión integral del funcionamiento global del sistema de políticas de CTI y sus combinaciones subyacentes (Magro & Wilson, 2013).

Las racionalidades o lógicas subyacentes en las políticas de CTI se basan más en la búsqueda de resultados que en teorías. Estas últimas son más orientativas y heurísticas en el diseño de políticas que una dicotomía entre fundamentos teóricos neoclásicos y

evolucionistas/sistémicos. Por ello en un mismo diseño se pueden encontrar dos teorías en aparente tensión, pero con diferentes combinaciones y aplicaciones. Un ejemplo claro son las subvenciones e incentivos fiscales aplicados a la I+D, recomendados por la teoría neoclásica en etapas tempranas del desarrollo de un sector tecnológico, junto a instrumentos para promover el aprendizaje y el desarrollo de las capacidades cognitivas fundamentados en la lógica evolucionista. Si bien es cierto que cada teoría implican una racionalidad diferente, sus fundamentos no excluyen ni invalidan las concepciones anteriores, más bien las incluyen para aumentar la variedad de combinaciones y, por ende, su complejidad (Laranja et al., 2008).

2.2. Fallos en el sistema de innovación para la producción y explotación del conocimiento

Los cambios en las políticas de innovación, cuya trayectoria va desde los instrumentos económicos neoclásicos hacia la lógica sistémica, ha generado la emergencia de nuevos fundamentos teóricos que plantean fallos del sistema en lugar de fallos de mercado aislados (Magro & Wilson, 2013). La preocupación central son los procesos de exploración y explotación del conocimiento dentro de los sistemas de innovación y se considera que existe una falla cuando no se genera un cambio tecnológico deseado. Los análisis al respecto se pueden agrupar en tres tipos: fallos de mercado, inercia a nivel sistemas y emergencia inhibida, cada uno de los cuales relaciona las fallas con mecanismos y dinámicas diferentes (Gustafsson & Autio, 2011:819).

La exploración del conocimiento son las actividades de innovación relacionadas con la búsqueda de nuevas posibilidades de aplicación y detección de propiedades inexploradas de la tecnología a través de la experimentación, por lo tanto, se relaciona con las innovaciones radicales. Los procedimientos de exploración en general son desarrollados por firmas que gozan de cierta flexibilidad por no tener definida una búsqueda específica. En cambio, la explotación del conocimiento consiste en el uso activo de conocimiento específico existente en las trayectorias tecnológicas, que es susceptible de apropiación y está relacionado con las innovaciones incrementales. Incluye el uso de conocimiento codificado en forma de patentes/licencias, la transferencia de tecnología y la imitación. Las firmas involucradas en

estas actividades tienen capacidades para entender y recombinar conocimiento existente con alto contenido de I+D y adaptar los derechos de propiedad intelectual de manera estratégica. Tanto la exploración como la explotación, implican la producción de nuevo conocimiento, la diferencia radica en su impacto en la estructura tecnológica y de mercado (Fernández-Esquinas et al., 2015; Nicolau-Juliá, Expósito-Langa, & Tomás-Miquel, 2015).

Dado que la innovación no se reduce a las actividades inventivas radicales o incrementales de los centros de investigación, sino que implica la intervención de muchos actores e instituciones, así como la combinación de diferentes tipos de conocimiento, capacidades y recursos para lograr la comercialización, ésta no debe analizarse como un proceso de descubrimiento, sino como un fenómeno sistémico complejo (Rodríguez & Navarro, 2014). A esto se debe que los procesos de transferencia de tecnología de un entorno organizacional a otro sean cruciales para pasar de la invención a la comercialización o uso. Sin embargo, el proceso de transferencia implica muchos procesos simultáneos, lo cual dificulta separarlos de otros procesos o dinámicas de las organizaciones (Bozeman, 2000).

Estos procesos conllevan la transferencia de conocimiento tácito, el cual está embebido en los grupos y requiere de la interacción cercana, de la existencia de capacidades cognitivas y de dinámicas sociales que faciliten el aprendizaje. El conocimiento tácito a su vez requiere de varias habilidades y capacidades, que podrían clasificarse como: analíticas, sintéticas y simbólicas. El *conocimiento analítico* se basa en un entendimiento profundo de la investigación científica y del conocimiento codificado, como descubrimientos científicos y patentes con alto contenido de I+D. El *conocimiento sintético* está relacionado con la capacidad de hacer uso del conocimiento existente y lograr nuevas combinaciones. El *conocimiento simbólico* permite la creación de realidades con alto significado cultural y es ampliamente utilizado en las industrias culturales y creativas. La comprensión de las dinámicas de explotación y exploración requiere la identificación de estos tipos de conocimiento tácito (Fernández-Esquinas et al., 2015).

La racionalidad que ha orientado la intervención gubernamental en las actividades de exploración y explotación es la de fallos de mercado, cuya raíz teórica neoclásico considera que puede haber falla de inversión en la producción y uso de conocimiento por su inherente naturaleza pública. La falla puede darse a nivel de un actor o de un sistema económico y se asocia a diferentes causas, como la incertidumbre y el riesgo derivados de las externalidades, que se generan porque el mecanismo de precios falla en reflejar y asignar el valor correctamente de los beneficios de la innovación. En consecuencia, los mecanismos de apropiación de los retornos de la inversión fallan generando una subinversión. Cuando esto ocurre, no se logra el óptimo de Pareto, debido a que la información es asimétrica y las señales de precios se encuentran distorsionadas y, por lo tanto, el precio de mercado no da cuenta de los efectos de las acciones de unos actores económicos sobre otros, ni refleja el valor social de los beneficios de la innovación tecnológica (Gustafsson & Autio, 2011).

La raíz teórica de esto se encuentra en los estudios de Robert Solow (1956), quien argumentó que la tecnología no debía ser tratada como un factor exógeno residual, sino como endógeno, ya que sólo una parte limitada del aumento total de la producción podía atribuirse al capital y el trabajo. Sin embargo, en sus trabajos la tecnología se concebía como conocimiento codificado perfectamente susceptible de transmisión para su aplicación. Nelson (1959) y Arrow (1962) indagaron sobre los aspectos económicos del conocimiento y mostraron que las características tecnológicas del proceso de innovación y la naturaleza de los mercados del conocimiento influyen en la asignación de recursos para la inversión. Dado que el conocimiento se hace visible cuando se materializa en nuevos bienes y servicios, éste se filtra y genera derramas que ocasionan baja apropiación de los beneficios por parte del inversor original, lo cual conduce a la incertidumbre y, por ende, a la subinversión en su producción (Dautrey, 2012; Martin, 2012).

A partir de estos estudios el conocimiento es concebido como un bien público por su propia naturaleza no-excluyente, cuyas dificultades en su apropiación resultan en desincentivos para su producción con fines comerciales y en oportunismo en su uso sin invertir en su exploración. Las derramas de conocimiento se consideran la principal externalidad y efecto

de una protección de la PI imperfecta. Dado que la inversión por parte de las empresas en I+D no es socialmente óptima, se genera un fallo de mercado en la asignación de recursos privados para la producción de conocimiento, el cual justifica la intervención del gobierno a través de la financiación pública de la I+D, subvenciones para la financiación de capital de riesgo, incentivos fiscales, suministro de infraestructura tecnológica y una protección fuerte de los DPI (Martin, 2012; Laranja et al., 2008; Gustafsson & Autio, 2011).

Si bien es cierto que los mercados fallan, el análisis y propuesta neoclásicas por sí mismos resultan limitados para fundamentar una política de innovación, debido a que su argumento total se basan en el supuesto de la competencia perfecta vinculado a la idea de equilibrio y a una óptima asignación de recursos en la economía. Sin embargo, las derramas de conocimiento son intrínsecas al proceso de innovación mismo por la naturaleza acumulativa, no excluyente, no rival y de reproducción sin costo del conocimiento. Por ello, una solución basada en el mercado es incompatible con el acceso libre que se requiere para lograr la eficiencia social. Así mismo, la innovación implica cambios en el conocimiento humano y el modelo de competencia perfecta estacionario no considera estos cambios. Los fundamentos teóricos de una política innovación en la economía del conocimiento deben considerar que la competencia es un proceso de desequilibrio dinámico, como bien ya lo señalaba Schumpeter, y que el sistema de innovación incluye la interacción de una gran variedad de procesos que no se reducen a los de mercado (Dodgson et al., 2011).

Aunque el enfoque neoclásico de fallos de mercado justifica la intervención pública en las actividades de exploración y explotación del conocimiento, sus análisis también adolecen de una falta de consideración del territorio y las disparidades económicas entre y dentro las naciones. Esta falencia se atiende en la teoría del crecimiento endógeno, la cual, basada en estudios Schumpeter y Arrow, considera que la innovación es el resultado de procesos de aprendizaje, proximidad espacial, derramas de conocimiento y la inversión en I+D. Dado que la difusión del conocimiento requiere de la capacidad absorción por parte de los receptores y éste no se difunde libremente, las políticas de intervención del gobierno consisten en promover la inversión privada en I+D y formar capital humano altamente

cualificado. Sin embargo, este enfoque sugiere cierto determinismo al señalar que las disparidades regionales aumentarán con el tiempo, debido a la concentración espacial de las capacidades en I+D, a los efectos de rendimientos crecientes y a la poca capacidad de absorción de nuevo conocimiento de las regiones atrasadas (Laranja, Uyerra, & Flanagan, 2008).

El enfoque considera además que los retornos de la inversión generados por el monopolio parcial de la propiedad intelectual no bastan para promover la inversión privada en I+D, ya que persiste el problema de la apropiación total y las derramas del conocimiento. Debido a ello sus políticas de CTI favorecen a las regiones con mayor concentración de capacidades en I+D, lo cual no contribuye a reducir la brecha entre regiones, ni fomenta la cohesión territorial. Así mismo, este enfoque adolece de asumir una asociación lineal entre la concentración espacial de los recursos de I+D y su transformación en valor socioeconómico en la misma escala espacial, sin considerar que la producción y difusión del conocimiento tienen dinámicas que rebasan las delimitaciones espaciales entre industrias, sectores, regiones y países (Laranja, Uyerra, & Flanagan, 2008; Harris, 2001).

En la década de los ochenta, a raíz de los análisis de la economía evolucionista y el neo-institucionalismo económico, surge la perspectiva de sistemas de innovación, la cual considera que la producción y explotación exitosas del conocimiento son el resultado de la trayectoria tecnológica, la infraestructura de innovación, las políticas públicas, las instituciones y las interacciones de los actores existentes en las regiones y/o sectores. Se considera que el sistema falla en producir las innovaciones deseables debido a estrategias divergentes entre funciones y agentes especializados heterogéneos, así como por una vinculación deficiente entre éstos para sincronizar actividades y procesos socio-cognitivos (Leydesdorff, 2000; Geels & Schot, 2007).

La multi-causalidad que maneja este enfoque ha generado una gran variedad de sub-categorías para identificar las fallas de sistema, que generalmente se refieren a deficiencias en la infraestructura de innovación y en la configuración institucional, las cuales provocan un mal desempeño del sistema de innovación, una inversión sub-óptima en I+D y una

aparente dicotomía entre exploración y explotación del conocimiento. La primera distinción que hacen estos estudios es entre sectores tecnológicos emergentes y sectores tecnológicos maduros, ya que sólo en los segundos se puede hablar de trayectorias tecnológicas. Así mismo, es menester determinar si se trata de un sistema con un ambiente institucional estable o emergente y la densidad de los vínculos entre el micro y el macro nivel. Dependiendo de estas distinciones, a su vez las fallas que podrían presentarse son fallas institucionales duras o blandas, fallas de redes fuertes y débiles, fallas de transición, fallas de infraestructura y de actores (Gustafsson & Autio, 2011).

Un fallo de sistema refleja deficiencias en el conjunto de actividades de innovación y en las conexiones del sistema para lograr un cambio tecnológico de valor estratégico para la economía. La conectividad del sistema es crucial para los procesos de aprendizaje y para la generación y difusión de nuevo conocimiento. Cuando un sistema de innovación en un campo tecnológico maduro es incapaz de evolucionar aprovechando nuevas oportunidades para generar un cambio tecnológico se considera que hay una falla de bloqueo. La inercia genera que el sistema se quede atrapado en las trayectorias tecnológicas predominantes y no logre adaptarse a las innovaciones requeridas. Esto implica que los actores, aun conociendo las nuevas oportunidades, están atrapados en el paradigma tecnológico dominante, debido a compromisos institucionales, relaciones de poder y control de los recursos críticos. Este tipo de fallas requieren mejorar el desempeño sistémico promoviendo nuevas configuraciones institucionales que estimulen el aprendizaje, la conducta adaptativa, las interacciones y asociaciones entre los actores (Laranja et al., 2008).

La inercia en la macro-estructural tiene influencia a nivel organizacional y se genera una falla en las firmas para adaptarse a un cambio tecnológico disruptivo aprovechando las nuevas oportunidades que éste ofrece. Esto ocurre porque durante las trayectorias de dependencia las firmas desarrollan mecanismos de procesamiento de la comunicación, filtros de información, estrategias e inercia estructural, lo cual genera modelos de administración inflexibles, que impiden la adaptación y la respuesta efectiva a las discontinuidades del cambio tecnológico. Las capacidades establecidas en recursos físicos, humanos y organizacionales se vuelven obsoletos, destruyendo competencias cuando la

tecnología emergente se da en nuevos dominios del conocimiento. Las firmas no pueden responder a la amenaza de las discontinuidades tecnológicas debido a la falta de capacidades dinámicas y de procesos de aprendizaje, así como por la carencia de recursos para asumir los altos costos asociados al cambio tecnológico (Geels, 2010; Hoogduin, 2014).

El estudio de las causas de esta falla y la falta de sincronización entre los actores es ampliado por el modelo de triple hélice. Leydesdorff (2000), basado en el modelo de tecnologías competidoras de Arthur (1989), incluye el rol de la creación y definición de expectativas tecnológicas como un mecanismo crítico de sincronización entre tres fuentes de variación aleatoria: la universidad, la industria y el gobierno. Estos tres componentes tienen intercambios dinámicos, por lo cual el sistema es visto como un espiral, formando un régimen complejo. Cuando las expectativas son constreñidas o tienen una formación sub-óptima se da una inercia del sistema y el bloqueo.

Las fallas del sistema de innovación implican que las estructuras organizacionales no pueden reconfigurarse para adaptarse al cambio tecnológico, ya que se encuentran profundamente embebidas en las trayectorias de dependencias de recursos y conocimiento, inhibiendo la emergencia de la nueva estructuración productiva. Así mismo, los órdenes de interrelación establecidos inhiben la emergencia institucional y la reconfiguraciones de las redes necesarias para generar nuevos modelos mentales, procesos de aprendizaje y creación de conocimiento más allá del paradigma tecnológico dominante. Las estructuras institucionales establecidas provocan la desconexión y asincronía del conocimiento, porque fomentan expectativas de los roles ya establecidos e inhiben la incursión en la exploración y explotación de la nueva tecnología (Leydesdorff, 2000).

Dado que los actores que incursionan en campos tecnológicos emergentes carecen de legitimidad sociopolítica y cognitiva, no son capaces de impulsar los cambios en la estructuración tecnológica e institucional. El régimen institucional y la configuración de las relaciones organizacionales de las regiones altamente industrializadas puede limitar la capacidad de percepción, entendimiento y absorción de las nuevas oportunidades

tecnológicas y su respectivo orden social emergente, dejándolas atrapadas en una tecnología dominante. La infraestructura del conocimiento, generada por el régimen institucional, funge como un mecanismo de retención produciendo fallas en las conexiones para generar expectativas y sentido colectivo sobre la nueva producción del conocimiento. Esto genera pérdida de flexibilidad, asincronías y retrasos debido a las traducciones divergentes de los actores respecto a la tecnología emergente, ya que se encuentran embebidos y comprometidos en roles institucionales dominantes (Geels & Raven, 2007; Leydesdorff & Ivanova, 2016).

La falla de bloque se conjuga con un fallo conocido como emergencia inhibida. La evolución de un sistema de innovación implica una progresión de una estructura débilmente conectada a una fuertemente vinculada con rutinas enfocadas en la explotación eficiente. Empero, esta progresión puede ser inhibida por la incertidumbre, el riesgo y la exploración fragmentada, más que organizada, así como por la falta de legitimidad de los paradigmas tecnológicos emergentes. El sistema falla en transitar de un estado a otro por la falta de sincronía de las actividades entre actores heterogéneos, ya que las estructuras compartidas no están coordinadas (Gustafsson & Autio, 2011).

El institucionalismo ya había abordado la emergencia inhibida, pero fue ampliado con los estudios del neo-institucionalismo y la construcción social de la tecnología. Esto permitió identificar los "mecanismos socio-cognitivos" que inhiben la emergencia de un nuevo orden institucional y de sentido social para la exploración y explotación del conocimiento, así como del aprendizaje a nivel sistema de innovación. La perspectiva socio-cognitiva dio como resultado la distinción entre la inercia estructural del sistema y la emergencia inhibida para analizar la dinámica de los campos tecnológicos emergentes, entendidos estos últimos como patrones de relaciones entre objetos y humanos a través del mercado de productos. En este sentido, el enfoque socio-cognitivo provee una tercera racionalidad en la identificación y generación de políticas de intervención de fallas en la exploración y explotación del conocimiento (Gustafsson & Autio, 2011; Dodgson et al., 2011).

Aunque la perspectiva socio-cognitiva identifica los mecanismos causales subyacentes que facilitan o dificultan la emergencia institucional, fue la sociología neo-institucional de las organizaciones la que aportó en años recientes nuevos elementos para comprender la dinámica y el cambio de las configuraciones institucionales a través de tres categorías de las estructuras: reguladoras, normativas y cognitiva-culturales. Las reglas formales o reguladoras emanan del gobierno, tienen como fin regular el proceso económico, son explícitas, limitan el comportamiento y coordinan las interacciones. Las reglas normativas se internalizan a través de procesos de socialización, se refieren a valores, expectativas de roles, deberes, derechos y obligaciones, que moldean y legitiman los objetivos de los actores dentro del sistema. Las reglas cognitiva-culturales emerge de concepciones e interpretaciones compartidas, generando la construcción social de la realidad y el sentido asociadas a los objetos y actividades (Berger y Luckmann, 1967; Geels & Raven, 2007).

Las reglas cognitivas pueden proporcionar un mecanismo de retención, pero también posibilitan el cambio a través de la reconfiguración de los elementos centrales del régimen industrial existente, es decir, las habilidades, los conocimientos técnicos y los marcos cognitivos (Geels y Turnheim, 2010). Dado que las instituciones no sólo crean rutinas y estabilidad sino que también generan cambio, los regímenes institucionales pueden fomentar la inercia, inhibir la emergencia de un nuevo régimen tecnológico o cambiar como resultado de la interacción social entre grupos, que actúan para alcanzar sus objetivos de acuerdo a sus percepciones, preferencias, estrategias y recursos (North, 1990; Hodgson, 1998; Geels, 2004).

La configuración de la estructura institucional y su densidad coordinan las redes de interacciones en los sistemas de innovación determinando si las instituciones sirven como un constrictor socialmente construido o como impulsoras del cambio y acelerador de los procesos de aprendizaje (Laranja et al., 2008). De ahí que sea necesario construir estructuras institucionales que permitan gestionar adecuadamente la relación inversa que contiene el conocimiento entre apropiación y difusión (Stezano & Velez-Cuartas, 2007). En la economía del conocimiento, un cambio en una institución que regula el flujo de conocimiento para restringir o permitir el acceso libre podría afectar los procesos de

exploración y explotación. Esto se debe a que el conocimiento es el resultado de procesos de aprendizaje, absorción, acumulación, combinación y generación de nuevo conocimiento, lo cual moldea las trayectorias de dependencia. Una institución de esta naturaleza interactúa y afecta los elementos básicos de los regímenes industriales: regulaciones, leyes, estándares, normas, misión, mentalidades, sistema de creencias, conocimiento tecnológico y capacidades (Geels, 2004; Geels, 2010).

Las acciones e interacciones en materia política, social y económica, están medidas por las instituciones que regulan la conducta de los actores. Un cambio en la conducta obedece a la evolución de las instituciones, es decir, a un cambio en las reglas formales e informales que determinaran las oportunidades, limitaciones y opciones que tendrá un grupo de individuos en la sociedad (North, 1990; Nelson y Winter, 1982). Si las instituciones conciben al conocimiento como externalidad o como un bien público de producción social, esto repercute en los grados de acceso, acumulación, apropiación y oportunidad, facilitando o inhibiendo el cambio tecnológico. El hecho de que las actividades de innovación sean reguladas sobre la base de los DPI mantiene al conocimiento en el marco de la competencia de mercado y genera aparentes paradojas que dificultan elegir entre acceso libre y los DPI (Malerba y Orsenigo, 2000).

La perspectiva de fallos de sistema ofrece la posibilidad de superar esta paradoja a través del diseño de instrumentos de política "blandos" o "procedimiento", los cuales tienen como fin moldear las instituciones, debido a que este enfoque deja de ver el conocimiento como una mera externalidad y hace énfasis en los procesos de aprendizaje y cooperación. Esto ha traído como resultado que en la práctica se den combinaciones de instrumentos de política que contemplan tanto la subinversión en la producción de conocimiento como la promoción de los procesos de aprendizaje. Desde la perspectiva regional, esta combinación no debe limitar su alcance a los espacios geográficamente establecidos, sino que debe considerar que la jurisdicción político-regional sobrepasa estas delimitaciones. De ahí que los cambios institucionales deban promoverse de forma simultánea en diferentes niveles territoriales y con instrumentos producidos por varias racionalidades (Laranja et al., 2008).

2.3. El análisis de la política de ciencia, tecnología e innovación desde las instituciones

En materia de políticas públicas, la intervención del Estado implica un conjunto de decisiones tendientes a conseguir los objetivos planteados en un modelo de política, el cual contiene el tipo de relaciones socioeconómicas, los procesos y el conjunto de normas/reglas (instituciones) que se requieren para conseguir los resultados esperados. Este proceso social "dirigido", pese a tener una orientación normativa (Oszlak, & O'Donnell, 1995), no es estático, sino más bien dinámico. Su constante cambio no se debe a procesos cognitivos o racionales, es decir, el cambio en la orientación no se da porque los actores acceden a nueva información o conocimiento que les ayuda determinar un nuevo punto óptimo. Esto es más bien resultado de una construcción discursiva, la cual es producto de negociaciones de grupos con diferentes intereses dentro marcos institucionales (Niinikoski & Moisander, 2014).

El enfoque de sistemas de innovación hizo un aporte relevante a los estudios de las políticas de CTI al argumentar la importancia de las instituciones. Sus trabajos demuestran que si bien podemos observar los patrones de innovación en términos de flujos de conocimiento tecnológico, el análisis queda incompleto sino se determina cómo las instituciones moldean y median estos flujos, ya que éstas condicionan las decisiones de los grupos. A esto se le debe agregar el componente geográfico de las instituciones formales e informales, el cual explica los resultados diferentes entre naciones, porque la trayectoria tecnológica de una nación determina el tipo de conocimiento acumulado en ellas. En otras palabras, el desempeño de la innovación de una nación también dependen del marco institucional que regula las interacciones de sus redes de innovación (Laranja et al., 2008).

El tipo de instituciones que conforman el sistema de regulación de una política de CTI debe analizarse minuciosamente desde la formulación de la política, la cual contiene un conjunto de reglas y normas compuestas de discursos que generan prácticas sociales. En este sentido, cada cambio o reformulación de una política implica un cambio del discurso que la constituye, ya que las instituciones no sólo son un sistema de reglas, sino que contienen

conocimiento organizado desde una variedad semántica que permite analizar la comprensión de los actores del campo político, económico, administrativo, legal y técnico (Niinikoski & Moisander, 2014). Lester y Stewart (2007) señalan que en la etapa de la formulación de políticas públicas una de las principales soluciones para un problema público se basa en las reglas o instituciones. El análisis de las instituciones es importante porque éstas determinan el comportamiento de las organizaciones, de los grupos y de los sujetos. Además, legitiman ciertos modos de actuar, de asignar recursos y dotan de sentido. Esto último se refiere a la construcción y evolución de los órdenes institucionales con base en el lenguaje, que posibilita detectar desde su orden simbólico transversal los inductores del cambio cultural, económico y social (Giddens, 1998).

El modelo de cambio institucional, que como señala Majone (1997) es una extensión del modelo de elección racional, dota de especial importancia a las reglas del juego político, ya que son las estructuras institucionales las que determinan en gran medida los resultados de las políticas. El cambio de las estructuras institucionales, que se relaciona con el desarrollo de las políticas, a su vez depende de la innovación conceptual. En este sentido, un marco de análisis evolutivo enfatiza la relación entre el desarrollo conceptual y el de las políticas, pues se considera que los cambios ocurridos en las políticas prevalecientes son resultado de un proceso de variación conceptual. La propuesta del modelo de elección racional se enmarca inicialmente en el enfoque lógico positivista, el cual demanda clarificar los conceptos clave usados en la política, con el fin de obtener una teoría del comportamiento dinámico de las políticas públicas (Majone, 1997). Empero, la crítica post-positivista ha señalado varias debilidades de este enfoque, por lo cual es necesario robustecerlo (Lester & Stewart, 2007).

Para tal fin, se parte de la premisa de que el alcance y los límites del conocimiento se relaciona con los alcances y límites del lenguaje, porque éste comunica el conocimiento y la estructura del pensamiento. El lenguaje no sólo describe la realidad, también persuade, manifiesta emociones, valora y es un sistema de representación (Majone, 1997; Navarro, 2011). Dado que las políticas públicas están hechas de palabras se puede analizar el lenguaje de las instituciones que resultan de la formulación de las mismas. El análisis debe centrarse

en el lenguaje porque a través de él se hacen juicios de valor y se ensanchan las fronteras de la factibilidad política a medida que se persuade a la opinión pública de que acepte nuevas ideas que rompan con la inercia intelectual e institucional. Además, las restricciones normativas que limitan la libertad de elección se superan cuando se consigue mayor flexibilidad institucional. Superar las restricciones artificiales impuestas por una institución es de crucial importancia para la innovación política, porque una institución incluye leyes, reglamentos, normas, organizaciones, procedimientos para la toma de decisiones, define los roles y constriñen las estrategias de los actores (Majone, 1997).

Giddens señala que los dos aspectos más importantes de la estructura son reglas y recursos envueltos recursivamente en instituciones. Empero, son las reglas o formas institucionales las que asignan recursos y legitiman ciertos modos de actuar. Observar las reglas aplicadas en la reproducción de prácticas institucionalizadas hace posible interpretar el comportamiento de los actores en términos de restricciones estructurales sobre actividades específicas en escenarios de interacción (Giddens, 1998; Wellman, 1999; Lester & Stewart, 2007). La estructura institucional debe ser analizada por escalas, ya que en la relación macro-estructura y micro-estructura se reflejan las interpretaciones que los individuos hacen sobre la macro-estructura percibida para ajustarse a ella. Estas interpretaciones se realizan en la búsqueda de un cambio de posición en la estructura (Bourdieu, 1980; De Nooy, 2002).

En este marco, es imperativo estudiar las instituciones cognitivo-culturales involucradas en el cambio institucional (Turnheim & Geels, 2011:7), dado que las estructuras institucionales no son inmóviles y se encuentran en una dinámica de cambio constante, generado a partir de los nuevos sentidos que los sujetos construyen. El lenguaje de las relaciones sociales es el lenguaje de la regulación social; ello implica la comprensión de las relaciones sociales como comprensiones de hechos tipificados, aceptados socialmente e institucionalizados (Pizarro, 1998). El siguiente apartado tiene como fin develar el lenguaje que legitima la apropiación privada del conocimiento, abordando el marco conceptual de la institución más importante de la política de CTI: la propiedad intelectual.

2.4. Propiedad intelectual y dominio público: apropiación privada y social del conocimiento

La PI⁷ son derechos concedido por el Estado que protegen legalmente los productos de la creatividad intelectual de acuerdo a alguno de los siguientes rubros: derechos de autor, marcas, patentes, modelos de utilidad, diseños industriales y secretos comerciales. Sus dos subsistemas más importantes, por el impacto que tienen en la CTI, son las patentes y los derechos de autor. Una patente es un derecho de propiedad exclusivo, que otorga a su titular protección dentro del territorio en el cual fue concedida, durante veinte años sobre una invención/idea que tiene una aplicación práctica o una función útil. La patente concede un monopolio para manufacturar, usar o vender de manera exclusiva en un determinado país o región. Una vez concedida, ésta puede ser ejercida, comercializada vía licencias, vendida, transferida o abandonada. El periodo de exclusividad inicia el día de la fecha de la primera solicitud de la patente y se requiere un pago periódico para mantener el derecho vigente hasta su máximo término (Kinsella, 2001; Jalife, 2012).

Según la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual⁸ (OMPI) (2015), a cambio de este derecho exclusivo el solicitante tiene la obligación de divulgar al público la información de la naturaleza de la invención, 18 meses después de la aplicación inicial, en un documento disponible públicamente. La presentación de una solicitud de patente contiene una descripción detallada, precisa y completa de la invención, lo cual aparece en el documento en forma de reivindicaciones. La descripción debe ser tal que cualquier persona con pericia en el tema pueda utilizar la información contenida en el documento, más no producir ni comercializar el producto resultante de la invención. Las reivindicaciones contienen las características de la invención y en ellas se encuentran definidas la amplitud y los límites de las patentes, es decir, la información que no se encuentra ahí no está protegida aunque sea parte de la invención (Rockett, 2010).

⁷ En algunos países europeos el término que se usa en lugar de propiedad intelectual es propiedad industrial.

⁸ Esta información fue tomada de la OMPI o WIPO por sus siglas en inglés. Información disponible en: http://www.wipo.int/patents/es/faq_patents.html

El sistema de patentes ofrece beneficios sociales porque, como señala el Instituto Nacional de la Propiedad Industrial chileno, constituye una extensa fuente de información tecnológica de amplio espectro, sumamente útil cuando se trabaja en innovación o cuando se busca una solución tecnológica. Cualquier organización o individuo puede usarla para: a) explotar la tecnología de las solicitudes de patente que no fueron concedidas, así como de aquellas que no son válidas en el país o han perdido su vigencia; b) extraer, analizar y examinar las tendencias tecnológicas en determinados sectores de la economía mundial; c) conocer la orientación futura de la competencia; d) evitar la duplicidad de esfuerzos en I+D; e) determinar la patentabilidad de las invenciones y estimar su valor comercial; y f) evitar la infracción de las patentes de otros inventores⁹.

El hecho de que se exija legalmente la divulgación pública del conocimiento tecnológico para poder solicitar el DPI implica la presunción de que el sistema de patentes tiene mecanismos para lograr los objetivos enmarcados en las leyes de PI, que son el progreso de la ciencia, la tecnología y la innovación. Las bases de datos de patentes, que se generan como resultado de la obligación de revelar la información, ofrecen la posibilidad de conocer el estado de la técnica y hacer vigilancia tecnológica para anticiparse a nuevos productos de los competidores. Sin embargo, la revelación de la información aparece en las bases de datos 18 meses después de presentar la solicitud, generando un retraso en el monitoreo de los cambios tecnológicos en los competidores y, por ende, del tiempo que tienen para reaccionar (Gerken et al., 2014).

Ahora bien, los examinadores evalúan el grado de significación de una patente, que es una valoración sobre el grado de avance técnico y científico que contiene la patente. Este difiere entre países de acuerdo a los requerimientos de calidad, los cuales se basan en criterios de "no obviedad" y "novedad" de la invención. Aunque la patente provee un derecho exclusivo de explotación, ésta no garantiza que otros hagan uso de la información contenida en ella, por lo cual es un sistema de protección imperfecto. Así mismo, el titular de la patente no tiene la obligación de practicar su derecho, dado que esto podría depender del derecho de la patente de otro inventor sobre la cual se construyó la suya, más aun si su ejercicio

⁹ Información disponible en: <http://www.inapi.cl/portal/publicaciones/608/w3-propertyvalue-726.html>

infringe el derecho de otro u ocasionado que se deban pagar las regalías de las patentes vigentes sobre las que se construyó, generando una costosa maraña de patentes. Esto se debe a que legalmente lo que se protege es la forma de una invención, pero no la idea subyacente. Por lo tanto, no son patentables los descubrimientos en forma de leyes naturales, fenómenos naturales e ideas abstractas, a menos que se transforme en una aplicación práctica (Rockett, 2010; Kinsella, 2001; Shapiro, 2001).

Cuando el periodo de vigencia de una patente ha expirado pasa a ser parte de lo que se conoce como dominio público, la invención deja de estar protegida y puede ser utilizada por cualquier persona, empresa o institución. Se considera que una patente también es de dominio público si no ha sido solicitada la protección en un territorio, aun estando vigente en otros países, si fue abandonada o si su inventor renuncia a su derecho. La ley de PI reconoce excepciones en el uso de las patentes, entre las que se encuentra el uso experimental con propósitos de investigación. Entre las ventajas que ofrece el sistema de patentes se encuentra que la información contenida en ellas que ha pasado al dominio público puede ser de gran utilidad para empresas y científicos, ya que se puede usar sin costos asociados (Rockett, 2010).

En cuanto a los derechos de autor, que también son conocidos como copyright en el derecho anglosajón, son un conjunto de normas jurídicas, tanto morales como de explotación o patrimoniales, que la ley concede a los autores de una obra literaria, artística o científica. Estos derechos dotan del monopolio de explotación a los autores hasta por 70 años, aunque este periodo varía según la legislación de cada país (Abadal, 2012). Los derechos morales se clasifican en: a) derecho de paternidad de la obra, b) derecho de integridad de la obra y c) derecho de retracto. Los derechos patrimoniales o económicos del autor son una extensión de las libertades de asociación, empresa y comercio. Estos consisten en: a) derecho de comunicación al público, b) derecho de reproducción o realización de copias, c) derecho de modificación, transformación o derivación de la obra, y d) derecho de distribución (Vercelli, 2009).

Una vez que se termina el periodo de protección, las obras pasan a la categoría jurídica conocida como "dominio público" y se pueden reproducir, distribuir, transformar y comunicar públicamente sin pedir autorización al autor o violar su derecho. El derecho de autor permite tratar las obras intelectuales como bienes privados, lo cual implica una forma de generar escasez, regular la producción y construir relaciones mercantiles alrededor de bienes que son intangibles por naturaleza. La gestión mercantil de las obras intelectuales por parte de las corporaciones comerciales es posible a través de la regulación de los entornos digitales, en los cuales se crean medidas tecnológicas de restricción y artefactos anti-copia para la gestión los derechos (Vercelli, 2009; Abadal, 2012).

La importancia del derecho de autor y de su gestión se debe a que éste abarca el conocimiento científico, el cual, hasta la década de 1970, era considerado como un lugar colectivo que podía ser usado para construir nuevo conocimiento científico y tecnológico. El fortalecimiento del derecho de autor ha hecho posible un progresivo estrechamiento de los espacios públicos de la información científica y ha generado la apropiación corporativa del conocimiento. El derecho de autor se ha extendido a lo que por ley era parte del dominio público: los descubrimientos científicos. El problema de esta extensión es que dificulta a los investigadores el uso del conocimiento previamente generado por otros investigadores. De ahí que anteriormente los datos científicos fueran estrictamente considerados como bienes públicos, no como bienes económicos (Forero, 2005).

Con la firma del ADPIC por parte de los países miembros de la Organización Mundial del Comercio (OMC), en 1994 en la Ronda de Uruguay, se fortalecieron y homogenizaron los DPI a nivel internacional. El discurso legitimador de tal medida fue y es que los DPI son una condición esencial para incentivar la innovación. Esto se tradujo en mayores niveles de protección legal y políticas más estrictas en los dos subsistemas más importantes: los derechos de autor y las patentes. Esta política universal parte del supuesto de que los DPI incentivan la innovación a través de la concesión de un monopolio de explotación necesario para recuperar la inversión, limitar los efectos del problema del polizón (*free rider*) ocasionados por las derramas de conocimiento, obtener una ganancia legítima, recompensar los riesgos y premiar el trabajo del inventor (Drahos, 2009; Guaran, 2009; Bhat, 1996).

El fortalecimiento e implementación homogénea a nivel mundial de los DPI, bajo el supuesto de que estimulan la innovación y el progreso de la CyT, ha traído como resultado que se estudie su efecto bajo diferentes perspectivas disciplinares. Los principales aportes se han hecho en las ciencias económicas y en las jurídicas. Estos estudios han encontrado que los países han tenido muy diferentes costos y beneficios económicos, dependiendo de los niveles de desarrollo industrial y tecnológico (Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015; Buitenhuis & Pearce, 2012; Rockett, 2010; Stiglitz, 1998; Drahos, 2009; Guaran, 2009; Lall, 2003; Kinsella, 2001; Heller & Eisenberg, 1998; Merges, 2004).

Entre los estudios económicos cuantitativos se encuentra el de Lall (2003), que analiza el efecto del ADPIC en la innovación doméstica o actividad tecnológica nacional y el índice competitivo de desempeño industrial. Para medir la actividad tecnológica nacional se basa en dos variables: el monto del I+D financiados por empresas productivas y el número de patentes registradas internacional y localmente. A esto le suma el índice competitivo de desempeño industrial (CIP-Competitive Industrial Performance, por sus siglas en inglés), que contempla las exportaciones de alta tecnología, las cuales son afectadas por los DPI. El resultado muestra que los beneficios, la importancia y los costos de los DPI varían según la naturaleza de la actividad, es decir, el grado de dificultad en imitar o copiar la tecnología, el monto necesario para el gasto en I+D, así como los niveles de desarrollo industrial, tecnológico y económico de los países.

En un estudio similar que hizo Montobbio (2015) encontró, al igual que Lall (2003), Drahos (2009) y Guaran (2009), evidencia de que el nivel más adecuado de aplicación de los DPI varía según el nivel de desarrollo socioeconómico de los países. Estos resultados resaltan que la PI por sí misma no basta para incentivar la innovación, es necesario además contar con mayores tasas de inversión en I+D y capital humano adecuado con capacidad de absorción y aplicación de nuevo conocimiento. De ahí que los DPI más fuertes sean un aspecto muy importante de las instituciones para la innovación en los países con sistemas de innovación más desarrollados (World Bank Institute, 2004). En los estudios económicos, en general, los DPI se asocian con un mayor comercio de bienes intensivos en conocimiento y con mayor inversión extranjera directa IED, lo cual a su vez se traduce en tasas más

elevadas de crecimiento económico. Esto no significa que los DPI estén causalmente relacionados con el crecimiento económico y el desarrollo, sólo indica que son beneficiosos en entornos más industrializados. De ahí que su fortalecimiento en algunos países coincida con incrementos en las exportaciones e importaciones de alta tecnología, la IED y los pagos de licencias. Este no es el caso de los países en desarrollo, pese a que se esperaba que esto se beneficiaran de una mayor transferencia de conocimiento a través de las importaciones de alta tecnología y del aumento en la IED hacia el interior, por el grado de formalización que el ADPIC le confiere a los acuerdos de transferencia (Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015; Lall, 2003).

El hecho de que los estudios de innovación se basen en información de patentes presenta limitaciones para calcular el efecto real de los DPI, debido a que muchas patentes no se aplican o son utilizadas netamente para objetivos estratégicos, como bloquear rivales y evitar ser bloqueados, incluso para mejorar el poder de negociación de los acuerdos de licencias cruzadas (Barberá et al., 2011). Sin embargo, desde el siglo XV que fueron concedidas las primeras patentes en la ciudad de Venecia, se han resaltado los beneficios que proporciona el sistema de patentes como incentivo a la actividad inventiva. Junto a esta apología del sistema de patentes ha co-existido la oposición a dicha protección, la cual argumenta que imita los prohibitivos aranceles que dificultan el comercio (Kanwar & Evenson, 2003).

Aunque desde entonces abundan los estudios que ofrecen evidencia de los beneficios del sistema de patentes y también de los costos que conllevan, ambos lados muestran que estos dependen de cómo está configurado el régimen de PI (Kanwar & Evenson, 2003; Shapiro, 2001; Stiglitz, 2010). En la actualidad, la PI sigue siendo un tema polémico, lo cual podría deberse a la inexistencia de evidencia empírica contundente que demuestre su efecto en la innovación, así como en lo económico y lo social. Los estudios realizados hasta el momento presentan evidencia escasa, ambigua y mezclada. Entre los beneficios se resalta que proporcionar incentivos para la actividad inventiva, estimula la inversión en I+D, difunde información sobre el estado de la técnica y evita duplicidad de esfuerzos en investigación. En el caso de los costos se argumenta la pérdida de peso muerto generada

por el monopolio concedido, los altos costos de transacción y la limitación de las innovaciones incrementales, es decir, las innovaciones basadas en otras innovaciones, lo cual reduce la velocidad de los cambios tecnológicos (Jackson, 2003; Rockett, 2010). En la literatura también hay evidencia empírica que demuestra que la protección "fuerte" es necesaria en las industrias donde es fácil imitar, porque la competencia hace que la tasa de beneficios caiga con bastante rapidez, afectando negativamente la inversión en la I+D (Kanwar & Evenson, 2003).

Respecto a los costos, Bessen y Maskin (2000) muestran que la PI tiene diferentes efectos en cada sector, ya que el cambio tecnológico se inhibe en los sectores basados en innovaciones incrementales. Este es el caso de la industria de semiconductores y la de computadoras, que se sustentan en innovaciones secuenciales y complementarias. Otro de los costos más visibles de la PI es la creación de monopolios, lo cual no sólo genera peso muerto por los precios más elevados, sino que puede retrasar la explotación comercial de la innovación por el pago de regalías o por el uso de las patentes para bloquear competidores (Deardorff; 1992). Los estudios que cuestionan la PI también muestran que, si bien es cierto que ésta incentiva la inversión en I+D, el incremento en el gasto sólo ocurre cuando los beneficios esperados son altos y no cuando las innovaciones son pequeñas (Chin y Grossman, 1990).

Las dimensiones de los costos o beneficios de la PI son múltiples, traspasan fronteras y tienen efectos de orden global. Esto se debe a que el crecimiento económico moderno se basa en la apropiación del conocimiento y en el cambio tecnológico, por lo cual los DPI determinan en cierta medida qué países crecerán. En este escenario global, se ha posicionado un nuevo actor en la gestión y apropiación privada del conocimiento: las grandes corporaciones multinacionales (Kanwar & Evenson, 2003). El ADPIC ha hecho posible que el conocimiento sea apropiado con fines comerciales y se impida su uso por parte de terceros, aun cuando se trate de resolver problemas cruciales de salud o alimentación, generando que los países menos desarrollados sean los principales afectados en áreas sumamente importantes para el desarrollo. Este hecho hace evidente que los organismos internacionales encargados de los DPI están orientados a intereses económicos

de transnacionales, lo cual perpetua la desigualdad y consolida brechas entre países desarrollados y en desarrollo (Drahos, 2009; Guaran, 2009). Los países en desarrollo esperaban cerrar estas brechas con la firma del ADPIC, ya que detrás estaba la promesa de que el acuerdo favorecería la transferencia de tecnología mediante la reducción de los riesgos para establecer las operaciones de las corporaciones multinacionales en los países en desarrollo, el desarrollo de los mercados de tecnología y la IED, permitiéndoles el acceso al conocimiento y la aceleración del proceso de aprendizaje (Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015; Lall, 2003; Lai, 1998).

Otro aspecto del ADPIC que se esperaba que beneficiara a los países en desarrollo fue la instauración del criterio de obligatoriedad de revelación de la información a los 18 meses de solicitar la patente, lo cual permitiría que se difundiera el conocimiento a nivel internacional. Sin embargo, este supuesto no consideró que las patentes contienen conocimiento incompleto y adolecen de no dar acceso al conocimiento tácito, impidiendo que incluso los expertos puedan replicar las invenciones (Kanwar & Evenson, 2003). La única manera de compartir conocimiento tácito es a través de las colaboraciones entre países y ésta se da porque alguna de las partes posee conocimiento singular que la contraparte extranjera requiere o por estrategias de negocios. En estas condiciones, los regímenes particulares de PI de cada país son un criterio de segundo orden en la selección de los socios de colaboraciones (Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015).

El hecho de que la PI sea un criterio de segundo orden no le resta importancia a su papel en la coordinación interinstitucional, ya que posibilita la aplicación de estrategias de poder entre países basadas en la apropiación del conocimiento y de sus beneficios. Dado que la innovación en la actualidad es un proceso global, la PI funge como el marco normativo que media las negociaciones internacionales y la gestión del conocimiento (Okediji, 2004). El uso de los DPI se ha convertido en una estrategia comercial y de competitividad para dificultar a los competidores el desarrollo de determinadas líneas de I+D o para asegurar un monopolio sobre un producto o servicio. De este modo, los DPI conceden una ventaja tecnológica y propician el relativo estancamiento tecnológico de los países en competencia a través de patentes de amplio espectro (Forero, 2005).

El sistema de patentes se ha convertido paulatinamente en un instrumento de competencia desleal, que incurre en excesos, lo cual ha llevado a respuestas de auto-corrección del sistema. Tal es el caso de la enmienda a la Ley de Patentes de 1984 para permitir las "publicaciones defensivas" a través del Registro Estatutario de Invención (SIR- Statutory Invention Registration). El SIR elimina la posibilidad de solicitar patentes posteriores creando un estado de la técnica defensivo basado en el dominio público. Los excesos en los que se incurre a través de sistema de PI no han sido enfrentados por los gobiernos, sino por actores privados (empresas, individuos, ONGs), quienes han invertido en liberar conocimiento en el dominio público para impedir que se privatizen descubrimientos necesarios para continuar con las investigaciones en el área, sentando así un precedente en el sistema de patentes (Merges, 2004).

El sistema de patentes no es el único que se ha extralimitado en materia de PI, también ha ocurrido lo mismo en el uso de los derechos de autor. A partir de la década de los setenta los costos de los libros científicos se han triplicado y los de las revistas científicas se han multiplicado por dieciocho (Forero, 2005). El exceso ha sido tal que en la década de los noventa los incrementos de los precios superaban notoriamente la inflación, sobrepasando la capacidad de compra de las bibliotecas, cuyos presupuestos estaban congelados. Esto generó movimientos en defensa del dominio público y el impulso del modelo de acceso abierto a la ciencia, por parte de los bibliotecarios y los científicos, ante la paradoja de tener que pagar por el acceso a un sistema que ellos mismos alimentan, dejando la plusvalía en manos de las corporaciones y no de los gobiernos que son los que realmente financian las investigaciones con fondos públicos (Abadal, 2012).

Esta paradoja era insoluble mientras no se dispusiera de repositorios alternativos, ya que el mercado de las publicaciones científicas tiene una demanda totalmente cautiva con precios libremente fijados por el vendedor, convirtiéndolo en un mercado "inelástico" que se ha visto favorecido por los índices de citas. Debido a esto los científicos de todo el mundo comenzaron a colaborar en la construcción de depósitos comunes de acceso abiertos (como Science Commons). La iniciativa involucra asociaciones científicas, organizaciones multilaterales y revistas científicas internacionales, tanto de países desarrollados como en

desarrollo. El acceso abierto a la literatura científica y el código abierto (open source) no están sujetos a los derechos de autor (*copyright*) pero tampoco los infringen. Su objetivo es impulsar la construcción de un dominio público que permita la difusión y reutilización libre y gratuita del conocimiento a través de internet, acelerando así su progreso. Para este fin se establecen como estrategias la *vía verde* o depósito de los documentos en repositorios y la *vía dorada* o publicación en revistas de acceso abierto. La propuesta implica un cambio radical en la comunicación científica, la cual es representada por el logo de un candado abierto que significa la eliminación de las barreras económico-jurídicas que impiden el acceso a la información científica de forma gratuita, para que los textos se puedan consultar, descargar, copiar, imprimir, distribuir o difundir y modificar libremente en Internet (Abadal, 2012; Büchner, 2005).

El conocimiento se reconoce como el recurso económico más valioso de este siglo, lo cual ha generado grandes inversiones en los DPI y, a la vez, en el impulso del dominio público para evitar su privatización. Junto al fortalecimiento de los DPI a partir del ADPIC han proliferado las estrategia "anti-propiedad"¹⁰ para impedir que el conocimiento sea objeto de transacción y para poder conservar los bloques fundamentales de su construcción en el dominio público, ya que una vez ahí no se puede privatizar (Merges, 2004). Las nuevas tecnologías digitales han hecho posible la libre difusión del conocimiento a nivel global, pero paradójicamente también han posibilitado limitar el acceso a éste. Las tensiones jurídico-política por la apropiación o liberación del conocimiento se basan en estructuras legales y políticas que tienen como andamiaje los DPI junto a la arquitectura de Internet, determinando las posibilidades de que el conocimiento adopte un carácter de bien público o privado (Vercelli, 2009).

2.4.1. Estructuras jurídico-políticas de la propiedad intelectual

Los DPI adquieren un carácter global desde la firma del ADPIC en 1994 por parte de los países miembros de la Organización Mundial del Comercio (OMC). Desde entonces, el organismo rector es la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), la cual es

¹⁰ Este término no debe confundirse con los "anticomunes", que serán tratados en el siguiente tema.

un sub-organismo de las Naciones Unidas. Su papel era desempeñado antes por la OMC y en la actualidad ésta asegura el cumplimiento de los DPI a través de mecanismos de gobernanza mundial ligados a ella, los cuales consisten en sanciones comerciales si se infringen los DPI en los países miembros. Cada país tiene como representante ante la OMPI a su ministro de comercio, lo cual ha generado una tendencia sesgada hacia los intereses económicos en claro detrimento de los intereses públicos (Drahos, 2009; Guaran, 2009; Schmitz, 2009).

Desde la firma del ADPIC han proliferado los estudios sobre sus efectos y éstos muestran que a las naciones menos desarrolladas no les favoreció esta nueva estructura de gobernanza mundial, ya que limitó su acceso a la tecnología protegida ensanchando las brechas socioeconómicas y del conocimiento. Entre los factores que contribuyen a hacer más grandes las brechas tecnológicas se encuentra el hecho de que los países en desarrollo no tienen los recursos necesarios en I+D para realizar ingeniería inversa o para pagar regalías. Las desventajas tan evidentes para los países en desarrollo han llevado a los investigadores a cuestionar porqué los grandes importadores de conocimiento firmaron el ADPIC pese a su posición estructural. Las evidencias muestran que éstos países no tenían claras las implicaciones dada su posición, además carecían de pericia técnica y buscaban pertenecer al nuevo orden económico global (Bhat, 1996; Drahos, 2009; Drahos, 2003; Guaran, 2009).

Actualmente sigue siendo un reto determinar con precisión los efectos que ha tenido y tiene la modificación de la política de patentes en sus instrumentos fundamentales a partir del ADPIC. Los instrumentos de política que se modificaron son: a) la duración de la protección, que fue ampliada de 17 a 20 años; b) la amplitud de la protección, que es un criterio usado para interpretar el grado de exclusividad del derecho conferido, lo cual se traduce en las reivindicaciones aceptadas por el examinador; c) el grado de revelación de la información; d) el tiempo de revelación o divulgación, que es la publicación del resumen de la patente 18 meses después de la aplicación inicial, lo cual también cambió respecto al viejo sistema donde se publicaba solamente al momento de conceder la patente; e) el aumento de la rigurosidad para evaluar el grado de aporte de la invención, es decir, para

clasificarla como incremental o radical, basándose en los criterios de no obviedad y novedad; f) las tasas de impuestos; g) el grado de aplicación de la ley; y h) lo que es susceptible de patentarse (Rockett, 2010).

El incremento o disminución en las variables de cada uno de estos instrumentos de política ha cambiado a lo largo de la historia y aun sigue variando entre países, dando como resultado regímenes más fuertes o débiles y tasas de innovación más altas o bajas. Aunque el ADPIC sentó las bases para establecer criterios homogéneos, cada país miembro ajusta estos instrumentos de acuerdo a las peculiaridades de sus legislaciones locales. Esto ha ocasionado una falta de leyes unificadas para resolver disputas o litigios internacionales, ya que las solicitudes de patentes son presentadas bajo las leyes nacionales del lugar donde se solicita. Los estudios económicos tendientes a encontrar un punto óptimo, que sea el resultado de ajustar los criterios de la política de patentes, tampoco han tenido éxito en determinar con exactitud los efectos en el bienestar privado y social que se derivan de otorgar un monopolio de explotación; es decir, no se sabe si los beneficios sobrepasa los costos. Aunque se han modelado los posibles efectos usando la tasa de innovación o tasa de investigación y el gasto en I+D, el costo social real del sistema de patentes aun es incierto (Rockett, 2010; Drahos, 2003).

En el caso de México, la aplicación administrativa de la Ley de Propiedad Industrial le corresponde al poder ejecutivo federal a través del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), la cual es en una excepción del artículo 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que prohíbe expresamente los monopolios. Sin embargo, en el derecho mexicano los monopolios del conocimiento se permiten por ser considerados como socialmente eficiente al incentivar las innovaciones, aunque esto no esté probado científicamente (Jalife, 2012). Las viejas tensiones políticas por la apropiación privada y por la liberación del conocimiento se han visto reavivadas por los cambios tecnológicos, que trajeron consigo nuevas formas de producir y gestionar los bienes intelectuales. Con el fin de analizarlas en relación con los cambios tecnológicos, es menester revisar las nuevas categorías jurídico-políticas que contemplan tanto el carácter común como privado del conocimiento a luz del derecho moderno. La clasificación de los bienes está relacionada

con su definición socio-histórica dentro de los sistemas jurídico-políticos, que protegen tanto intereses individuales como colectivos, cambiando a través del tiempo y careciendo de un carácter inmanente (Vercelli, 2009).

Los sistemas jurídicos son expresiones políticas por excelencia, reguladores de las relaciones entre las personas físicas o morales, son formales, altamente codificados y contienen las bases económico-políticas que condicionan la forma de relacionarse de las sociedades. De su codificación dependen las conductas de los grupos sociales, así como las formas de protección, defensa y garantía de sus intereses. El derecho de propiedad regula las relaciones de las personas con las cosas, se aplica a los bienes materiales y permite al titular del derecho la exclusión perfecta de su uso o consumo por parte de terceros. Dado que implica la posesión, genera competencia y rivalidad entre los que quieren gozar del bien, por lo tanto genera escasez y posibilita la concentración de los bienes material. Los bienes intelectuales, que son intangibles y de naturaleza pública, son susceptibles de protección jurídica cuando “se expresan” o “materializan” en obras e invenciones que tienen una aplicación útil o práctica (Vercelli, 2009; Abadal, 2012).

Aunque existe un acuerdo general de que el conocimiento es un bien público o común, es decir, que poseen una “naturaleza” no excluyente y no rival, las leyes permiten su apropiación como un bien privado para posibilitar su tratamiento a través de la arquitectura jurídico-política mundial. El hecho de que un bien común sea considerado como privado bajo los DPI no es menor, ya que de esto depende su distribución y uso, lo cual hace necesario analizar las diferencias entre un bien público y uno privado, así como sus implicaciones jurídicas. Los bienes comunes, que han sido ampliamente estudiados desde la economía como bienes materiales (escasos), se definen como aquellos que se producen, pertenecen y se transmiten en colectivo. Su carácter "común" responde al interés de todos y cada uno de los miembros de la comunidad, lo cual no impide las tensiones por su apropiación, concentración y exclusión de terceros del goce del bien (Hardin, 1968; Ostrom, 1990). Se considera que una obra intelectual es común o del dominio público cuando permite a los miembros de una comunidad acceder a ella de forma libre, usarla, copiarla y distribuirla, favoreciendo su intelectualización y difusión, en lugar de su

apropiación o privatización. Dentro del derecho de autor esto se conoce como *copyleft* o derecho de copia, el cual emerge de la cultura hacker, de la historia de Internet y de su arquitectura política. El "código abierto" se desarrolla cooperativamente por voluntarios y se difunde sin reivindicar la propiedad, con el fin de evitar los anticomunes, ya que cada pieza del código se construye sobre una preexistente y de este modo se evitan reclamaciones de propiedad de los contribuyentes hacia abajo (*downstream*). Esto difiere de los derechos de autor, que permiten reclamar a los contribuyentes los derechos sobre las obras basadas en sus obras, ocasionando anticomunes, muchos derechos exclusivos sobre un solo recurso y la subutilización del conocimiento (Merges, 2004; Stallman, 2002; Kapczynski, 2008).

Heller y Eisenberg (1998), aplicando el concepto anticomunes al problema de la proliferación de patentes en el ámbito de la investigación biomédica, encontraron que las patentes pueden crear fragmentación en la investigación y limitar la innovación en lugar de fomentarla. Por ello, es necesario que el sistema legal defina paquetes "coherentes" de derechos para evitar que interfieran con el desarrollo de productos, liberando secuencias de genes como insumos, en lugar de los productos finales. De este modo se previene el aislamiento de la secuencia a través de la publicación de prioridad en las patentes. Aunque podrían haber polizontes o *free-riders*, que se benefician del conocimiento sin contribuir a su producción, se logra evitar la dinámica de los anticomunes socavando el derecho de propiedad de los competidores, aumentando el contenido del dominio público e impulsando la autocorrección o auto-regulación en el sistema de PI (Merges, 2004).

El problema de las estructuras jurídico-políticas de la PI actuales es que se trata al conocimiento como un bien tangible susceptible de apropiación en su conjunto, sin considerar las ideas que deben quedar en el dominio público para continuar con la generación de nuevo conocimiento. Esta confusión se da porque se olvidó la esencia de la tradición del derecho moderno, que trataba al conocimiento dentro de la categoría de bienes intelectuales, aplicándoles el régimen de "derechos intelectuales", el cual no contiene el carácter de posesión sobre los bienes. Por ello, no son tratados como bienes escasos, no tienden a concentrarse, ni a generar competencia o rivalidad entre sus diferentes usuarios y

el sistema jurídico que los sustenta es incluyente al no permite la exclusión perfecta. La gran diferencia radica en que son tratados desde su *calidad* intelectual y no material. Sin embargo, el "*carácter*" de los bienes, que se refiere a su relación con las personas permite la aplicación de otro tipo de leyes. Actualmente, a las obras intelectuales literarias, científicas y artísticas se les aplica el derecho de autor y a las invenciones industriales el sistema de patentes, al cual se le agregan el régimen de marcas, modelos de utilidad y diseños industriales (Vercelli, 2009; Jalife, 2012).

El hecho de que el conocimiento sea tratado como un bien tangible entraña una contradicción en los artículos 17 y 27 de la Declaración Universal de Derechos Humanos (1948), ya que en el primero señala que toda persona tiene derecho a la propiedad, individual y colectiva, pero en el "*Artículo 27, 1. Toda persona tiene derecho a tomar parte libremente en la vida cultural de la comunidad, a gozar de las artes y a participar en el progreso científico y en los beneficios que de él resulten*".

Las ideas, al ser tratadas como bienes tangibles y como una extensión de la libertad de expresión bajo la ley de PI, adquieren el carácter patrimonial de derechos de autor personales¹¹ o morales, lo cual a su vez concede el derecho de paternidad, integridad y retracto de la obra. Los derechos patrimoniales o económicos son una extensión de las libertades de asociación, empresa y comercio e incluyen el derecho de comunicación al público, así como el de reproducción, modificación, derivación y distribución de la obra. Las corporaciones comerciales, al ser personas jurídicas, no pueden tener derechos morales, pero si pueden tener derechos patrimoniales sobre las obras intelectuales como titulares derivados, siempre y cuando los titulares originarios les cedan estos derechos por algún tipo de relación contractual. El derecho de autor y derecho de copia, al igual que las patentes, no protege las ideas, sino sus formas de expresión o soporte material. Las excepciones y limitaciones de la PI, que entran en lo que se conoce como dominio público, sólo aplican a los derechos patrimoniales. Estos últimos son considerados bienes de calidad intelectual exclusivos, por lo cual no son ni excluyentes ni absolutos, ya que cualquier persona puede

¹¹ 'Declaración Universal de Derechos Humanos'. "Artículo 27, 2. Toda persona tiene derecho a la protección de los intereses morales y materiales que le correspondan por razón de las producciones científicas, literarias o artísticas de que sea autora".

usar las obras intelectuales siempre y cuando no se atente contra la explotación normal de la obra y no causen un perjuicio injustificado a los intereses del autor o sus titulares derivados. Los derechos intelectuales patrimoniales, a diferencia del régimen de la propiedad privada, no son perpetuos, están limitados en el tiempo a 70 años de protección. Después de la muerte del autor las obras pasan al dominio público como un acervo común y se permite su utilización libre (Vercelli, 2009).

El "*carácter*", que fundamenta las estructuras jurídico-políticas para la gestión de los bienes, los divide en bienes de calidad material de carácter privado, público o común. Un bien es privado cuando tiene un propietario físico o moral con derechos exclusivos de propiedad. Por su parte, un bien es público si la titularidad, reglamentación y gestión está en manos del Estado o pertenece a toda la comunidad, no es apropiable y su carácter común surge por contrato o por defecto de la legislación de manera expresa, tácita o por omisión, dando la posibilidad de utilizarlo o explotarlo sin mediaciones. Las obras intelectuales de carácter público se dividen en abiertas y libres. Las abiertas contienen limitaciones impuestas por el titular en función de la explotación comercial o de las obras derivadas de esa obra. Otro caso de obras abiertas es el dominio público, que se da cuando expira el plazo de protección de los derechos patrimoniales de la obra (Vercelli, 2009; Kapczynski, 2008).

En cambio, las obras libres desde el momento que son compartidas por sus autores se liberan a través de licencias libres para permitir a los usuarios acceder, modificar, copiar, distribuir y publicar obras derivadas, con la condición de que continúen teniendo el carácter de libres. Las obras pierden su carácter de libres cuando entran en el sistema de la PI, donde los bienes intelectuales son tratados como bienes materiales, lo cual es posible a través de la regulación de los soportes tecnológicos o infraestructuras donde se materializan las obras, haciendo factible la exclusión perfecta y la limitación o negación del acceso. La gestión de los derechos en los entornos digitales a través de medidas tecnológicas hace la relación entre regulaciones y tecnologías muy sutil, pero eficaz (Vercelli, 2009). De este modo, en las sociedades capitalistas el conocimiento, al ser tratado como un bien material (privado y escaso), se enfrenta a la lógica trágica de los bienes materiales comunes (Hardin, 1968).

El hecho de tratar el conocimiento desde los preceptos de la economía clásicas, cuya lógica gira en torno a la escasez y la regulación de los bienes materiales, impide que se le dé un tratamiento adecuado a los bienes intelectuales, que son abundantes y no excluyentes. El argumento toral basado en la necesidad de tener incentivos económicos para la creación no resiste la crítica que plantea la evidencia empírica de la producción intelectual generada por los movimientos de la cultura libre y de su difusión a un costo cero gracias al desarrollo tecnológico. La arquitectura tecno-política de Internet ha posibilitado el libre acceso, la producción, modificación, publicación y difusión intelectual colaborativa sin costos adicionales. Esto se debe a que ésta arquitectura tienen como fin una sociedad más democrática, para lo cual es condición y método el conocimiento libre (Kapczynski, 2008; Wolf y Miranda, 2011).

Las tensiones jurídico-políticas, socio-económicas y tecnológicas son fenómenos complejos y auto-organizados. La tensión entre el carácter privado y público de los bienes intelectuales ha hecho emerger dos movimientos que se oponen a la privatización del conocimiento. Uno de ellos es el de las licencias libres *copyleft*, cuyo antecedente se encuentra en la Licencia Pública General (GPL) del movimiento de software libre, que surge en la década de los ochenta (Stallman, 2002), y las licencias abiertas *Creative Commons* de Lessig. Ambos movimientos reafirman el derecho de paternidad de la obra, por lo cual reivindican la circulación libre sin la obligación de pagar para acceder, así como el derecho a usarla o modificarla, siempre y cuando se cite la fuente y se use el mismo tipo de licencia en las obras derivadas. Esto es posible sin violar la ley de PI a través de un marco legal flexible o selectivo que permite algunos derechos reservados, no todos (Vercelli, 2009; Abadal, 2012; Wolf y Miranda, 2011; Stallman, 2010).

Creative Commons (CC) ha sentado un precedente en el sistema de instrumentos jurídicos y tecnologías digitales al facilitar compartir obras intelectuales científicas y obras creativas, adaptando las licencias abiertas a los diferentes sistemas jurídicos del mundo. Así mismo, en el 2005 sentó las bases para desarrollar la ciencia abierta a través del proyecto "Science Commons" (SC), cuyo objetivo es posibilitar la construcción colectiva de métodos, entornos virtuales, tecnologías y estrategias para el acceso abierto y reutilización de las

obras intelectuales. El precedente jurídico internacional de las licencias abiertas de carácter privado permite a los autores escoger selectivamente los derechos que se reservan y los que se liberan a través de una plataforma tecnológica, en la cual los usuarios-finales tienen a su disposición un nuevo lenguaje para la autogestión de los derechos de autor y los de copia. El aporte de CC no es menor, ya que ofrece simultáneamente una nueva regulación o estructura jurídico-políticas entre el dominio público (ningún derecho reservado) y el privado (todos los derechos reservados), así como un entorno tecnológico voluntario y gratuito para la gestión de los derechos (Vercelli, 2009; Alperin, 2014; Creative Commons, 2016).

Si bien es cierto que este modelo de gestión aun no está articulado con los organismos nacionales e internacionales de la PI, no se puede negar que supera a éstos, debido que CC surge en la era del Internet. En esta nueva era se han firmado tratados específicos para entornos digitales que reconocen que el derecho de los autores nace desde el mismo momento de la expresión en algún entorno o medio, por lo cual los registros de las obras intelectuales en los órganos administrativos de la PI son declarativos de derechos y no constitutivos de éstos. La reserva selectiva de los derechos de autor y los de copia es jurídicamente viable a través de las licencias, que son un complemento de los DPI al integrar licencias y tecnologías digitales para entornos virtuales orientado a los usuarios-finales (Vercelli, 2009; Alperin, 2014).

2.5. Acceso a la ciencia y la tecnología en la economía del conocimiento, una mirada geopolítica

El término economía basada en el conocimiento (EBC) se refiere a la creciente importancia del conocimiento como un factor crítico para el desempeño económico. En esta nueva economía los actores adquieren, crean, difunden y utilizan con eficacia el conocimiento para un mayor desarrollo socioeconómico (World Bank Institute, 2004). El término surge como el paradigma de desarrollo económico postindustrial dominante durante la tercera revolución industrial, basada en las nuevas tecnologías de la información (Harris, 2001).

Hasta mediados de la década de los cincuenta los economistas enfocaban los análisis en los objetos físicos o tangibles del proceso de producción, considerando a la tierra, el trabajo y el capital como factores determinantes del crecimiento económico. Fue a partir de los estudios de Robert Solow (1956) que las teorías económicas comienzan a orientarse hacia el estudio del conocimiento como factor clave del crecimiento económico. Esto dio origen a que el concepto EBC se convirtiera en un campo prolijo (Dautrey, 2012). La utilidad del conocimiento en la economía ya había sido detectada por Adam Smith (1776) y, más recientemente, por Joseph Schumpeter (1911), quien relacionó a la innovación con el desarrollo económico. Pero aun con estos antecedentes, no existía un marco analítico que articulara el conocimiento a la economía. Es en la actual fase del capitalismo que el conocimiento se convierte en la principal fuente de plusvalía y acumulación, haciéndolo más valioso que el capital físico (Stezano, 2011).

La idea clara del conocimiento como la fuente principal de plusvalía y acumulación emerge durante la recesión de principios de los ochenta bajo el concepto de EBC. Durante este periodo, la economía estadounidense sufría una desindustrialización y problemas brutales de exceso de capacidad, junto a la caída de la rentabilidad y de los precios de los productos básicos. Los economistas creían que con una economía impulsado por el sector servicio el crecimiento de la productividad estaba destinado a disminuir. Sin embargo, la emergencia de las nuevas tecnologías digitales revitalizó las ideas schumpeterianas colocando a la EBC como el paradigma de desarrollo económico postindustrial dominante (Harris, 2001). Al renovado entusiasmo de los economistas neoschumpeterianos se sumó la OCDE (1996) afirmando que las economías modernas tenían como principal impulsor del crecimiento económico a la información y el conocimiento, aunados a la tecnología y el aprendizaje.

El concepto EBC encierra la idea fundamental de que "la riqueza económica se genera a través de la creación, producción, distribución y consumo de conocimiento y productos basados en el conocimiento" (Harris, 2001, p.22). Esta noción fue enriquecida con conceptos como capital humano calificado, trayectorias tecnológicas, capacidades cognitivas y procesos de aprendizaje; todos ellos para comprender a los sistemas de innovación. El concepto no sólo caracteriza una fase del capitalismo más intensiva en

capital variable que en capital constante, sino que enfatiza que la estructura productiva se encuentra atravesada por relaciones con la ciencia, la tecnología y las políticas públicas. El conocimiento es reconocido ahora como un componente económico estructural con rendimientos crecientes, que determinan el crecimiento económico y el cambio social, pero que a su vez contiene una relación inversa entre apropiación y difusión (Stezano & Velez-Cuartas, 2007).

La nueva economía da señales claras de su existencia en varias dimensiones, como la aceleración de la producción del conocimiento, su acumulación y obsolescencia, así como la gran proporción del capital intangible en relación con el capital tangible a nivel macroeconómico y el hecho de que la innovación se está convirtiendo en la actividad dominante de la economía (David & Foray, 2002). El incremento en las actividades de producción del conocimiento se mide a través de las patentes, las cuales muestran en sus datos que las innovaciones están ocurriendo en sectores industriales nuevos más que en los establecidos. En cuanto al aumento del capital intelectual se utiliza como indicador el número de científicos e ingenieros, cuyas cifras muestran una expansión de la fuerza de trabajo basada en el conocimiento. Otra de las dimensiones en las que puede percibirse la nueva economía es en las industrias, que están pasando de estar basadas en la manufactura a basarse en los servicios, ocasionando que a esta etapa se le etiquete como post-industrial o post-fordista (Powell & Snellman, 2017).

Es a partir de 1980 que comienza a configurarse el capitalismo del conocimiento, el cual es una nueva fase del desarrollo que incorpora conocimiento en los procesos socioeconómicos y articula el sector científico-educativo con la producción de bienes y servicios de manera extensiva. Dado que los procesos de producción son intensivos en conocimiento, las naciones avanza en la calidad y competitividad al incorporarlo a la producción social. Sin embargo, su surgimiento no se ha dado a escala mundial, es decir, no es un fenómeno que esté presente en todas las naciones y los países que han logrado conformar una EBC no han logrado articular orgánicamente la economía con la política, la sociedad y la cultura. Esto dificulta hacer sostenible el crecimiento económico basado en el conocimiento, por lo tanto, no se puede hablar de la existencia de sociedades del conocimiento aun (Ordóñez, 2011).

El hecho de que la EBC no esté presente como un fenómeno homogéneo en todas las naciones, pese a ser lo que caracteriza la última etapa del capitalismo, se debe a que la nueva división internacional del trabajo se basa en la distribución geográfica del conocimiento o las capacidades cognitivas que éste implica y su grado de acumulación en ellas. Las capacidades cognitivas consisten en producir conocimiento que se transformará en nuevos bienes y servicios, es decir, implica la capacidad de procesar e interpretar un conjunto de datos estructurados (información), combinarlos y aplicarlos. Esto a su vez implica tener capacidades de absorción, formación de recursos humanos calificados e inversión en I+D, así como contar con un régimen institucional propicio para la innovación (Dautrey, 2012).

Un régimen institucional propicio es aquel que dota a la sociedad de una infraestructura de innovación fuerte y abierta, cuya base es un conjunto de mecanismo de comunicación que permiten el intercambio de ideas para convertir el conocimiento científico en productos y servicios que beneficien a toda la sociedad de manera sustentable, transitando así hacia la sociedad del conocimiento¹² (Alperin et al., 2014). La EBC no se presenta como un fenómeno global porque estas características existen de manera ampliamente desigual entre países desarrollado y en vías de desarrollo (Forero, 2005).

En la EBC el desarrollo desigual persiste y se agrava debido a que la división internacional del trabajo ha aumentado la importancia de los países productores de conocimiento, los cuales cuentan con una fuerte infraestructura en I+D. Este reducido grupo de países altamente competitivos se caracteriza por tener altos indicadores en rubros como: educación, capacitación, investigación, exportación de bienes con alto contenido tecnológico, nuevas tecnologías (TIC), capital humano y un PIB basado en el conocimiento, los cuales se asocian a crecimiento y desarrollo económico. Así mismo, cuentan con un mayor grado de conocimiento codificado (patentes, artículo científicos, etc.) y reciben altos ingresos por pago de regalías de DPI. Además, el conocimiento es aplicado y difundido ampliamente, según el índice de conocimiento (KI-KEI) del Banco Mundial

¹² Concepto tomado de: "Creating a knowledge-based society"; An interview with Noel Treacey, Minister for Science, Technology and Commerce of the Republic of Ireland. EMBO Rep. 2000 December 15; 1(6): 460–462.

(Dautrey, 2012; World Bank Institute, 2004). Las grandes diferencias entre los países desarrollados y en desarrollo que marcan los indicadores antes mencionados podrían explicarse si se indaga en aspectos de producción, difusión y uso del conocimiento entre países y dentro de los países. Los países en desarrollo son importadores de conocimiento y distan de convertirse en productores debido a la dinámica internacional de estos tres aspectos generales. La producción de conocimiento se obstaculiza por su limitado acceso a la información y bajas capacidades de absorción, lo cual es necesario para generar nuevo conocimiento a partir de combinaciones de ideas. La baja capacidad de absorción se debe a que carecen de conocimiento suficiente para comprender el conocimiento transferido, lo cual a su vez es resultado de una brecha en la educación o la limitada formación de recursos humanos y las débiles trayectorias tecnológicas en los países en desarrollo (Forero-Pineda & Jaramillo-Salazar, 2002).

La disparidad cognitiva perpetúa la dependencia tecnológica y el desarrollo desigual debido a que los países en desarrollo se insertan en la división internacional del trabajo como exportadores de materias primas y proveedores de mano de obra barata poco calificada. Uno de los obstáculos más grandes que enfrentan los países en desarrollo para dejar de ser importadores de bienes de alta tecnología y convertirse en productores es la meta-regulación de la PI, la cual ha varado sus procesos de imitación. Dado que en la EBC el conocimiento es el factor clave del desarrollo y el crecimiento económico, los efectos de la PI en la difusión o transferencia del conocimiento debe analizarse en toda su complejidad, ya que ésta contiene mecanismos de apropiación y monopolización del conocimiento por parte de las firmas transnacionales, que implican la limitación de la difusión de las innovaciones y del aprendizaje tecnológico a través de la imitación o la transferencia hacia los países en desarrollo (Dautrey, 2012).

La PI regula la gestión y apropiación del conocimiento al convertirlo en un bien tangible susceptible de acumulación a través de las arquitecturas jurídico-políticas que implementó el ADPIC a nivel mundial, cuyos mecanismos posibilitan el control y la exclusión del conocimiento entre países y sectores de la sociedad. Darle al conocimiento el carácter legal de bien privado permite ir contra su naturaleza pública de no exclusión del uso, generando

escases artificial de los bienes intelectuales. La objetivación o carácter concreto de este bien intangible se logra porque los DPI opera a través de la regulación de los soportes tecnológicos mediante los cuales se almacena y transmite el conocimiento (Vercelli, 2009).

La PI es de suma relevancia a nivel global debido a que la posesión del conocimiento es la fuente de la riqueza y el capitalismo sólo funciona sobre la base de la propiedad privada. La globalización es el resultado de la tercera revolución industrial, la cual ha reorganizando las economías volviendo más ricas a las naciones que poseen el conocimiento. Dado que es un fenómeno que sólo se presenta en el mundo desarrollado, los países en desarrollo participan a través de sentar las condiciones para la producción offshore o la deslocalización de las actividades de las empresas multinacionales. Debido a ello, los países en desarrollo no han tenido como prioridad poseer patentes; su preocupación ha sido ofrecer fuerza de trabajo educada, buena infraestructura, financiamiento de la I&D, estabilidad política y leyes conforme a las normas del mercado internacional (Thurow, 2000).

Los países promotores de la firma del ADPIC tenían como fin asegurar los retorno de la inversión en I+D de bienes de alta tecnología, así como homogenizar los marcos legales de todos los países firmantes para favorecer la colaboración como resultado de la confianza que brinda una protección uniforme de los bienes intelectuales. Los países en desarrollo firmaron alentados por comerciantes locales de bienes importados, pese a no ser productores de conocimiento, bajo el supuesto de compensaciones comerciales que les traerían los aspectos "relacionados con el comercio". La homogenización jurídica consistió en extender la protección de las patentes a 20 años, demandar licencias obligatorias, unificar criterios de no-obviedad y utilidad, revelar a los 18 meses en lugar de esperar hasta que la patente sea concedida, otorgar protección al primero en presentar y no al primero en inventar, y conceder patentes a bases de datos, herramientas de investigación, descubrimiento y organismos vivientes como resultado de los cambios en los límites conceptuales respecto a lo que es un fenómeno natural a uno artificial, estrechando así los límites de la ciencia abierta (Forero-Pineda, 2006).

El fenómeno de privatización/apropiación privada tiene consecuencias en la estructura socioeconómica, porque el conocimiento es trabajo social cristalizado. Por ello, siguen persistiendo dinámicas de apropiación del plusvalor de una actividad colectiva en el capitalismo del conocimiento. Por su naturaleza, la producción del conocimiento se da de manera social, sin embargo, es apropiado de manera individual por las grandes transnacionales que poseen los derechos de explotación y apropiación de los beneficios (Büchner, 2005). El hecho de que la PI sea realmente un instrumento de competencia estratégica de las grandes empresas obstaculiza la colaboración, en lugar de favorecerla, y genera un ambiente propicio para el secreto industrial, lo cual afecta negativamente la difusión de conocimiento tecnológico y, por ende, la innovación (Forero-Pineda, 2006; Forero, 2005; Choe et al., 2016).

El problema no sólo afecta los ámbitos de producción del conocimiento, sino que la industria local al ver incrementados sus costos de importación de alta tecnología se limita a mercados nacionales protegidos. Los escenarios locales no prometen producir tecnologías competitivas por la sub-inversión que hay en I+D y en la formación de científicos y tecnólogos. El panorama luce menos alentador si a esto se le suman las políticas de corto plazo que imperan en los gobiernos de los países en desarrollo, aunado a un componente ideológico de fungir como proveedores de bienes primarios en la división internacional del trabajo, lo cual sirve como mecanismo de bloqueo (Forero-Pineda & Jaramillo-Salazar, 2002).

En el plano académico, tampoco ha favorecido los proyectos conjuntos entre equipos de investigación de diferentes países. Esto se debe a que las políticas de CTI internacionales no facilitan la pertenencia de científicos y tecnólogos a redes de colaboración, ya que el régimen institucional de la ciencia global presenta obstáculos como el costo de la integración en equipos de colaboración, dificultad para transmitir el conocimiento tácito embebido en las convenciones locales, una complejidad organizacional altamente especializada y una gran diversidad de actores generadores de alianzas estratégicas entre el sector privado y el académico. Esto últimos modifican las reglas de acceso y uso del conocimiento, así como las normas de legitimidad o prestigio de la ciencia, demandando la

aparición en revistas indexadas internacionales, escritas en inglés, lo cual excluye los estudios locales y genera un sistema de criterios de exclusión de los investigadores de los países en desarrollo (Forero-Pineda & Jaramillo-Salazar, 2002).

Otro problema inherente a las instituciones de la ciencia global es la dificultad para manejar la enorme heterogeneidad y volumen de la información, lo cual genera intermediarios con mecanismos de protección para preservar la competitividad. Esto a su vez trae problemas de acceso limitado, altos costos, desconfianza entre investigadores y desincentivos para la colaboración (Forero-Pineda & Jaramillo-Salazar, 2002). No es casual que la cienciometría haya generado una acelerada emergencia de indicadores o criterios para medir la producción y el impacto de la CTI, pues ésta es promovida y gestionada por las corporaciones multinacionales. Los ministerios o consejos de ciencia y tecnología de todo el mundo aplican estas mediciones de impacto para evaluar el desempeño, pese a que su uso ha sido fuertemente cuestionado por su sesgo geográfico enfocado en los países angloparlantes y/o de la Unión Europea y por no incluir la mayor parte de la producción de las regiones en desarrollo, ni estudios locales o de las ciencias sociales (Bernal, 2012; Alperín, 2014).

La cienciometría, que ahora acompaña los estudios de ciencia y tecnología, tiene sus orígenes en la tradición de la comunicación científica del siglo XVII (en the Royal Society of London, 1665), cuyo fin era velar por el avance social de la ciencia, preservarla, registrarla y difundirla. El pilar en el que se ha sustentado es el *peer review* para asegurar la calidad de los textos que serán la base de otros estudios. Además ha generado indicadores de producción, alcance, uso e impacto (Abadal, 2012). Empero, los indicadores bibliométricos que predominan a nivel mundial se elaboran con base en un "mercado sesgado de las ideas académicas", debido a que el conocimiento es tratado como un bien susceptible de transacciones. De ahí que exista un predominio de Estados Unidos en las citas de todas las áreas de investigación y en el volumen de producción de artículos científicos, ya que es el mayor mercado competitivo en el mundo académico, cuyo éxito se debe a que sus investigadores están mejor educados en los aspectos "empresariales académicos" (Martin, 2012).

Aun en este escenario existen posibilidades de cambiar las condiciones de acceso y uso del conocimiento si éste desarrolla sus características bien público, lo cual contribuiría a formar una sociedad más libre, democrática, igualitaria e incluyente (Wolf y Miranda, 2011). Cambiar el sesgo de la cienciometría implica una concepción distinta del carácter del conocimiento, de su construcción y de la medición de su uso, alcance e impacto; de manera que se puedan ver los alcances de la ciencia abierta. Hasta ahora, los estudios de ciencia y tecnología se han enfocado en estudiar la constitución de la ciencia y en determinar sus impactos, su control y los posibles riesgos para la sociedad. Empero, estos estudios adolecen de una falta de integración de los supuestos, los principios y los métodos en los que se basan, lo cual genera una notoria segregación entre las investigaciones de corte cualitativo de las de corte cuantitativo. El único componen cuantitativo que tienen en común los estudios de CTI es la cienciometría. De ahí la relevancia de generar métricas alternativas, que partan de una concepción distinta del conocimiento (Trousset, 2014).

El sesgo geográfico y angloparlante en los indicadores bibliométrico ha dado origen a las alométricas, cuyo propósito es medir el impacto de una manera más amplia e inmediata, superando las limitaciones de la revisión entre pares y de la medición del impacto únicamente basado en citas. Para tal fin, se hace uso de herramientas 2.0 y de repositorios para rastrear el amplio número de formatos utilizados en gestores de citas gratuitos y en las redes sociales. Aunque las alométricas se encuentran en fase experimental ya se han posicionado algunos indicadores orientados hacia una política de acceso abierto, dando origen a indicadores como el cociente de accesibilidad del MIT, creado en el 2012, el cual combina tres criterios: la disponibilidad abierta de lectura, el grado de barreras económicas al acceso y calidad de las revistas (Bernal, 2012).

El acceso abierto (AA) a la ciencia hace referencia a la disponibilidad gratuita de los textos en Internet, permitiendo al usuario leer, descargar, copiar, distribuir, imprimir y utilizarlos sin barreras financieras, legales o técnicas, siempre y cuando se reconozca la paternidad de la obra (Alperin, 2014). El modelo de acceso abierto a la ciencia persigue incrementar el flujo de comunicaciones científicas, así como el uso e impacto de los contenidos, reduciendo los costos y las barreras de acceso entre países. La mejora en el impacto se

consigue con el aumento de la accesibilidad (apertura) y la rápida disponibilidad, ya que se reduce el periodo de recepción y de transferencia. La mayor parte de los estudios muestran una correlación positiva entre acceso abierto y factor de impacto (Abadal, 2012).

El modelo de acceso abierto a la ciencia presenta entre sus principales ventajas que reduce el sesgo angloparlante y geográfico. Esta cualidad no es menor, ya que en los países en desarrollo predominan las publicaciones en los idiomas locales y los estudios que atienden asuntos de escala local, lo cual causa que difícilmente se incluyan en las revistas internacionales, que generan los índices más utilizados para evaluar los resultados de investigación en todo el mundo. Los indicadores alternativos o complementarios del modelo de acceso abierto han mostrado excelentes resultados en las últimas décadas. De ahí que la UNESCO respalde estas medidas más abiertas e inclusivas de la estrategia de acceso abierto. El modelo de acceso abierto no se contrapone con la legislación en materia de derechos de autor, sino que incluye tipologías de acceso abierto sin violar la legislación vigente (Abadal, 2012; Alperin et al., 2014).

El crecimiento anual de las ediciones en abierto podría ser un indicio de una posible etapa de consolidación del modelo de acceso abierto, lo cual es crucial para las regiones en desarrollo, cuyas investigaciones están mayormente financiadas por los gobiernos y se encuentran en revistas académicas locales que difícilmente figuran en los indicadores académicos más usados en sus mismas regiones, las cuales paradójicamente usan son los índices internacionales que las excluyen. La falta de indicadores propios de las regiones en desarrollo imposibilita evaluar la producción en cuanto a calidad, impacto y alcance, mayormente en materia de agricultura, salud y ciencias sociales, que son investigaciones enfocadas en resolver problemas locales. Aunque las investigaciones en áreas experimentales, naturales y biomédicas figuran en revistas académicas internacionales, más del la mitad de las revistas académicas en América Latina quedan fuera (Alperin, 2014).

El uso de los indicadores alternativos permite incluir la producción de acceso abierto de las regiones en desarrollo, complementando a los indicadores tradicionales, que adolecen de criterios para incluirlas y generar prácticas más equitativas. Otra limitación que se ha

identificado en los indicadores internacionales es que para medir el impacto se basan únicamente en las citas. Si bien es cierto que los estudios han corroborado la correlación entre las citas y el impacto, al sesgar el impacto a "lo más altamente citados" se dejan de observar las contribuciones incrementales, que en suma construyen un campo (Martin, 2012).

Las altmétricas son métricas alternativas experimentales, que toman datos de muchas fuentes y miden con base en la gestión de marcadores sociales. Incluyen otros productos de investigación alternativos (presentaciones, videos y datos) para visualizar impactos más sutiles de la producción académica, tales como lecturas, descargas, citas, visitas, veces compartido y usos didácticos por país y por día (no por año), posibilitando monitorear el consumo y la superposición de las métricas. Desde el 2002, el modelo de acceso abierto promueve la "vía dorada", que consiste en que los autores publiquen sus artículos directamente en revistas de acceso abierto, a veces realizando un pago, y la "vía verde", en la cual los autores depositan los "preprints" o "postprints" en repositorios, que en su mayoría son de tipo institucional y están sustentados en leyes que exigen el auto-archivo de los trabajos financiados con fondos públicos (Alperin, 2014; Abadal, 2012).

Esto permite ampliar el *alcance*, entendido como los canales de difusión y los tipos de usuarios, y crear un conjunto de indicadores de acceso a la ciencia, que incluyan usos didácticos para la formación de capital humano o la aportación de ideas. Otro elemento importante es el *impacto*, que se ha limitado a las citas invisibilizando otras formas de contribución y sub-representando de los países en desarrollo, por el carácter excluyente de la política editorial y la cobertura de las revistas. En este sentido, son necesarios indicadores más específicos a nivel de artículo, autores y temas. El avance en las altmétricas y su inclusión en la política de CTI es crucial para América Latina, ya que pese a su liderazgo en AA y a sus aportes en materia de metadatos, está excluida de los indicadores internacionales. Es apremiante una política que no deje la responsabilidad de la comunicación científica a las editoriales comerciales y que no se limite a la "vía verde" y la "vía dorada", sino que desarrolle e incluya indicadores alternativos de acceso, alcance y calidad a través de modelos de financiamiento público (Alperin, 2014; Abadal, 2012).

Capítulo 3. Metodología

"He tratado de mostrar a los tecnólogos que ni siquiera pueden concebir un objeto tecnológico sin tener en cuenta la masa de los seres humanos con todas sus pasiones y la política"¹³

Bruno Latour (1996)

En este apartado se desarrollan la metodología y la estrategia teórico-metodológica, la cual tiene como fin tender puentes entre instrumentos de diferentes disciplinas para abordar el efecto de la PI en los flujos de conocimiento como un fenómeno complejo. El primer subtema aborda las tres estrategias aplicadas en el análisis de resultados, para lo cual se plantea como primera estrategia el uso del enfoque socio-técnico en el estudio de la política de CTI y el sector FV, con el fin de hacer visibles las relaciones entre lo social y lo tecnológico. Después se propone la aplicación del constructo teórico-metodológico de esta investigación a un sector tecnológico relevante para probar la hipótesis.

Posteriormente, se propone observar el comportamiento de las variables desde la ciencia de la complejidad, específicamente, empleando el enfoque de redes, para obtener una perspectiva sistémica/estructural y un eje que posibilite la articulación de las diversas disciplinas. El propósito es contar con un marco de análisis que permita examinar las diferentes aristas del fenómeno, integrando los diversos conceptos del marco teórico y los resultados de la aplicación de instrumentos tanto cuantitativos como cualitativos. Después de plantear la estrategia teórico-metodológica, se desarrolla el tema de redes y complejidad, luego se presentan las variables, su relación y su operacionalización. Enseguida, se describen los aspectos técnicos de la metodología, los instrumentos y el software empleado, así como los medios de recolección y las aplicaciones para el procesamiento de datos. Finalmente, se muestra el universo de estudio enmarcado en términos de las clasificaciones CPC e IPC más relevantes del sector FV.

¹³ "I have sought to show technicians that they cannot even conceive of a technological object without taking into account the mass of human beings with all their passions and politics..." (Latour, 1996, p. viii).

3.1. Estrategia teórico-metodológica

Los estudios de las políticas de CTI se caracterizan por tener marcos conceptuales y metodológicos muy heterogéneos y desarticulados. En general, las ideas que les dan sustento son derivaciones de la economía evolucionista o de la tradición neoclásica. Sin embargo, en la práctica las corrientes derivadas de éstas tradiciones se combinan, por lo cual es más adecuado analizar las combinaciones de políticas que caracterizan a cada sector tecnológico y no sesgar el estudio desde un sólo marco conceptual (Martin, 2012).

La PI es una institución toral de la política de CTI, cuyos múltiples efectos en los flujos de conocimiento deben ser abordados desde la interdisciplina. La complejidad es un marco teórico-metodológico que posibilita aplicar una perspectiva interdisciplinar a los estudios de innovación tecnológica. En este sentido, la emergencia de una tecnología puede ser vista como un fenómeno complejo, cuya materialización y funcionamiento son un proceso emergente, auto-organizado y relativo a un espacio-tiempo determinado. La tecnología es el resultado de una diversidad de fuerzas políticas, técnicas, sociales, económicas y legales, mediadas por regulaciones heterogéneas que cambian simultáneamente o co-evolucionan con la tecnología (Vercelli, 2009). De ahí que se proponga una estrategia metodológica dividida en los siguientes niveles de análisis:

a) Análisis de la dimensión socio-técnica, para hacer visibles las relaciones entre lo social y lo tecnológico, incluyendo las tensiones jurídico-políticas sobre la apropiación y liberación del conocimiento, así como su gestión a través de los DPI, lo cual afecta la posición estructural de los países. Esta dimensión se deriva de las posturas constructivista y relativista, que consideran que la tecnología no es auto-explicativa o no contiene razones inmanentes que la expliquen, sino que más bien materializa diversas interrelaciones sociales, técnicas, económicas y políticas que la constituyen en un periodo de tiempo. Dado que es construida socialmente, observar las luchas/negociaciones en torno a ésta permite comprender el éxito o fracaso de una tecnología (Vercelli, 2009).

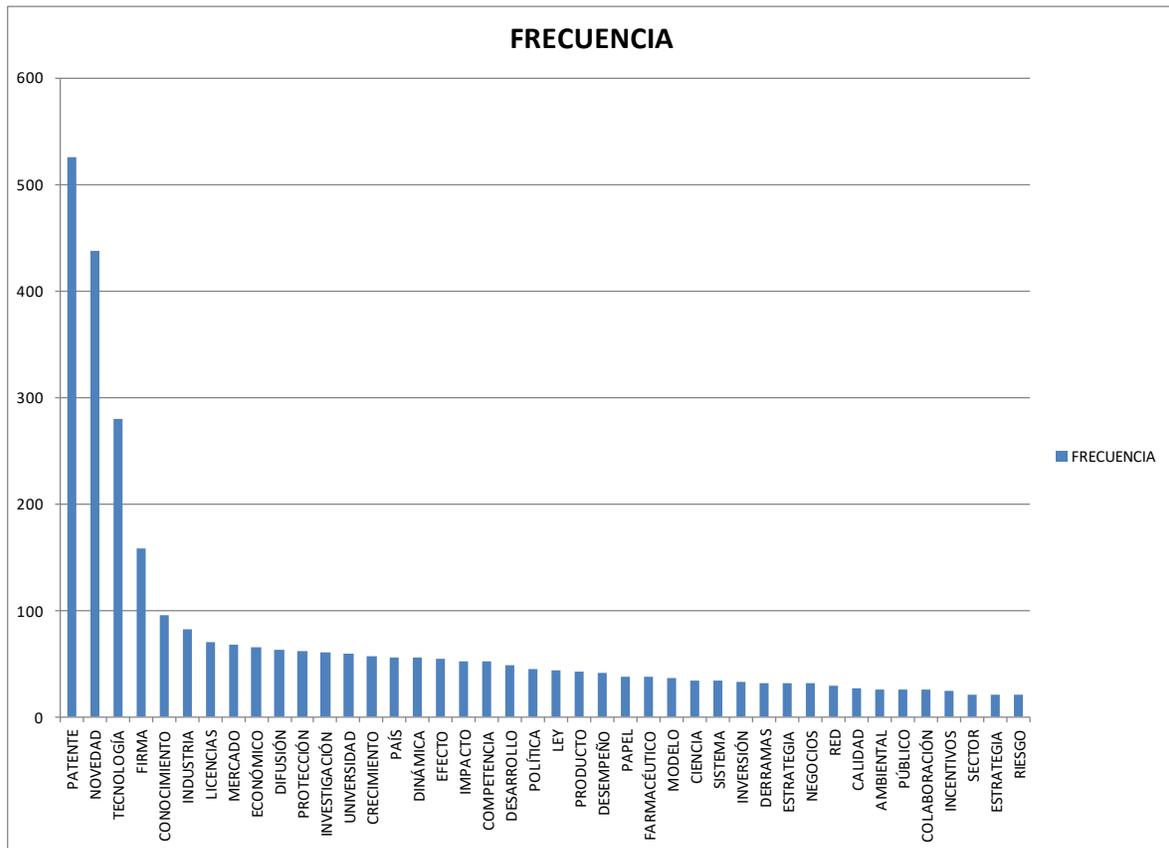
Las normas y reglas que regulan las interacciones pueden ser vistas desde las dimensiones estructurales de significación, dominación y legitimación propuestas por Giddens (1984):

teoría de la codificación, teoría de la autorización de recursos, teoría de la asignación de recursos y la teoría de la regulación normativa. En el lenguaje de la estructura institucional se reflejan los acuerdos colectivos para nombrar la realidad, comprenderla, percibirla y tratar los problemas sociales. Así mismo, se ponen de manifiesto los cambios en los juicios de valor y la constitución de las reglas del juego que legitiman las asimetrías en distribución de los recursos, así como la determinación de lo que es aceptable según el avance del conocimiento. Pero sobre todo, el lenguaje refleja lo que se considera "verdad" en materia de políticas públicas (Majone, 1997).

Con el fin de hacer visible el lenguaje de la comunidad científica en materia de propiedad intelectual y observar las variables que estudian, así como los conceptos que predominan en el campo, se realizó un análisis de la frecuencia de palabras en los artículos científicos sobre PI de la base de datos de Web of Science. La búsqueda se hizo a partir de las palabras: (innovation or knowledge) and (legislation or law or rights) OR ((intelectual property)), para el periodo 1994-2016, que es el tiempo que lleva vigente el ADPIC. El resultado fueron 1580 artículos. Con el uso del "software isi.exe", disponible en <http://www.leydesdorff.net/software/isi/index.htm>, se obtuvieron los archivos ".dbf", los cuales sirven de insumos para el software "FrqList.Exe". Esta aplicación disponible en: [http://www.leydesdorff.net /software/ti/index.htm](http://www.leydesdorff.net/software/ti/index.htm), fue diseñada para construir un listado de frecuencia de palabras.

La revisión cualitativa del estado de la cuestión, que se realizó para construir el marco teórico de la presente investigación, muestra que los DPI abarcan una gran diversidad de aspectos, que han sido estudiados desde una amplia variedad de disciplinas. Esto dificulta determinar cuáles son las variables más relevantes o aquellas que reciben mayor atención por parte de los investigadores porque esperan que los DPI tengan un impacto o efecto en su comportamiento. En este sentido, la aplicación "FrqList.Exe" permite identificar los conceptos que aparecen con mayor frecuencia en los títulos de los artículos de investigación en el tema de PI.

Gráfica 1. Frecuencia de palabras en los artículos científicos de WoS sobre propiedad intelectual (1994-2016).



Fuente: Elaboración propia con datos de Web of Science (1994-2016).

La gráfica 1. muestra las palabras que aparecen con mayor frecuencia, entre las que figuran las patentes en relación al conocimiento, la difusión, los países, el desempeño/efecto/impacto, los actores (universidad - industria - gobierno), la I&D, las redes y las colaboraciones, entre otros. Este resultado justifica la selección de variables del presente estudio. Aunque, desde los análisis cualitativos la PI parece un campo fragmentando entre muchas disciplinas, un estudio bibliométrico muestra que la mayoría de los autores más influyentes (80%) se encuentran laborando en departamentos de economía y derecho (20%). En otras palabras, hay un predominio de la economía y el derecho en los estudios realizados hasta el momento (Palacios-Núñez, Vélez-Cuartas & Botero, 2016). En este sentido, la aplicación del enfoque de redes en esta investigación aportaría nuevas información, desde la perspectiva estructural.

b) Aplicación del constructo teórico-metodológico a un sector tecnológico para probar la hipótesis. Dado que el argumento central de esta investigación es que los DPI tienen efectos diferentes en cada país y sector tecnológico, por lo cual no deben aplicarse ni fortalecerse de manera homogénea, se seleccionó un caso de gran relevancia a nivel mundial donde es apremiante la construcción de marcos regulatorios favorables para el avance de la tecnología: el sector FV. El fin es determinar si el constructo teórico-metodológico desarrollado en esta investigación posibilita hacer visibles y analizar los efectos distintos de los DPI a nivel mundial.

c) La perspectiva de la complejidad como eje teórico-metodológico para la articulación de las diferentes disciplinas que componen el marco teórico, así como para el análisis del sistema de innovación a través del enfoque de redes. Dado que una forma de describir, analizar y representar la dinámica de los sistemas complejos es la ciencia de las redes, se hace uso del Análisis de Redes Sociales (ARS). Su potencial para analizar sistemas se deriva de que es un nuevo campo interdisciplinario que surgió de la comunidad de investigación de sistemas complejos (Hoogduin, 2014). Las redes, como concepto, son formalizaciones metodológicas y teóricas que se han construido para explicar fenómenos especialmente de carácter estructural. En lo metodológico, posibilita explicar fenómenos desde un conjunto de herramientas técnicas y analíticas que procesan diferentes tipos de información con fácil acoplamiento e inclusión de datos estadísticos, etnográficos, historiográficos, discursivos y matemáticos, basándose en el uso de modelos matemáticos y computacionales (Vélez, 2011).

El análisis estructural presenta como ventaja que ofrece una explicación del comportamiento social y de las instituciones en función de las relaciones entre individuos y organizaciones. Esto evita los análisis reduccionistas que se enfocan en una sola entidad o individuo de manera aislada eliminando toda interacción con su medio o la explicación a través de la relación de "variables" estructuradas en una ecuación lineal, la cual tiene como base la relación entre conceptos, en lugar de entidades sociales reales. Así mismo, el análisis estructural evita explicaciones que podrían derivar en determinaciones de las condiciones tecnológicas y materiales (Granovetter, 2005).

3.2. Complejidad, redes y flujos de conocimiento en los sistemas de innovación

Las ciencias de la complejidad tienen como objeto de estudio los sistemas complejos y, dado que la complejidad se encuentra en las diferentes disciplinas académicas, es interdisciplinaria. La complejidad es una característica de un sistema y las ciencias de la complejidad estudian las características comunes de los sistemas complejos a través de la construcción de una metodología y lenguaje comunes para describirlos y analizar su diversidad estructural. Un sistema complejo es un conjunto formado por un gran número de elementos heterogéneos en términos de la información/conocimiento que poseen, relacionados entre sí y con su ambiente. No hay un control central que los coordine y sus interacciones siempre implican el intercambio de información/conocimiento. Las interacciones y comportamiento entre sus elementos se regula a través de reglas fijas y relativamente simples, lo cual no impide que éstos cambien a raíz de procesos de aprendizaje para ajustarse a su medio ambiente o a las interacciones con otros elementos, convirtiéndose así en lo que se conoce como sistemas adaptativos complejos (Mitchell, 2014; Hoogduin, 2014).

Entre las propiedades o características comunes que poseen los sistemas complejos y que permiten catalogarlos como tales se encuentran los componentes o agentes simples, cuyos atributos son sencillos en relación con todo el sistema, las interacciones no lineales entre los componentes, la inexistencia de un control central, el comportamiento emergente, la organización jerárquica, el procesamiento de la información, la dinámica, la evolución y la capacidad de aprendizaje. Históricamente los problemas se han tratado como problemas de complejidad organizada, cuyo número de variables es moderado. Sin embargo, el mundo real posee problemas de complejidad desorganizada, que contienen miles de millones o billones de variables y hacen emerger X y Y desde fuertes interacciones no-lineales entre ellas. Este tipo de problemas implican tratar simultáneamente con un número considerable de factores que se interrelacionan en un todo orgánico y son demasiado complejos para ceder el paso a la viejas técnicas del siglo XIX, que eran exitosas en el tratamiento de problemas simples con dos, tres o cuatro variables (Mitchell, 2014).

El alto grado de dificultad en los estudios de complejidad de los sistemas sociales se debe a que tienen un comportamiento emergente, una dinámica evolucionista y son auto-organizados. El comportamiento emergente es un orden espontáneo que se da a nivel de todo el sistema y no se deriva de la agregación del comportamiento de los elementos individuales. A partir de las interacciones de los elementos se forma una estructura y patrones de conducta que pueden ser descritos y analizados a través del tiempo. Los sistemas complejos siguen trayectorias de dependencia, por lo cual el inicio y la historia del sistema son relevantes. Las trayectorias se dan siguiendo un proceso de auto-organización, adaptativo y sin un control central. El proceso de auto-organización se da de abajo hacia arriba, produciendo incertidumbre fundamental y haciendo extremadamente difícil predecir con gran detalle su comportamiento. Por ello, los modelos de la complejidad son útiles para encontrar patrones, pero no para predecir de manera precisa el futuro (Hoogduin, 2014).

Los sistemas adaptativos complejos a menudo siguen la dinámica evolucionista. La dinámica se refiere al estudio general de cómo cambian los sistemas a través del tiempo mostrando un comportamiento complejo. El cambio mediante el mecanismo de evolución comienza con variación en el ambiente y se basa en la selección de los elementos que son aptos para las nuevas condiciones, los cuales se multiplican y pueden cambiar el ambiente del sistema causando una nueva variación. Por ello, la evolución puede ser descrita como variación, selección, eliminación y aplicación o escalamiento de lo que funciona, todo en una continua repetición. La evolución es un proceso sin dirección central, inconsciente, de prueba y error, donde el sistema aprende de sus errores y continua haciendo lo que funcionó, adaptándose a las circunstancias cambiantes. Debido a esto, el sistema nunca está en reposo, ni en equilibrio, hay cambio constante e innovación (Hoogduin, 2014; Jager, 2014).

En la ciencia de la complejidad los sistemas sociales complejos son una subclase, en la cual los elementos son individuos u organizaciones. La concepción de lo social como un sistema complejo se remonta a la década de 1930, cuando Friedrich von Hayek mencionó que el mercado es un sistema complejo superior a la planificación central por su capacidad de tomar en cuenta toda la amplia información dispersa en la sociedad y en la economía,

sin necesitar un control central, para responder específicamente a todo tipo de cambios continuos y adaptarse. En la década de 1960, Hayek hizo más explícita su concepción de la economía de mercado como un sistema social complejo al argumentar que no es posible hablar de un sistema social en un punto determinado del espacio-tiempo, sino que se requiere analizar su historia para describir su desarrollo a través del tiempo (Hoogduin, 2014; Hayek, 1967).

Los sistemas sociales complejos muestran una dinámica evolucionista caracterizada por flujos de intercambio de información, que se dan a partir de las interacciones sociales e implican la adaptación continua a nueva información y conocimiento. Este intercambio de información requiere mecanismos de regulación basados en sistemas de reglas o normas para crear un marco de actuación y cierto orden. Los leguajes, los mercados, los contratos, los sistemas legales, el dinero y la cultura son instituciones o sistemas de reglas que han emergido como resultado de la interacción entre los individuos y han evolucionado (Jager, 2014). En este sentido, la emergencia se define como el surgimiento de nuevas y coherentes estructuras, así como de patrones y propiedades del sistema durante el proceso de auto-organización (Epstein, 2014).

Las instituciones, al igual que otros fenómenos sociales, emergen en el sistema como resultado de los procesos de comunicación, cuya evolución permite entender el comportamiento social emergente. Las normas tienen influencia en la conducta de los individuos porque detrás de su cumplimiento está la intención de pertenecer a un grupo. Esto presenta como ventaja que se generan mecanismos de organización y la sincronización del comportamiento. Sin embargo, también puede causar problemas de bloqueo (*block-in*), que se dan cuando los individuos no son conscientes de estar atrapados en acciones que producen un resultado sub-óptimo. El bloque se define como una situación en la cual una tecnología en particular domina el mercado, incluso cuando es evidente que no es la mejor alternativa disponible. Aunque es difícil superar un mecanismo de bloque en un sistema social, esto es posible generando mayores flujos de conocimiento, ya que el mecanismo de bloque emerge como resultado de un proceso de comunicación, por lo cual, mayores flujos pueden dar inicio a otros procesos emergentes (Hoogduin, 2014; Campbell, 1990).

Otra forma de superar un mecanismo de bloque es la ocurrencia de desviaciones de las normas, ya que esto crea nuevas posibilidades. Sin embargo, es más difícil superar los bloqueos de sistemas de mayor escala para impulsar las transiciones o cambios de dirección, porque estos inician con turbulencia incremental e implican la desestabilización de las grandes instituciones antiguas. El cambio social también puede ser inducido por la difusión de las innovaciones en el sistema. Según la econofísica¹⁴, éste se da a través de un proceso percolástico que inicia con la filtración de la información sobre la adopción de una nueva tecnología y ésta se propaga siempre y cuando se considere que es buena. Sin embargo, en el proceso hay influencia de las normas sociales sobre la decisión de adopción (Jager, 2014; Arthur, 1997).

No sólo las instituciones influyen en la conducta, la evolución orgánica contiene mecanismos de toma de decisiones moldeados por la selección natural. En contextos sociales, estos mecanismos se orientan por el comportamiento óptimo que permita vivir en sociedad. Empero, difícilmente se logran soluciones rentables para todas las partes involucradas, lo cual conduce a una dinámica de no equilibrio. Esto caracteriza a los sistemas evolutivos: el no-equilibrio generado por procesos de competencia entre los agentes. Bajo condiciones de no equilibrio pueden coexistir de manera estable muchas más especies que las equivalentes a los recursos limitados. Sin embargo, si la evolución conduce a una mayor diversidad/complejidad, puede ocurrir que las mutaciones en las especies generen un aumento de la degradación de éstas, es decir, la evolución no necesariamente conduce a resultados óptimos (Hoogduin, 2014; Weissing, 2014).

La selección natural tiende a producir estrategias más eficientes de adaptación y sobrevivencia, sin que esto implique un resultado favorable para las especies en evolución, ya que las estrategias aparentemente exitosas pueden conducir a resultados sub-óptimos. La selección natural favorece las estrategias que son las más eficientes dentro de una especie

¹⁴ La econofísica es un novedoso campo de investigación científica que aplica teorías y métodos, originalmente desarrollados por físicos, para entender y resolver problemas en la economía y, especialmente, aquellos que involucran aspectos estocásticos y de dinámica no lineal. Se contraponen en métodos y filosofía a la economía clásica, por considerar que se basa en fundamentos teóricos derivados de una termodinámica del equilibrio que es inaplicable a la realidad (Arthur, 1997).

de competidores, pero esto no necesariamente induce la evolución de las propiedades óptimas para la especie como un todo. La evolución de la competitividad muestra que la capacidad competitiva, definida como la capacidad de adquirir recursos en competencia con los demás, es un determinante importante del éxito de los organismos. Sin embargo, una mayor inversión en la competitividad puede aumentar la probabilidad de adquirir un recurso de alta calidad, pero al mismo tiempo reducir la capacidad de explotar el recurso adquirido con la máxima eficiencia (Weissing, 2014).

La teoría económica ya había abordado el análisis de escenarios en condiciones de competencia y cooperación a través de la teoría de juegos. El problema que plantea la cooperación es que los polizones (*free riders*) pueden cosechar los beneficios sin contribuir al costo. Los estudiosos de la complejidad proponen una "teoría de juegos evolucionista", donde la cooperación puede evolucionar si los individuos condicionan la cooperación propia a la cooperación del otro. La disponibilidad de tales estrategias puede afectar fuertemente el resultado de la evolución social. Dado que el ambiente impone presión en varios niveles de selección, generando algún grado de conflicto entre niveles, esto se resuelve a través de sistemas de normas que emerge para alinear los intereses individuales integrándolos en la gran estructura común y dando lugar a transiciones hacia instituciones innovadoras. De ahí que en complejidad las instituciones sociales sean consideradas propiedades emergentes de los grupos, que tienden a favorecer la cooperación (McNamar & Weissing, 2010; Berg, 2014).

Estas propiedades emergentes de los grupos se explican por el principio de auto-organización, el cual es un comportamiento que surge desde abajo a través de la interacción de muchos individuos que se influyen mutuamente creando una estructura, la cual no obedece a una planeación central, sino que son las características comunes entre los individuos las que generan patrones de agrupamiento (*clustering*). El agrupamiento se da por dos mecanismos sociales importantes: la influencia social y la homofilia. Esto se traduce en que a mayor similitud entre los agentes más probabilidades hay de que interactúen y de que uno influya a otro haciéndose más similares y propensos a interactuar (Flache, 2014).

Este tipo de hallazgos muestran que las trayectorias de dependencia no son aleatorias ni caóticas, son una propiedad emergente de los sistemas complejos donde el estado actual depende de la historia. Las trayectorias de dependencias evolucionan como consecuencia de la historia propia, a través de mecanismos de retroalimentación positivos que limitan el número de opciones o elecciones disponibles en el presente. El estudio de las trayectorias de dependencia o procesos históricos revela información importante acerca de cómo se configuraron las instituciones sobre las que descansan los futuros desarrollos posibles (Veenstra, 2014; Stoker, 2014; Jordan, 2014).

Ahora bien, una forma de describir, analizar y representar la dinámica de los sistemas complejos es la ciencia de las redes, ya que se considera que los sistemas complejos pueden ser concebidos como redes de gran tamaño. Las redes son formalizaciones teórico-metodológicas que se han construido para explicar fenómenos de carácter estructural. La ciencia de las redes surgió de la comunidad interdisciplinaria de investigación de los sistemas complejos y su potencial metodológico radica en que es un conjunto de herramientas que posibilitan procesar diferentes tipos de información con fácil acoplamiento e inclusión de datos estadísticos, etnográficos, historiográficos, discursivos o matemáticos, basándose en el uso de modelos matemáticos y computacionales (Vélez, 2011; Mitchell, 2014).

La rama de las matemáticas que describe y analiza las redes se conoce como teoría de grafos, en la cual un conjunto de nodos o vértices están conectados por enlaces que denota una relación unidireccional, bidireccional o sin dirección entre los nodos. Los nodos pueden representar diferentes tipos de entidades, agentes o individuos, cuyas relaciones aparecen, desaparecen o generan nuevas relaciones a través de las cuales se transmite todo tipo de recursos tangibles e intangibles. Por ello, las estructuras de las redes sociales evolucionan y son dinámicas. Las redes se diferencian por el número de nodos, sus conexiones y su distribución. En las redes libres de escala las características de la red son independientes del tamaño de la red, lo cual significa que cuando la red crece la estructura subyacente sigue siendo la misma. Esto podría explicarse por la vinculación preferencial, que significa

básicamente que la probabilidad de un nodo de tener más conexiones depende de la cantidad de conexiones que ya tiene. El tipo de conectividad que conforma la estructura de la red tiene efectos importantes en la manera como se difunde el conocimiento a través de la red, es decir, en los flujos (Hoogduin, 2014). Se entiende por flujos de conocimiento al proceso de compartir, difundir y transferir conocimiento como resultado de la interacción de diferentes actores en tres dimensiones: tiempo, espacio y nivel. Los flujos de conocimiento en las redes dotan de comportamiento y dinámica a éstas, haciendo relevante su estudio en temas de CTI por estar relacionados con el incremento de la producción de conocimiento. El incremento de un tipo de conocimiento no sólo depende de los flujos, también depende del nivel de conocimiento existente en los nodos (Jin-hua, 2007; Rosvall, 2006).

La estructura de las redes está conformada por agentes con determinados perfiles de conocimiento, lo cual influye en la dinámica de los flujos de conocimiento. Éste se difunde eficientemente cuando el nivel de conocimiento de los agentes es similar y su distribución es uniforme a través de la red. La transferencia de conocimiento es un proceso costoso y difícil debido a que éste está socialmente embebido, es altamente específico del contexto y requiere que los receptores tengan conocimiento previo para ser capaces de entenderlo y utilizarlo. El costo y la dificultad de la transferencia se reduce cuando todos los actores, tanto emisores como receptores, comparten conocimiento fundamental común, el cual es un componente clave de la capacidad de absorción de los receptores (Shin & Kook, 2014).

Otro elemento que hace eficiente la difusión es la "centralidad" de la red o su compacidad, determinada por la distribución de nodos y sus relaciones, es decir, la longitud media de las trayectorias de transferencia de conocimiento en términos del número de conexiones necesarias para transferir entre dos partes. A menor número de conexiones necesarias mayor eficiencia y rapidez. Así mismo, la medida de la importancia de un nodo concentrador revela su influencia en toda la red. El conocimiento se vuelve más valioso a medida que se distribuye rápidamente y es consumido por más usuarios, por lo cual es crucial el perfil de conocimiento de los agentes mediadores (Shin & Kook, 2014). Analizar la dinámica del conocimiento en una red implica concebirlo como una propiedad emergente

de un sistema, que se crea y propaga dentro de estructuras interconectadas. Sus niveles interrelacionados de análisis se distinguen al separar la forma de la red de su contenido relacional y del conocimiento, que no es un mero resultado de la actividad de la red, sino una red en sí misma. El poder explicativo de los enfoques estructurales aumenta si no se confunde a los actores con las características del conocimiento que poseen. En una red de conocimiento el nodo es el tipo de conocimiento, la diada es el flujo de conocimiento y la red es una estructura dinámica de los conocimientos que se propagan. El conocimiento en un nodo es un conjunto de conceptos o construcciones cognitivas, apropiables por los diferentes niveles. El cambio en el conocimiento de un nodo receptor producido por el conocimiento entrante estará en función de la medida en que el conocimiento entrante es diferente del pre-existente (Swart & Powell, 2012).

Esta investigación parte de considerar los sistemas de innovación como sistemas complejos. El Análisis de Redes Sociales (ARS) es apropiado para analizarlo como tal, ya que una de sus ventajas es que se puede usar en una amplia variedad de dominios sin importar la área del conocimiento en cuestión (Wang et al., 2014). Los análisis tradicionales que usan citas de patentes se basan en métodos estadísticos sobre el número de patentes y la frecuencia de citas. Aunque valiosos, estos métodos sólo proveen información parcial de la difusión de conocimiento. Con el fin de tener una perspectiva más comprensiva se emplea el ARS, que es una técnica cuantitativa para obtener información sobre la estructura de una red de conocimiento tecnológico entera y sus propiedades estructurales. Este método taxonómico, basado en particiones e identificación de nodos clave, permite una mirada holística del campo tecnológico (Choe et al., 2016).

3.3. Hipótesis

El Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (ADPIC) tuvo un efecto favorable sólo para los países desarrollados en cuanto al incremento en los flujos de conocimiento, la producción de patentes y las colaboraciones cognitivas.

3.4. Identificación de las variables y su operacionalización

Variable	Concepto	Dimensión	Indicador	Función	Fuente de información	Instrumento/ Software
Dependiente 1	Flujos de Conocimiento (FC)	Patrones de innovación Difusión del conocimiento	Citas de patentes hacia adelante	FC= f(PI-1, PI-2)	USPTO PATSTAT Derwent World Patents Index Web of Science Banco Mundial	uspto1.exe uspto2.exe patref3.exe Patref0.exe, Patref1.exe y Patref2.exe isi.exe FrqList.Exe Pajek Tablas dinámicas
Dependiente 2	Producción de Conocimiento (PC)	Tasa de invención	Número de patentes	PC = f(PI-1, PI-2)		
Dependiente 3	Colaboración Cognitiva (CC)	Cooperación entre e intra países	Número de co-inventores de distinto país	CC= f(PI-1, PI-2)		
Independientes 1	Propiedad Intelectual (PI-1)	Antes del ADPIC	Año de solicitud <1996			
Independientes 2	Propiedad Intelectual (PI-2)	Después del ADPIC	Año de solicitud >1996			

La economía del conocimiento se centra en la capacidad de innovar y crear valor más rápido con base en el conocimiento tecnológico (Choe et al., 2016). El término se refiere a la creciente importancia del conocimiento como un factor crítico para el crecimiento económico, para lo cual es necesario que los actores adquieran, creen, difundan y utilicen con eficacia el conocimiento, generando nuevos productos y servicios o innovaciones (World Bank Institute, 2004). Debido a que la innovación se ha globalizado, se hizo evidente la necesidad de instituciones que posibilitaran regular y gestionar este bien intangible a nivel mundial, favoreciendo el incremento de las innovaciones. El ADPIC surge como una respuesta a esas demandas convirtiéndose en una institución pionera de la gobernanza global del conocimiento. Con la firma de este acuerdo se esperaba un efecto positivo en el comportamiento de las variables que afectan la innovación, es decir, un aumento de las *colaboraciones* (VD3) y de la *producción de conocimiento* (VD2) entre países e intra países, debido a que el fortalecimiento y la homogenización de criterios de los DPI reducirían los riesgos asociados a la inversión

en I+D y aumentarían la confianza para la colaboración por el grado de formalización que este acuerdo confiere. Así mismo, se esperaba que aumentarían los *flujos de conocimiento* (VD1) como resultado del incremento de las colaboraciones y del establecimiento de la obligación de revelar la información de las patentes a los 18 meses de la aplicación. Esto último generaría la disponibilidad mundial del estado de la técnica a través del sistema de patentes (Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015; Lall, 2003; Lai, 1998; Leydesdorff et al., 2015; Wang et al., 2014; Azagra-Caro & Consoli, 2014; Werner et al., 2013; Lei et al., 2013; Barberá et al., 2011; Leydesdorff & Rafols, 2011; Wua & Mathews, 2012). Por ello, se analiza el efecto que tuvo la firma del ADPIC en las variables dependientes, observando su comportamiento en dos periodos de tiempo: antes (VI1) y después (VI2) del cambio legislativo. Aunque el ADPIC se firmó en 1994, se consideran dos años de desfase.

La implementación de criterios homogéneos y el fortalecimiento de los DPI, sin considerar los niveles de desarrollo de los países, ni las brechas tecnológicas, se justificó con el argumento de que los beneficios para los países en desarrollo se darían por una mayor transferencia de tecnología a través de la IED y las importaciones de alta tecnología, lo cual les permitiría el acceso al conocimiento y la aceleración de los procesos de aprendizaje (Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015; Lall, 2003). Los estudios sobre los DPI realizados hasta el momento muestran que estos varían principalmente de acuerdo al nivel de desarrollo de los países y del sector tecnológico en cuestión. Estas aristas del efecto de los DPI se estudian en la presente investigación a través del análisis estructural del comportamiento de las variables en los países desarrollados y en desarrollo en el sector FV. Los resultados permitirán determinar si el ADPIC favoreció a todos los países en las tres variables o si debe ser reconsiderado el régimen de PI para este sector. Así mismo, se indagará en las condiciones socioeconómicas y tecnológicas que se presentan en los países que se ven favorecidos con el régimen actual de los DPI con el fin de delinear algunas estrategias para una política de desarrollo del sector FV en los países menos favorecidos.

3.5. Recolección y procesamiento de datos

La presente investigación se basa en el análisis de datos de patentes de tres fuentes: USPTO, PATSTAT y Derwent World Patents Index. También se hizo uso de la base de datos de Web of Science para extraer información sobre las áreas de investigación del sector FV por país. El uso de diferentes bases de datos se debe a que cada una presenta ventajas respecto a las otras para construir determinados indicadores. Una de las ventajas de PATSTAT es que contiene información de las oficinas de patentes de todo el mundo, incluye información de patentes de los países en diferentes etapas de desarrollo tecnológico, ofrece información que no está disponible en otras bases de datos y está estructurada de manera que facilita análisis estadísticos y comparativos. Empero, los datos puede contener información repetida, ya que las solicitudes patentes regionales o internaciones contienen procedimientos que se superponen parcialmente.

Derwent World Patents Index tiene como ventaja que facilita obtener rankings de los datos de patentes, pero no contiene información específica de la territorialidad. La USPTO presenta como ventaja que es el indicador de mayor calidad de las nuevas invenciones tecnológicas, debido a que el mercado norteamericano es considerado el más competitivo por concentrar patentes que se encuentran en el borde tecnológico. Por ello, sus datos son los más usados en temas de política de innovación. Otra ventaja que presenta esta base de datos es que utiliza citas de patentes concedidas, las cuales son agregadas por el inventor o su abogado por estar obligados por la ley a proveer una lista de referencias del estado del técnica, mientras que en la EPO la mayoría de las citas son agregadas por el examinador (Leydesdorff & Bornmann, 2012). Sin embargo, no muestra datos de patentes de varios países en desarrollo, lo cual dificulta tener un panorama internacional completo.

La obtención de los datos de la USPTO se hizo a través del software de Loet Leydesdorff disponible en el sitio <http://www.leydesdorff.net/ipcmaps/>, el cual ofrece una metodología para ver la distribución geográfica internacional de las patentes, haciendo uso de tres aplicaciones: uspto1.exe para la descarga inicial en la interfaz de búsqueda avanzada de la USPTO; uspto2.exe para la organización de las bases de datos y patref3.exe para descargar

el número de citas por cada patente. La cadena de entrada fue *cpc/y02e10/50*, la cual se basa en una clasificación de patentes etiquetadas como tecnologías para la generación de energía a través de fuentes renovables, específicamente energía solar fotovoltaica. El software descargó un total de 5,450 patentes, concedidas de 1976 al 2016, que es el periodo de estudio. Después se hizo uso del software Patref0.exe, Patref1.exe y Patref2.exe, disponible en <http://www.leydesdorff.net/indicators/lesson5.htm>, para extraer los datos de las patentes que citan alguna de la 5,450 patentes del universo de estudio.

El resultado fue la obtención de archivos ".dbf" con datos de inventores, cesionarios, título, número de citas, países y clasificaciones internacionales de los campos tecnológicos, tanto de las patentes citadas como de patentes que citan. El total de patentes que citan fue de 47,897 y el total de citas fue de 1,909,986. Dado que las aplicaciones de patentes no pueden ser citadas, estas citas son sobre patentes concedidas. Los archivos ".dbf" se emplearon posteriormente para construir estructuras de redes que sirvieron de insumo para el software Pajek (De Nooy et al, 2005), desde el cual se mapearon redes de flujos de conocimiento, redes de colaboración cognitiva y redes de interdisciplina por cada una de las tres generaciones, todas ellas a nivel internacional.

Los datos de patentes de PATSTAT de la Oficina Europea de Patentes (EPO) se extrajeron usando los IPC (International Patent Classification, por sus siglas en inglés) más importantes del sector solar fotovoltaico, con base en un estudio previo que hizo Lei para detectar los IPC más relevantes en el sector y analizar colaboraciones internacionales (Lei et al., 2013). El periodo que abarcan estos datos es de 1954 al 2012, el cual es más extenso debido a que los datos se emplean para observar el comportamiento histórico o trayectoria global del sector. La extracción se hace utilizando el recuento por año de aplicación, por ser la fecha más cercana al descubrimiento y un dato más estable, ya que el tiempo que transcurre entre la solicitud y la concesión de una patente difiere en cada patente (Wua & Mathews, 2012).

El resultado fueron 560,122 patentes. Con base en estos datos se construyen tablas dinámicas para observar la producción de patentes, el número de citas recibidas, el número de referencias a patentes, el número de referencias a literatura que no es patente, el número de patentes por campo tecnológico y el sector social al que pertenecen las patentes. Los datos para graficar se organizan por año y por país. De la base de datos de Derwent World Patents Index, se extrajeron rankings de cesionarios de las 250 patentes más citadas de las tres generaciones de patentes.

Finalmente, como complemento del análisis de patentes, se observó la producción de publicaciones científicas en las tres generaciones de celdas del sector FV por país en la colección principal de Web of Science. La búsqueda se hizo a través de palabras clave por tema: ((solar cells or photovoltaic cells)) AND ((Monocrystalline Silicon Solar Cells or Polycrystalline Silicon Solar Cells)) OR ((Thin-Film Solar Cells or Organic Solar Cells or Dye Sensitized Solar Cells)). El resultado fueron 56,192 artículos científicos publicados de 1985 a 2016, de los cuales el artículo más citado contenía 16,211 citas. Estos datos se emplean como un indicador de las capacidades científicas de los países en las diferentes áreas de investigación que conforman el sector.

La información extraída de las bases de datos de patentes y de artículos científicos se complementó con una investigación documental para determinar el estado de la técnica del sector, sus retos y la posición de los países respecto a la estructura del conocimiento y el mercado. Así mismo, se recabaron y analizaron estudios que se enfocan en detectar los factores que inciden de manera positiva en el desarrollo del sector FV y en los flujos de conocimiento. Debido a que la información presenta datos técnicos altamente especializados, se recurrió a realizar entrevistas a expertos en el sector. En cuanto al procesamiento de la información, los datos se usaron para hacer el análisis bibliométrico a través del Análisis de Redes Sociales. La bibliometría es la aplicación de métodos matemáticos y estadísticos para medir la actividad científica y tecnológica, a través de la identificación de patrones o regularidades en los flujos de información de la literatura de carácter científico y las patentes (Guo, Xu, Huang & Porter, 2012).

La estructura de patentes permite observar la competitividad industrial en el mercado del conocimiento, el cual difiere de la competencia entre académicos a través de publicaciones, por los altos costos que involucran y el limitado número que se concede debido al riguroso proceso de examinación que implican. La organización del conocimiento a través de las patentes permite estudiar los flujos en términos de la distribución geográfica de los laboratorios, industrias o naciones que las producen y las citan (Leydesdorff & Bornmann, 2012). Aunque los datos de las patentes posibilitan construir mapas de patentes para dos dimensiones de la innovación, la cognitiva y la económica (Leydesdorff et al., 2015), los mapas del presente estudio se enfocan en la cognitiva.

Los patrones económicos se obtienen a partir de los datos de los cesionarios de las patentes, ya que son los que poseen los derechos comerciales de explotación y patentan con el fin de obtener beneficios económicos. Estos datos muestran a los actores presentes en el mercado, su propensión a patentar y su posición en el ambiente competitivo de la economía del conocimiento. Las patentes también contienen los datos de los inventores, lo cual permite ver las capacidades tecnológicas mundiales. Otra arista que se puede observar en los datos de las patentes son las relaciones de colaboración cognitiva y la colaboración económica entre países y dentro de los países. Este indicador se construye a partir de observar múltiples cesionarios e inventores en una patente. La colaboración económica se da por la búsqueda de beneficios comerciales y la cognitiva para el complemento de saberes (Lei et al., 2013).

El uso de datos de patentes para construir indicadores data de 1955 con los trabajos de Garfield y De Solla Price (1963) y se consolidó hasta 1984 con los estudios de Griliches & Hausman al relacionar las patentes con la I&D (Martin, 2012). Desde entonces, las patentes han sido ampliamente usadas como indicadores del desempeño de sistemas de innovación, pero éstos han sido criticados de ser altamente fragmentados o incompletos (Dodgson et al., 2011). Esto se debe a que se sabe que algunos inventos no pueden ser patentados o los inventores prefieren mantenerlos en secreto por el temor a la imitación por parte de sus competidores (Coupé, 2003). Si bien es cierto que las patentes están lejos de ser medidas perfectas de la innovación, es de reconocerse que proporcionan datos que permiten medir

de manera aproximada el valor económico y tecnológico de una patente. Así mismo, las citas proveen información de la dirección de los flujos de conocimiento, el grado de influencia de la tecnología y la calidad de la actividad inventiva (Choe et al., 2016). Dado que los recuentos de patentes sólo toman en cuenta la cantidad sin considerar su calidad, se hace uso del número de citas recibidas, ya que éstas están correlacionadas con su valor. Las patentes que se citan con más frecuencia son más propensas a ser renovada y tienen más probabilidades de ser litigadas, lo cual es un indicador de su valor de mercado (Coupé, 2003).

Las citas de patentes se pueden dar en dos direcciones, hacia atrás o hacia adelante. Las primeras incluyen las citas de documentos relacionados que fueron publicados antes, muestran el estado de la técnica en el que se sustenta la invención y son un indicador del linaje tecnológico de nuevas patentes. Las citas hacia adelante son el número de citas recibidas por una patente después de su emisión y se utilizan para medir su impacto tecnológico. Se considera que entre más citada es una patente fuera de su clase mayor es su generalidad y aporte al conocimiento (Azagra-Caro & Consoli, 2014; Mowery & Ziedonis, 2002). Para los fines de la presente investigación se utilizan citas hacia adelante, ya que éstas permiten una aproximación a la importancia tecnológica e impacto del conocimiento incorporado en la patente, el cual se refiere a la contribución de una patente para la producción de nuevo conocimiento y al conocimiento contenido en ella. Ambas contribuciones son un proceso de acumulación de conocimiento que refleja las trayectorias tecnológicas de los países (Barberá et al., 2011).

Las citas de patentes son hechas tanto por los examinadores como por los inventores con el fin de reivindicar la novedad de la invención en cuestión. En los análisis de patentes existen estudios que argumentan que es un error usar citas agrupadas y que para evitar los sesgos que esto genera, es mejor separan las citas hechas por el examinador de las hechas por el inventor, evitando así inflar el conocimiento del inventor. El argumento se basa en el hecho de que sin esta separación se incurre en una medida falsa de flujos de conocimiento, ya que dos tercios de las citas (63%) se insertan por los examinadores, 40% de todas las patentes tienen todas las citas agregadas por los examinadores y sólo el 8% de las patentes no tienen

citas añadidas por examinadores (Alcácer & Gittelman, 2006). Contrario a lo que señalan estos estudios, en esta investigación se utilizan las citas agrupadas, ya que se asume que esto representa el conocimiento acumulado en un país o su capacidad de absorción e innovación. Alcácer y Gittelman (2006) suponen que una cita de la patente B a la patente A hecha por los inventores, indica que los inventores en B conocen y utilizan el conocimiento contenido en A para el desarrollo de B. Empero, en esta investigación se considera que si las citas fueron hechas por los agentes de la oficina de patentes o los examinadores gubernamentales encargados de aprobar las aplicaciones esto no implica que el inventor desconocía ese conocimiento. Más bien podría ser que no tenía la referencia precisa, lo cual no evita que se hayan dado los flujos de conocimiento por otros canales o mecanismos. La cita hecha por el examinador indica que el país tiene la capacidad de comprender ese conocimiento.

Dado que el conocimiento de los inventores sobre los antecedentes tecnológicos es imperfecto y tienen mayores referencias de las tecnologías más cercanas geográfica, temporal, social, organizacional y tecnológicamente, cabría esperar que éstos no añadan referencia de las tecnologías más distantes, pese a haber abrevado de ese conocimiento. Por lo tanto, las citas agrupadas proporcionar una buena indicador de los flujos de conocimiento. Si bien es cierto que las citas del examinador introducen sesgo para algunas variables, lo cual depende del tipo de estudio, el sesgo no es necesariamente un problema, porque las citas de examinadores e inventor tienen distribuciones muy estrechas. En otras palabras, en espacios geográficos cercano, los patrones de citación de los inventores y los examinadores son similares. Además, cabe señalar que los examinadores y los inventores intercambiar información durante el proceso de solicitud (Alcácer & Gittelman, 2006).

El análisis a nivel país parte del hecho de que si el país X ha sido citado por el país Y indica que el país X es el origen de los flujos internacionales de conocimiento del país Y, mostrando las capacidades tecnológicas y las fuentes de conocimientos internacionales. Los flujos de conocimiento intra-nacionales, definidos como las citas de patentes registradas por los solicitantes del mismo país, indican la capacidad de absorción del país y la capacidad de innovación interna. La producción de patentes a su vez se divide en (1) sector privado; (2)

sector público; (3) universidad; e (4) individual. Esta información es útil para identificar el grado de vinculación científica y las patentes basadas en la ciencia, a través del conteo de referencias de patentes que citan documentos de la literatura científica de vanguardia. También sirve para identificar cuál sector tiene más capacidad de innovación (Wua & Mathews, 2012).

3.6. Universo de estudio

Las búsquedas por palabras clave en las bases de datos de patentes arrojan resultados limitados, debido a que la mayoría de los documentos de patentes son altamente especializados y no contienen las palabras clave que se espera encontrar en un determinado sector tecnológico y las patentes que las contienen son poco representativas o importantes. Con el fin de delimitar el universo de estudio a las patentes más relevantes y hacer una extracción más precisa, se hizo uso de un estudio previo que filtró en tres etapas las palabras clave relacionadas con la energía solar fotovoltaica para identificar los 13 IPC de cuatro dígitos más significativos y se consultó con especialista del sector sobre su relevancia (Wua y Mathews, 2012). Estos se utilizaron para la extracción de datos de código binario en la base de datos de PATSTAT de la EPO. Los IPCs¹⁵ que conformaron la búsqueda fueron:

Tabla 1. Principales IPCs del sector solar fotovoltaico.

Generación tecnológica	IPC	Descripción
1G	E04D13	Dispositivos de colección de energía en techos.
	H01L21	Procesos o aparatos para la fabricación o tratamiento de dispositivos semiconductores.
	H01L31	Dispositivos semiconductores sensibles a la radiación infrarroja, a la luz y a la radiación electromagnética de longitud de onda corta o radiación corpuscular, adaptados para la

¹⁵ La Clasificación Internacional de Patentes (CIP), establecida por el Arreglo de Estrasburgo de 1971, constituye un sistema jerárquico de símbolos que no dependen de idioma alguno para la clasificación de las patentes y los modelos de utilidad con arreglo a los distintos sectores de la tecnología a los que pertenecen. <http://www.wipo.int/classifications/ipc/es/>

		conversión de dicha radiación en energía eléctrica.
	H02N6	Generadores en los que la radiación luminosa se convierte directamente en energía eléctrica.
	C30B15	Crecimiento monocristalino tirando de una masa fundida, p. Método Czochralski.
	C30B28	Producción de material policristalino homogéneo con estructura definida.
	C30B29	Cristales individuales o material policristalino homogéneo de estructura definida caracterizada por el material o por su forma.
2G	C23C14	Revestimiento por evaporación al vacío, por pulverización catódica o por implantación iónica del material formador de revestimiento.
	C23C16	Revestimientos químicos por descomposición de compuestos gaseosos, sin dejar productos de reacción de material superficial en el revestimiento, es decir, procesos de deposición química en fase vapor (CVD).
3G	H01G9/028	Electrolitos semiconductores orgánicos.
	H01L51	Dispositivos de estado sólido que utilizan materiales orgánicos como parte activa o que utilizan una combinación de materiales orgánicos con otros materiales como parte activa.

Fuente: (Wua & Mathews, 2012)

Los datos de patentes de la USPTO se extrajeron con base en la categoría general "cpc/y02e10/50", que es la etiqueta de patentes para la generación de energía a través de fuentes renovables, específicamente, de energía solar fotovoltaica, la cual se basó en de los principales CPC del sector mostrados en la siguiente tabla. La categoría general incluye éstos CPC y a la vez sirvió para la selección de palabras clave por tema en la base de datos Derwent y WoS.

Tabla 2. Principales CPC del sector solar fotovoltaico.

CPC	Descripción
Y02E10/541	CuInSe ₂ Material de las celdas fotovoltaicas
Y02E10/542	Celdas solares sensibilizadas por colorante
Y02E10/543	Celdas solares de los materiales del Grupo II-VI
Y02E10/544	Celdas solares de los materiales del Grupo III-V
Y02E10/545	Celdas solares fotovoltaicas de silicio microcristalino
Y02E10/546	Celdas solares fotovoltaicas de silicio policristalino

Y02E10/547	Celdas solares fotovoltaicas de silicio monocristalino
Y02E10/548	Celdas solares fotovoltaicas de silicio amorfo
Y02E10/549	Celdas solares fotovoltaicas orgánicas

Fuente: Leydesdorff et al., 2015.

Capítulo 4. Análisis de resultados

"El control de la producción de la riqueza es el control de la vida humana misma"

Hilaire Belloc (1912)¹⁶

En este capítulo se analiza el efecto del ADPIC en los flujos de conocimiento, la producción de patentes y las colaboraciones cognitivas a nivel internacional. También se estudia la capacidad de innovación de los países en el sector FV y la evolución de los campos del conocimiento tecnológico. El primer apartado aborda la ubicación estructural de PI en la política de CTI, su relación con las variables de estudio y otros elementos del sector tecnológico en cuestión, para lo cual se hace uso de un mapa conceptual. En el apartado dos se encuentra el análisis de resultados obtenidos a partir de la aplicación métodos bibliométricos combinados con el ARS y la estadística descriptiva, observando indicadores de cantidad (número de publicaciones y patentes), citas recibidas por patente, grado de entrada y grado de salida de conocimiento, número de co-inventores, producción de patentes por sector social y variedad de campos de investigación; todos ellos por país y por año.

A través de topologías de redes o grafos, que representan estructuras internacionales, se analiza el comportamiento de los flujos de conocimiento y de las colaboraciones cognitivas. Los vértices fungen como países y las aristas denotan una relación que puede ser una cita o una colaboración entre países, si las patentes incluyen inventores de diferente nacionalidad. El tamaño del vértice está relacionado con su importancia, que se determina por el número de citas que recibe. Así mismo, el tamaño de la arista indica la magnitud de la relación. Los grafos se complementan con tablas y gráficas para analizar el incremento en las variables y la posición estructural de los países. El análisis se divide en dos periodos: antes de 1996 y después de 1996, considerando dos años de desfase a partir de la firma del ADPIC. Finalmente, el apartado tres analiza las capacidades tecnológicas de los países en el sector con base en su producción de patentes por IPC y número de artículos científicos.

¹⁶ Hilaire Belloc (1912). *The Servile State*. p. 46.

4.1. Ubicación estructural de la propiedad intelectual en la política de ciencia, tecnología e innovación

Los estudios sobre PI muestran que es un tema multidisciplinario y altamente fragmentado por la gran variedad de aspectos que abarca (Garg & Srivastava, 2016). Además, es un tema polémico entre los investigadores, lo cual podría deberse a la evidencia empírica escasa, ambigua y mezclada (Jackson, 2003; Rockett, 2010). Esto dificulta seleccionar los conceptos más relevantes en el área o los aspectos que deberían ser analizados en el ADPIC para determinar si ha sido y es un marco favorable para la gobernanza global del conocimiento. Un análisis cualitativo en las bases de datos de Web of Science, Springer, Journal of Intellectual Property Rights muestra que los principales aspectos analizados se pueden agrupar en cinco temas generales:

- a) patentes como indicadores de impacto en la I+D, el crecimiento económico y la innovación, así como sus aspectos técnicos y legales;
- b) legislaciones, enmiendas y tratados internacionales (ADPIC);
- c) gestión de la propiedad intelectual, su uso estratégico y comercial;
- d) argumentos en contra y a favor de la propiedad intelectual; y
- e) derechos de autor y dominio público.

Pese a haber una gran variedad de artículos científicos que podrían ser clasificados en diferentes disciplinas e intereses académicos, demostrando una aparente alta fragmentación en el campo de la PI, un estudio bibliométrico sobre colegios invisibles muestra que la mayoría de los autores más influyentes (80%) se encuentran laborando en departamentos de economía y derecho (20%). Esto permite concluir que la PI agrupa investigaciones en torno a la economía, principalmente, y al derecho (Palacios-Núñez, Vélez-Cuartas & Botero, 2016). Los colegios invisibles son grupos de académicos que interactúan de manera formal e informal, porque comparten intereses u objetivos científicos en común en un determinado tema de especialidad. Estos se identifican a través de estructuras formales de comunicación entre académicos de muchas instituciones, separadas geográficamente, pero que se encuentran vinculados mediante redes de co-citaciones en publicaciones, para determinar

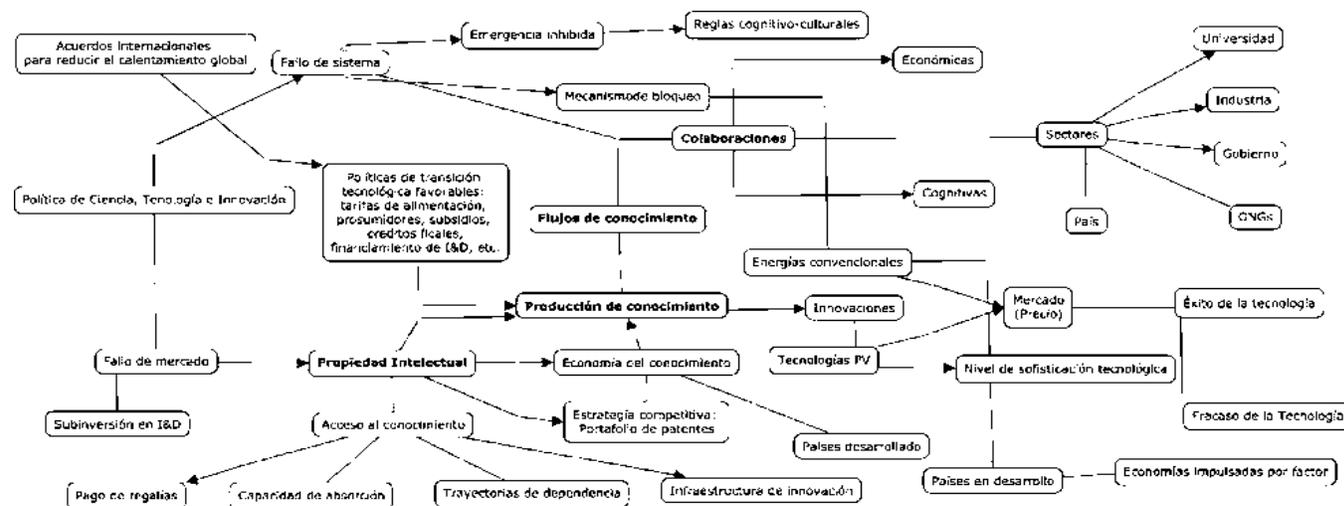
si conforman grupos sociales significativos (Crane, 1989; Teixeira, 2011). La detección de colegios invisibles en torno a estas disciplinas respalda la selección de las variables de esta investigación a través de los conceptos más utilizados en sus estudios. Al revisar la frecuencia de palabras en los artículos sobre PI se puede observar que los conceptos que más figuran en el tema son las patentes como indicador de la producción y la difusión del conocimiento, así como las colaboraciones para la innovación.

Si bien la aplicación de estos instrumento respalda la selección de variables del presente estudio, es necesario ubicar su relación con la PI y, a la vez, determinar la relación de la PI con la política de CTI. Esto con el propósito de realizar una análisis más amplio del efecto del ADPIC en las variables y de las implicaciones que tiene perseguir el incremento de las mismas en los objetivos de la política de CTI con la implementación de criterios homogéneos. Para tal fin, se parte de la premisa de que el alcance y los límites del conocimiento se relaciona con los alcances y límites del lenguaje, porque éste comunica el conocimiento y la estructura del pensamiento. El lenguaje no sólo describe la realidad, también persuade, manifiesta emociones, valora y es un sistema de representación (Majone, 1997; Navarro, 2011).

Dado que las políticas públicas están hecha de palabras se puede analizar el lenguaje de las instituciones que resultan de la formulación de las mismas. El análisis debe centrarse en el lenguaje porque a través de él se hacen juicios de valor y se ensanchan las fronteras de la factibilidad política a medida que se persuade a la opinión pública de que acepte nuevas ideas que rompan con la inercia intelectual e institucional. Además, las restricciones normativas que limitan la libertad de elección se superan cuando se consigue mayor flexibilidad institucional. Superar las restricciones artificiales impuestas por una institución es de crucial importancia para la innovación política, porque una institución incluye leyes, reglamentos, normas, organizaciones, procedimientos para la toma de decisiones, define los roles y constriñen las estrategias de los actores (Majone, 1997). Giddens (1998) señala que los dos aspectos más importantes de la estructura son reglas y recursos envueltos recursivamente en instituciones. Empero, son las reglas o formas institucionales las que asignan recursos y legitimas ciertos modos de actuar.

La ubicación estructural de la PI dentro de las políticas de CTI, así como su relación con las variables de estudio emergen del estado de la cuestión y pueden visualizarse a través de un mapa conceptual o red de conceptos, cuyo fin es la organización y la representación gráfica del conocimiento (mapa 1). La red de conceptos y sus relaciones implica suposiciones teóricas respecto al comportamiento del fenómeno y categorías semánticas que son consideradas fundamentales para su comprensión. El enfoque socio-técnico requiere la triangulación, complementación e integración de conceptos generados en diferentes matrices disciplinares, desde las cuales hay una construcción discursiva y legitimación de las medidas políticas como resultado de la retórica. El lenguaje de la estructura institucional reflejan los acuerdos colectivos para nombrar la realidad, comprenderla, percibirla y tratar los problemas sociales a través de regulaciones (Majone, 1997).

Mapa 1. Ubicación estructural de la propiedad intelectual en la política de ciencia, tecnología e innovación.



Fuente: Elaboración propia en Cmaptools (2017).

La política de CTI aborda los problemas relacionados con la gestión del conocimiento básicamente desde dos racionalidad: fallos de mercado y fallos de sistema. La PI es una de las principales instituciones derivada de la lógica de fallos de mercado, la cual basa sus análisis en la economía neoclásica. Dado que el mercado falla en generar mecanismos para la producción y apropiación del conocimiento, debido a las externalidades (derramas) que ocasiona la naturaleza pública de éste, se producen una sub-oferta como resultado de la

sub-inversión en I+D. En este escenario, la intervención de gobierno se orienta a subvencionar la I+D, incentivar la innovación a través de los DPI, suministrar infraestructura tecnológica, otorgar créditos fiscales e impulsar la producción para el consumo (prosumidores) a través de tarifas de alimentación, entre otras medidas (Bozeman, 2000; Laranja et al., 2008; Gustafsson & Autio, 2011; Martin, 2012; Magro & Wilson, 2013).

El enfoque neoclásico fue enriquecido con la crítica que hacen los teóricos del crecimiento endógeno respecto a la falta de consideración del territorio y las disparidades económicas entre y dentro las naciones. Basados en los estudios Schumpeter (1911) y Arrow (1962), argumentan que la innovación es el resultado de procesos de aprendizaje, proximidad espacial, derramas de conocimiento y la inversión en I+D. Sin embargo, aunque haya difusión del conocimiento, los procesos de aprendizaje requieren de la capacidad absorción por parte de los receptores, por lo cual las disparidades regionales aumentan con el tiempo, debido a la concentración espacial de las capacidades en I+D, a los efectos de rendimientos crecientes y a la poca capacidad de absorción de nuevo conocimiento de las regiones retrasadas (Martin, 1999; Laranja, Uyerra, & Flanagan, 2008).

Antes de la década de 1990, se partía del supuesto de que la desconfianza en la colaboración internacional se veía acrecentada por el hecho de que existían diferencias en las legislaciones sobre los DPI y la posibilidad de derramas de conocimiento en el proceso de su difusión internacional. Esto generó que los países desarrollados demandaran una protección más fuertes y criterios homogéneos. El ADPIC tuvo como fin cumplir con estas demandas a nivel mundial creando un marco legal común para incentivar la innovación e incrementar la colaboración internacional, lo cual favorecería la producción y flujo/transferencia de conocimiento. Sin embargo, los estudios muestran que las colaboraciones entre países dependen de las ventajas estratégicas económicas o cognitivas que ofrezca cada socios y éstas pueden ser un resultado natural de la globalización del comercio y la inversión, así como de las economías basadas en el conocimiento (Montobbio, 2013; Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015).

Otra de las aristas de la política de CTI, que surgen de la economía evolucionista y del neo-institucionalismo económico, como una alternativa que pretende superar las limitaciones de la tradición neoclásica, es la racionalidad de fallas de sistema. La multi-causalidad que maneja este enfoque ha generado una gran variedad de sub-categorías para identificar las fallas de sistema, que generalmente se refieren a deficiencias en la infraestructura de innovación y en la configuración institucional, las cuales provocan un mal desempeño del sistema de innovación, una inversión sub-óptima en I+D y una aparente dicotomía entre exploración y explotación del conocimiento. La primera distinción que hacen estos estudios es entre sectores tecnológicos emergentes y sectores tecnológicos maduros, ya que sólo en los segundos se puede hablar de trayectorias tecnológicas. Así mismo, es menester determinar si se trata de un sistema con un ambiente institucional estable o emergente (Gustafsson & Autio, 2011; Martin, 2012).

Un fallo de sistema refleja deficiencias en el conjunto de actividades de innovación y en las conexiones del sistema para lograr un cambio tecnológico de valor estratégico para la economía. La conectividad del sistema es crucial para los procesos de aprendizaje y para la generación y difusión de nuevo conocimiento. Cuando un sistema de innovación, en un campo tecnológico maduro, es incapaz de evolucionar aprovechando nuevas oportunidades para generar un cambio tecnológico, se considera que hay una falla de bloqueo. La inercia genera que el sistema se quede atrapado en trayectorias tecnológicas predominantes y no logre adaptarse a innovaciones requeridas. Esto implica que los actores, aun conociendo las nuevas oportunidades, están atrapados en el paradigma tecnológico dominante, debido a compromisos institucionales, relaciones de poder y control de los recursos críticos. Este tipo de fallas requieren mejorar el desempeño sistémico promoviendo nuevas configuraciones institucionales que estimulen el aprendizaje, la conducta adaptativa, las interacciones y asociaciones entre los actores universidad-industria-gobierno-ONGs (Laranja et al., 2008).

La perspectiva de sistemas de innovación considera que la producción y explotación exitosas del conocimiento son el resultado de la trayectoria tecnológica, la infraestructura de innovación, las políticas públicas, las instituciones y las interacciones de los actores

existentes en las regiones. El sistema falla en producir las innovaciones deseables debido a estrategias divergentes entre funciones y agentes especializados heterogéneos, así como por una vinculación deficiente entre éstos para sincronizar actividades y procesos socio-cognitivos. El régimen institucional funge como un mecanismo de retención produciendo fallas en las conexiones para generar expectativas y sentido colectivo sobre la nueva producción del conocimiento. Esto genera pérdida de flexibilidad, asincronías, retrasos debido a las traducciones divergentes de los actores respecto a la nueva tecnología e inhibición de la emergencia de un nuevo orden institucional, ya que se encuentran embebidos y comprometidos en roles institucionales dominantes (Berger y Luckmann, 1967; Leydesdorff, 2000; Geels & Raven, 2007; Geels & Schot, 2007; Gustafsson & Autio, 2011; Leydesdorff & Ivanova, 2016).

Aunque parece haber una separación radical entre el enfoque neoclásico de fallos de mercado y los evolucionistas/sistémicos en la práctica han coexistido dentro de una misma región a través de la combinación de diferentes instrumentos de políticas de innovación. Las racionalidades o lógicas subyacentes se basan más en la búsqueda de resultados que en teorías. Estas últimas son más orientativas y heurísticas en el diseño de políticas que una dicotomía entre fundamentos teóricos neoclásicos y evolucionistas/sistémicos. Aunque cada teoría implican una racionalidad diferente, sus fundamentos no excluyen ni invalidan las concepciones anteriores, más bien las incluyen para aumentar la variedad de combinaciones y, por ende, su complejidad. El problema de esto es que aun no se logra visualizar las implicaciones y los alcances en el diseño, implementación y evaluación de las políticas, pues los resultados de la interacción de las políticas no parecen obedecer a los objetivos individuales enmarcados en ellas, ya que éstos siempre serán mayores que la suma de sus efectos individuales. De ahí que el pensamiento sistémico siga siendo todo un reto en la política de CTI y permanezcan los esquemas lineales neoclásico (Laranja et al., 2008; Martin, 2012; Magro & Wilson, 2013).

4.2. El efecto de la propiedad intelectual en los flujos internacionales de conocimiento del sector solar fotovoltaico

El surgimiento, desarrollo e implementación de la energía solar fotovoltaica, al igual que otras tecnologías, puede ser visto como un fenómeno complejo, que es el resultado de un proceso emergente, auto-organizado y relativo a un espacio-tiempo determinado, provocado por una diversidad de fuerzas políticas, técnicas, sociales, económicas, legales e institucionales, las cuales co-evolucionan con la tecnología. Dado que la tecnología no es auto-explicativa, sino que más bien es construida socialmente, es necesario observar las relaciones socio-técnicas del sistema de innovación haciendo visibles las tensiones jurídico-políticas en torno a las regulaciones del conocimiento. La importancia de observar esta dimensión se deriva de que está en juego el acceso y la apropiación del conocimiento en la FV, lo cual afecta la posición estructural de los países en la matriz energética mundial (Vercelli, 2009).

Las posiciones y cambios estructurales que adoptan los países, como resultado de un cambio legislativo, que tiene entre sus objetivos estimular los flujos de conocimiento, así como las relaciones socio-técnicas que las producen, no pueden ser analizados desde modelos lineales ni predictivos; por lo cual es necesario un enfoque estructural que permita hacer visible y comprender el orden emergente de las relaciones entre las partes heterogéneas que conforman el sistema de innovación. En este marco, este apartado presenta el análisis de los resultados que se obtuvieron a partir de aplicar el ARS combinado con métodos bibliométricos y estadísticos, para observar el efecto que tuvo un cambio legislativo en la propiedad intelectual (ADPIC) en los flujos y producción del conocimiento, así como en las colaboraciones cognitivas a nivel internacional.

La intervención del Estado en materia de política de CTI se ha basado en los modelos enraizados en la racionalidad de fallos de mercado, por lo cual se ha fortalecido la PI con miras a conseguir los objetivos planteados en un modelo de política que dicta que esto estimulará la innovación. El conjunto de normas y reglas (instituciones) que implica el fortalecimiento de la PI se ha aplicado de manera homogénea a nivel mundial sin

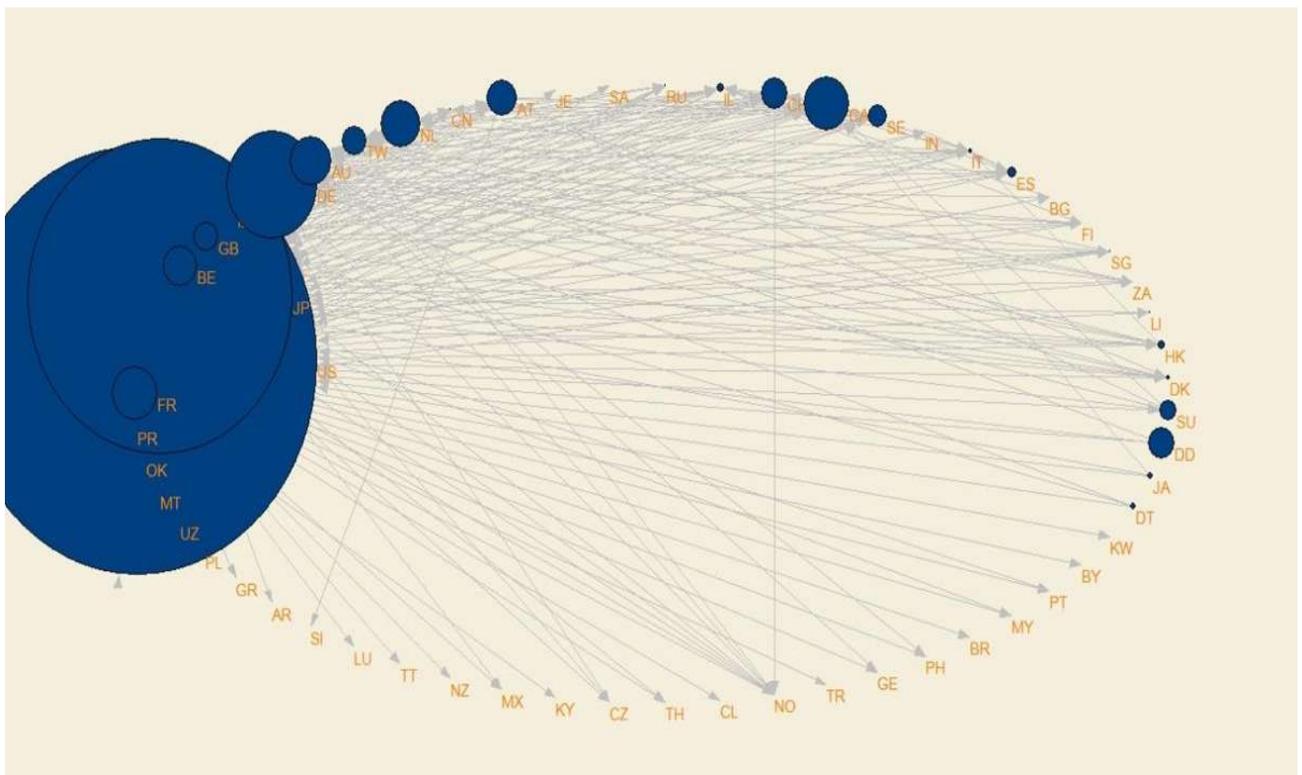
considerar las divergencias y convergencias tecnológicas. A esto podría deberse que no se han conseguido los resultados esperados, pues todo proceso social "dirigido", pese a tener una orientación normativa, es dinámico y no obedece a procesos racionales, sino que más bien a negociaciones de grupos con diferentes intereses, mediadas por marcos institucionales. El conjunto de reglas y normas que conforman las instituciones contienen conocimiento organizado desde una variedad semántica que permite analizar la comprensión de los actores del campo político, económico, administrativo, legal y técnico (Niinikoski & Moisander, 2014).

En este sentido, el ADPIC ha legitimado la implementación de un marco legal homogéneo sin considerar las diferencias en el desarrollo de los países. El discurso detrás de esta legitimación se encuentra en literatura que relaciona la PI con el incremento en la producción de conocimiento, las exportaciones e importaciones de alta tecnología, el crecimiento económico, la inversión extranjera directa (IED), las colaboraciones, los pagos de licencias y la difusión del conocimiento a través de la publicación de las patentes, entre otros. Se esperaba que los países en desarrollo se beneficiaran de la deslocalización de la I+D, de una mayor IED, de las importaciones de alta tecnología y de la transferencia de tecnología, por el grado de formalización de los acuerdos y la reducción del riesgo de establecerse en los países en desarrollo, permitiéndoles el acceso al conocimiento y la aceleración del proceso de aprendizaje (Lai, 1998; Kanwar & Evenson, 2003; Lall, 2003; Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015).

En esta investigación se analiza el comportamiento de tres variables en relación a este cambio legislativo: las colaboraciones cognitivas, la producción de conocimiento y los flujos de conocimiento. Para observar el efecto del ADPIC, se agrupan los datos en dos periodos de tiempo, antes de la firma (1976-1996) y después de la firma (1996-2016). Aunque la firma se realizó en 1994, se establece la división en el año 1996 considerando dos años de desfase o ajuste en el comportamiento de los actores. Una manera de observar el comportamiento de los flujos de conocimiento en el tiempo es a través de las citas de patentes hacia adelante, que son las citas realizadas a una patente por patentes posteriores en el tiempo, lo cual permite ver además el impacto de una patente así como las fuentes de

conocimiento de los actores (Lei et al., 2013; Wang et al., 2014; Leydesdorff & Rafols, 2011; Wua & Mathews, 2012; Leydesdorff et al., 2015; Werner et al., 2013). La visualización del panorama general del sector solar fotovoltaico para todo el periodo tiempo (1996-2016) a través de grafos permite identificar la dirección de los flujos de conocimiento, los países centrales, las relaciones entre países y la posición estructural de estos a través de toda la historia del sector.

Grafo 1. Total de citas entre países en el sector solar fotovoltaico (1976-2016).



Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Los vértices representan a los países y su tamaño está relacionado con su importancia en la generación de conocimiento, es decir, con el número de citas que reciben las patentes que producen. Las aristas señalan la dirección de las citas, por lo cual, si el país B cita al país A, la flecha apunta hacia B, señalando que B recibió conocimiento de A. Las aristas suman el total de citas realizadas entre países y las convierten en una sola relación para reducir la complejidad en la inspección visual, por lo cual, una flecha no es equivalente a una cita,

sino que es indicativa de que hay flujos o citas entre los países relacionados. El grafo 1 muestra la estructura histórica del sector con el totales de citas o relaciones entre países para todo el periodo de estudio, así como el tamaño del vértice que representa la importancia de los países respecto a los flujos de conocimiento.

Tabla 3. Ranking del total de citas entre países (1976-2016).

Rango	Vértices	Valor	Países
1	2.2	200.700	US.US
2	4.2	84.270	JP.US
3	4.4	54.790	JP.JP
4	2.4	25.340	US.JP
5	8.2	14.850	DE.US
6	2.8	6.070	US.DE
7	2.17	4.470	US.IL
8	1.2	3.840	FR.US
9	4.3	3.620	JP.KR
10	19.2	3.550	CA.US

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

La inspección visual de este grafo se complementa con el ranking del total de citas entre países y al interior de los países (tabla 3), el cual muestra el volumen de citas en la categoría "Valor" y las relaciones entre países por flujos de conocimiento se muestran por el orden de aparición en la categoría "Países", los cuales están separados por un punto, donde el segundo cita al primero. En la tabla se puede observar que la mayor cantidad de citas se da a nivel intra-nacional en Estados Unidos (US) con un total de 200,700 citas, seguido de Japón (JP), cuyas citas entre patentes japonesas son de un total de 54,709. En cuanto a los flujos entre países, las patentes de Estados Unidos han citado a las patentes de Japón 84,270 veces. En cambio Japón cita a Estado Unidos un total de 25,340, lo cual muestra que el conocimiento que Estados Unidos recibe de Japón es tres veces mayor que el conocimiento que Japón recibe de Estado Unidos.

Se puede observar una relación similar con Alemania (DE) y Francia (FR). En el caso de Alemania, Estados Unidos recibe más del doble del conocimiento que da y para el caso de Francia recibe 1.5 veces más conocimiento del que da. La relación entre Estados Unidos y

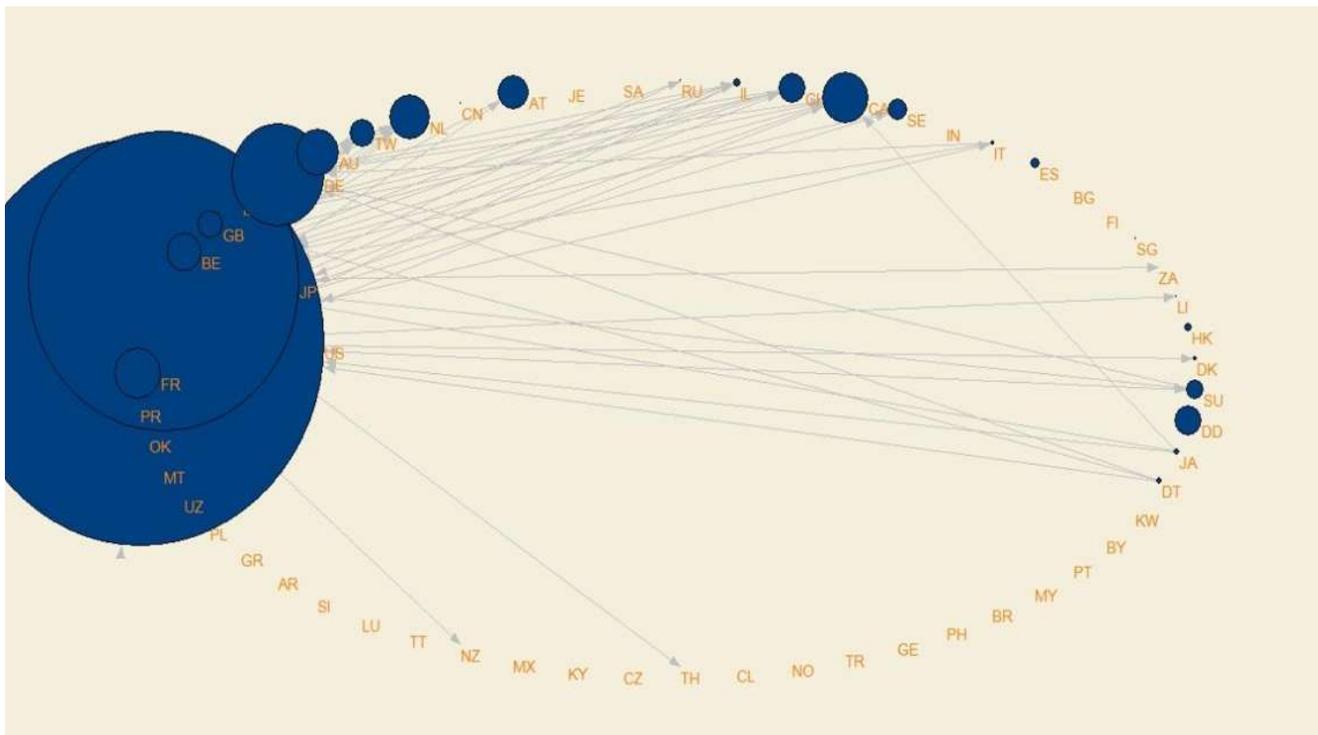
Canadá (CA) es más equitativa, ya que reciben y dan prácticamente la misma cantidad de conocimiento. Estados Unidos recibe un volumen de conocimiento de 3,200 citas hechas a Canadá y Canadá recibe 3,550 de Estados Unidos. Los países en desarrollo no figuran entre las primeras 100 posiciones del sector (ver anexo 1 para mayor detalle). En el caso de México sólo aparece como receptor de conocimiento de Estados Unidos (US) y Bélgica (BE) con un total de 10 citas a cada país, pero no recibe citas de ningún país y se encuentra en los últimos lugares (247 y 290, respectivamente de 332 lugares de la USPTO).

A nivel mundial se pueden observar las fuentes de conocimiento de los países en el sector, así como los países más importantes por el grado de conocimiento que dan y reciben. El tamaño del vértice muestra que Estados Unidos es un actor central y funge como la principal fuente de conocimiento de todos los países, seguido de Japón (JP), Alemania (DE), Francia (FR), Canadá (CA), Australia (AU), Países Bajos (NL), Corea (KR), Taiwán (TW), Suiza (CH), Austria (AT) y la Unión Soviética (SU), en ese orden. Aunque Japón se tienen a sí mismo como principal fuente de conocimiento también obtiene éste de Estados Unidos (US), Alemania (DE), Francia (FR) y Gran Bretaña (GB). Por su parte, Alemania tienen como principal fuente de conocimiento a US, JP, DE, NL, GB y FR, en ese respectivo orden. Israel (IL) es seguidor de las innovaciones de Estados Unidos, mientras que Corea (KR) sigue a Japón. En el caso de Canadá sus principales fuentes de conocimiento son US, JP, DE y CA mismo.

Las citas intra-nacionales o domesticadas son un indicador de la capacidad de absorción, combinación y producción de nuevo conocimiento de los países. Los países con alta propensión a citar sus propias fuentes o que exhibe un alto grado de flujos de conocimiento intra-nacionales tienen capacidades tecnológicas relacionadas con la industria de semiconductores o la de monitores de pantalla plana (Watanabe et al., 2003; Wua & Mathews, 2012; Lei et al., 2013). En este aspecto, Estados Unidos, Japón y Alemania presentan un alto número de citas intra nacionales, en ese orden de importancia. Por su parte, aunque Taiwán (580), Francia (420), Gran Bretaña (310), Corea (270), Canadá (190) y los Países Bajos (140) presentan flujos domésticos, la cantidad de citas es muy baja comparada con las citas intra nacionales de Estados Unidos (200,700), lo cual podría

reflejan su baja capacidad de absorción e innovación, por su débil trayectoria tecnológica. El resto de los países presentan un nivel casi nulo de citas internas, por lo cual son considerados seguidores o importadores de conocimiento (ver anexo 1).

Grafo 2. Citas entre países en el sector solar fotovoltaico antes del ADPIC (1976-1996).



Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

La variable principal de esta investigación es el comportamiento de los flujos de conocimiento antes y después del ADPIC, debido a que éstos son relevantes en innovación, ciencia y tecnología porque incrementan la producción de nuevo conocimiento, posibilitando que las naciones impulsen el crecimiento económico basado en las innovaciones. Los flujos de conocimiento son el resultado de compartir, difundir y transferir conocimiento. Este proceso puede ser causado por la interacción de los diferentes actores en tres dimensiones: tiempo espacio y nivel (Jin-hua, 2007; Rosvall, 2006). El panorama general del sector a nivel internacional durante todo el periodo de estudio muestra una estructura que no ha variado mucho a través del tiempo, lo cual podría deberse a las trayectorias tecnológicas de los países, como se verá en el siguiente apartado.

El efecto del ADPIC en los flujos internacionales de conocimiento puede ser visualizado comparando el comportamiento de éstos antes y después de su firma, por medio de dos radiografías tomadas en dos momentos que muestren la topología de las redes. El grafo 2 muestra las citas entre países antes del ADPIC, así como la importancia de los mismos. Al complementar la inspección visual del grafo con el ranking del total de citas entre e intra países de la tabla 4 se puede ver un predominio de las mismas naciones que figuran en toda la trayectoria tecnológica mundial del sector.

Tabla 4. Ranking del total de citas entre países antes del ADPIC (1976-1996).

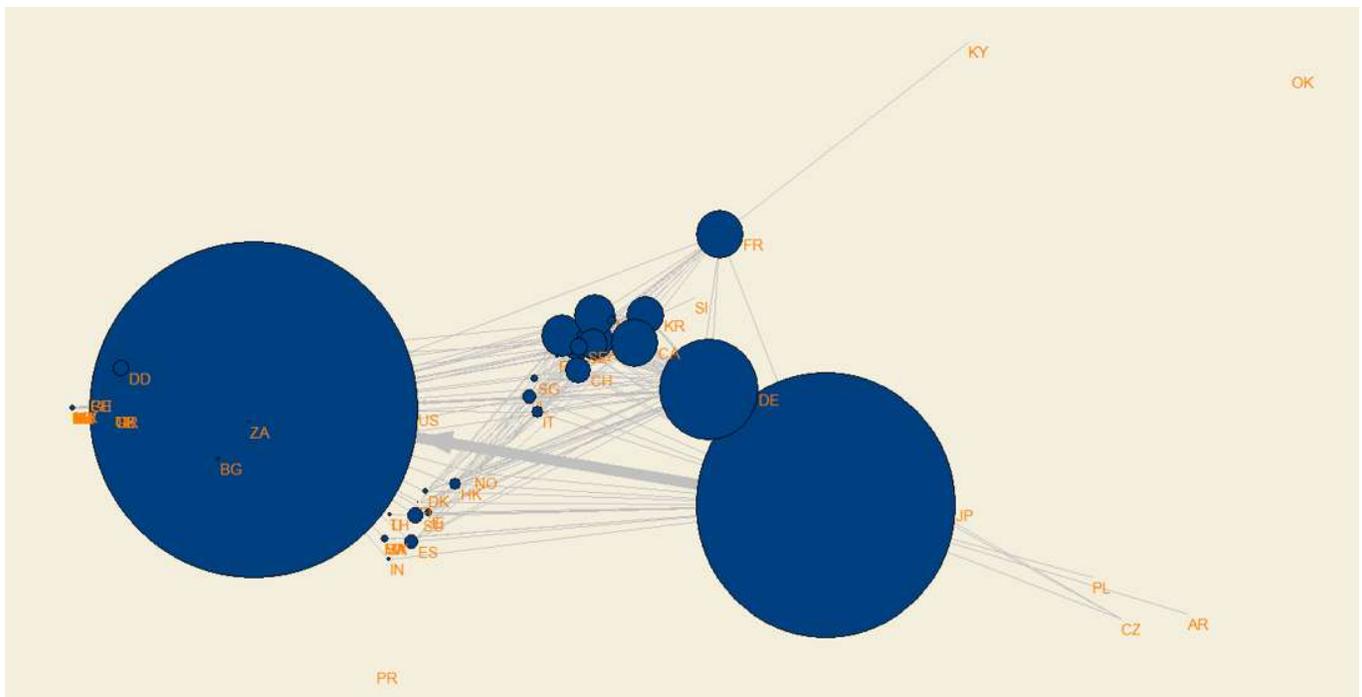
Rango	Vértices	Valor	Países
1	2.2	19.350	US.US
2	4.4	10.080	JP.JP
3	2.4	8.800	US.JP
4	4.2	4.240	JP.US
5	2.8	1.400	US.DE
6	8.2	1.170	DE.US
7	1.2	1.000	FR.US
8	6.2	600	GB.US
9	8.4	570	DE.JP
10	2.1	550	US.FR

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

El grafo 2 muestra que los países más citados eran Estados Unidos, Japón, Alemania, Francia y Gran Bretaña. Los flujos se dieron entre países desarrollados o países seguidores con un modelo de innovación basado en la imitación, como Taiwán y Corea, pero con trayectoria en la industria de semiconductores. La participación de Taiwán (TW) aun es mínima y aparece como seguidor de Estados Unidos con 90 citas, de Japón con 40 citas y de Francia con 20 citas. Corea (KR) aparece en los últimos lugares con 30 citas hacia a Estado Unidos. Por su parte, los países en desarrollo como México (MX), Argentina(AR), Brasil (BR), Chile(CL), Portugal (PT), Republica Checa(CZ) y Turquía (TR) aparecen aislados y sin ningún tipo de interacción. El ranking del total de citas entre países antes del ADPIC (1976-1996) muestra que, aunque son los países desarrollados los que tienen flujos de conocimiento, predominan las citas intra nacionales, sobre todo en el caso de Estados Unidos con 19,380 y Japón con 10,080.

El mayor volumen de citas internacionales se da entre ambos y entre Estados Unidos y Alemania (ver anexo 2). El ARS con el uso del Pajek permite obtener indicadores más precisos de los flujos de conocimiento, respecto al volumen de entra y salida de éste de los países, haciendo medible su importancia en el sector tecnológico. En este sentido, el grado de centralidad es el número de actores a los cuales está directamente unido un actor, se divide en grado de entrada y de salida dependiendo de la dirección del flujo de conocimiento, e indica que tan cerca está la estructura de comportarse como una red estrella. Este tipo de red indica que existe un actor que juega un papel central en controlar el recurso en el que se basa toda la red y también indica que la red no está bien conectada, por lo cual el recurso no se difunde de manera adecuada (De Nooy et al. 2005).

Grafo 3. Grado de entrada y salida de conocimiento de los países en FV antes del ADPIC (1976-1996).



Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

El grado de salida es la suma de relaciones que tienen los países por el conocimiento que dan a otros países o por las citas que recibe. El grado de entrada es la suma de relaciones que tienen los países por el conocimiento que reciben de otros países o por las citas que

hacen (De Nooy et al. 2005). El país que presenta la mayor cantidad de lazos es el que está más conectados. Las líneas múltiples se tratan como una sola línea, por lo cual se hace uso de los indicadores de grado de salida y grado de entrada, para ver el número de lazos que un vértice tiene. El tamaño del vector es proporcional al tamaño de la flecha en el grafo, es decir, a mayor grado de entrada o salida más grande es la flecha que lo representa. El grafo 3 muestra el grado de entrada y salida de conocimiento de los países antes del ADPIC.

Tabla 5. Ranking del grado de entrada antes del ADPIC (1976-1996).

Rango	Vértice	Valor	País
1	2	2.699	US
2	4	2.047	JP
3	8	246	DE
4	1	107	FR
5	19	94	CA
6	6	81	GB
7	9	26	AU
8	11	21	NL
9	18	17	CH
10	10	16	TW

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

El grafo 3, junto a las tablas 5 y 6, muestra la importancia de Estado Unidos (US), Japón (JP), Alemania (DE), Francia (FR), Gran Bretaña (GB), Países Bajos (NL), Canadá (CA), Italia (IT) y Suiza (CH) de acuerdo al tamaño del vértice. El grado pesado de entrada, que es la cantidad de conocimiento que se recibe, muestra que Rusia (RU), Corea (KR), Israel (IL) y Dinamarca (DK) figuran sólo como receptores de conocimiento. La comparación del grado entrada y salida antes del ADPIC muestra que Estados Unidos da más conocimiento (3,190) del que recibe (2,699). En el caso de Japón es al contrario recibe más conocimiento (2,040) del que da (1,580). El caso de Alemania es muy notorio, ya que da muy poco conocimiento (219) y recibe once veces más el volumen de conocimiento que da (2,460). Canadá presenta una situación muy similar recibiendo nueve veces más (94 citas) el conocimiento que da (9) durante el periodo. Francia y Gran Bretaña presentan una situación más equilibrada al dar 171 y 120 respectivamente (grado de salida) y recibir 107 y 81 cada uno (ver anexo 3).

Tabla 6. Ranking del grado de salida antes del ADPIC (1976-1996).

Rango	Vértice	Valor	País
1	2	3.190	US
2	4	1.580	JP
3	8	219	DE
4	1	171	FR
5	6	120	GB
6	11	26	NL
7	10	20	TW
8	18	20	CH
9	5	12	BE
10	22	11	IT

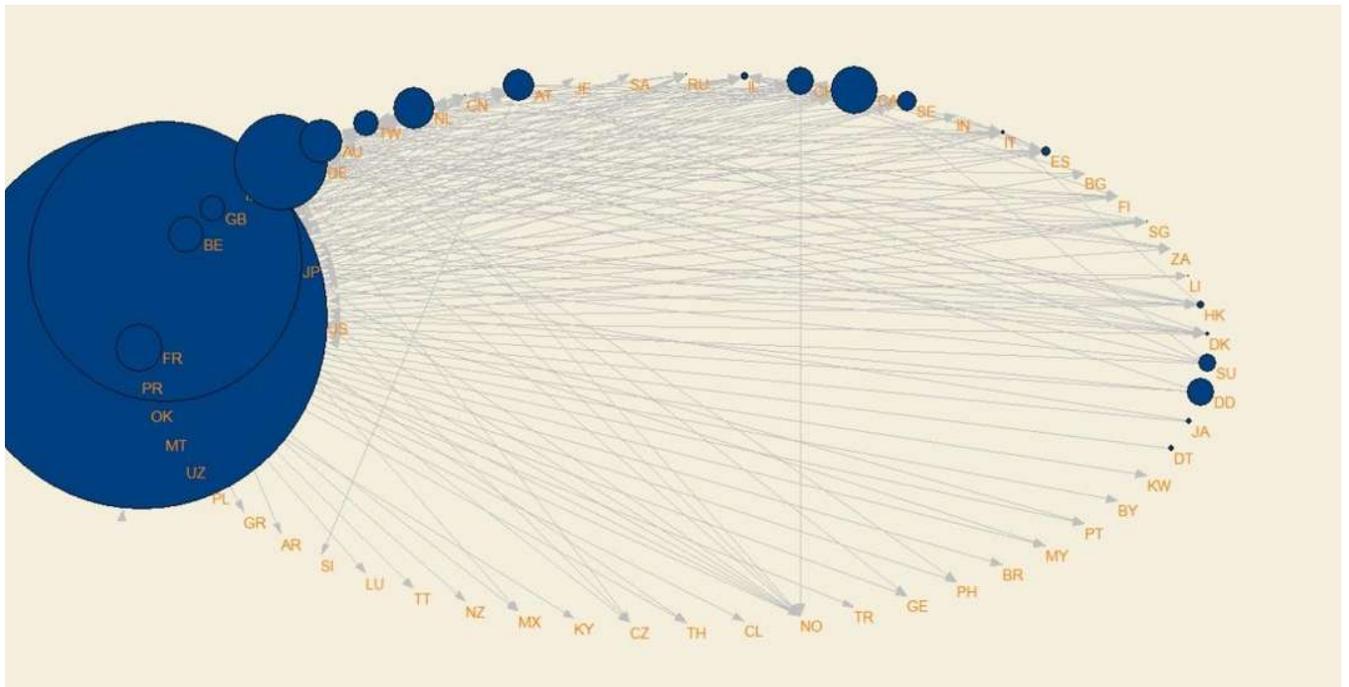
Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

En 1994 no sólo ocurrió un cambio legislativo en materia de PI con la firma del ADPIC, sino que se dio un cambio institucional, es decir, una evolución de todo el sistema de reglas y normas que determinaran las oportunidades, limitaciones y opciones de los actores en relación al conocimiento. Esto se debe a que la configuración de la estructura institucional regula las redes de interacciones en los sistemas de innovación sirviendo como un constrictor socialmente construido o como impulsoras del cambio y acelerador de los procesos de aprendizaje (Laranja et al., 2008). En la EBC, un cambio en una institución que regula la producción, apropiación y difusión del conocimiento (IP) afectó el acceso de manera diferida en los países desarrollados y en desarrollo facilitando o inhibiendo los procesos de exploración y explotación. Un cambio en una institución de esta naturaleza no es menor, pues ésta interactúa y afecta los elementos básicos de los regímenes industriales: regulaciones, leyes, estándares, normas, misión, mentalidades, sistema de creencias, conocimiento tecnológico y capacidades (Geels, 2004; Geels, 2010).

El siguiente grafo (4) muestra las citas entre países después del ADPIC y se puede observar que los países más citados siguen siendo Estados Unidos, Japón y Alemania, pero hubo un incremento de los flujos de conocimiento de hasta nueve veces. Además aparecen nuevos actores como Israel (IL), Corea (KR), Taiwán (TW), Canadá (CA), Australia (AU), Francia (FR), Reino Unido (GB), Austria (AT), Países Bajos (NL) y Suiza (CH). Estados Unidos cita a casi 40 países de 62 con registro de patentes en FV en la base de datos de la USPTO

y los 62 países lo citan, lo cual muestra su centralidad como fuente del conocimiento en el sector (ver anexo 4). La USPTO contiene las patentes más competitivas a nivel mundial, lo cual indica que efectivamente el ADPIC tuvo un efecto favorable para los países desarrollados que poseen conocimiento de punta en el sector FV. Sin embargo, las naciones en desarrollo no parecen figurar en su mayoría.

Grafo 4. Citas entre países en el sector solar fotovoltaico después del ADPIC (1996-2016).



Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Las instituciones emergen en el sistema como resultado de los procesos de comunicación y su evolución permite entender el comportamiento social emergente. Para comprender porque los países en desarrollo firmaron y siguen bajo un sistema de reglas y normas que no les favorece es necesario recordar que las normas tienen influencia en la conducta de los individuos porque detrás de su cumplimiento está la intención de pertenecer a un grupo. Esto presenta como ventaja que se generan mecanismos de organización y la sincronización del comportamiento. Sin embargo, también puede causar problemas de bloqueo (block-in), que se dan cuando los individuos no son conscientes de estar atrapados en acciones que producen un resultado sub-óptimo. Aunque es difícil superar un mecanismo de bloqueo en

un sistema social, esto es posible generando mayores flujos de conocimiento, ya que el mecanismo de bloque emerge como resultado de un proceso de comunicación, por lo cual, mayores flujos pueden dar inicio a otros procesos emergentes (Hoogduin, 2014; Campbell, 1990).

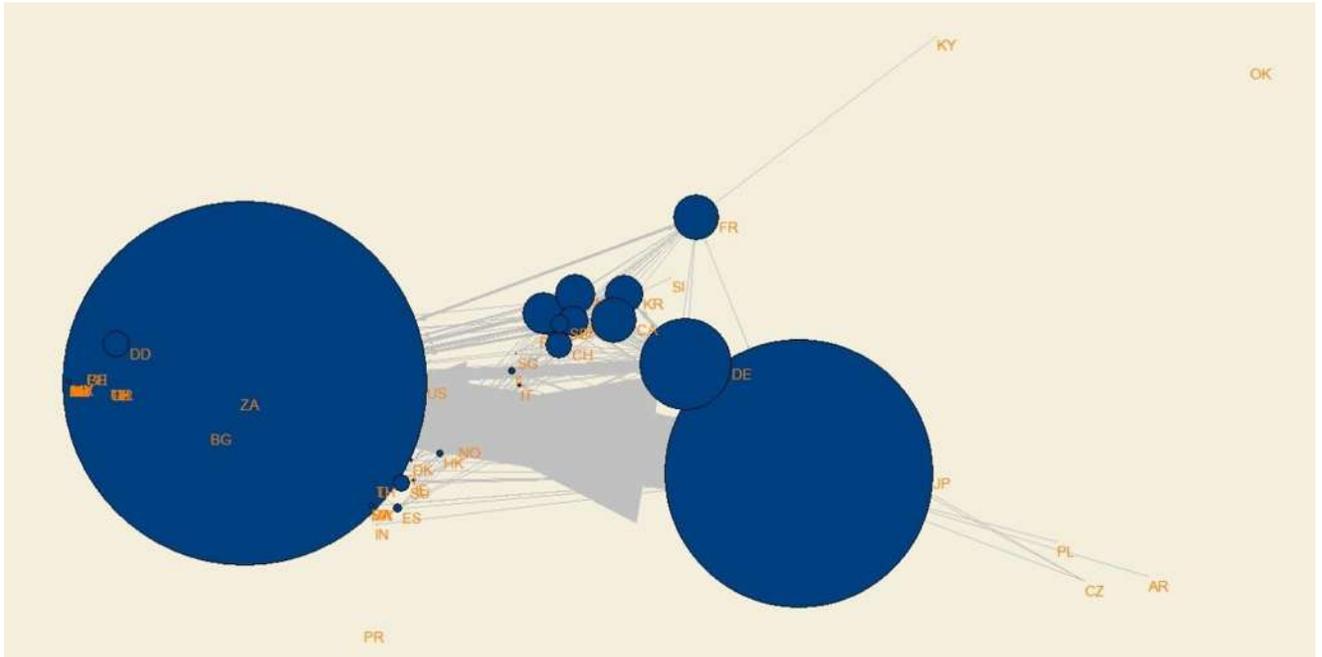
Tabla 7. Ranking del total de citas entre países después del ADPIC (1996-2016).

Rango	Vértices	Valor	Países
1	2.2	181.350	US.US
2	4.2	80.030	JP.US
3	4.4	44.710	JP.JP
4	2.4	16.540	US.JP
5	8.2	13.680	DE.US
6	2.8	4.670	US.DE
7	2.17	4.420	US.IL
8	4.3	3.540	JP.KR
9	19.2	3.490	CA.US
10	2.10	3.430	US.TW

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

El ranking del total de citas entre países después del ADPIC (tabla 7) muestra que los flujos intra nacionales aumentaron notablemente en Estados Unidos y Japón, pasando de 19,350 a 181, 350 y de 10,080 a 44,710 respectivamente. Así mismo, las citas entre estos países aumentaron considerablemente. Las citas de Japón a Estados Unidos pasaron de 8,800 a 165,540 y de Estados Unidos a Japón de 4,240 a 80,030. Las citas de Estados Unidos a Alemania pasaron de 1,170 a 13,680. También incrementaron los flujos entre Taiwán, Corea, Estados Unidos, Canadá, Japón e Israel. Así mismo, se comienzan a presentar nuevos flujos hacia países en desarrollo como México, Brasil, Argentina, Chile y Portugal, quienes citan a alguno de los países desarrollados, pero no son fuente de conocimiento de ningún país, lo cual podría indicar que no se han creado capacidades de innovación en el sector aun (ver anexo 4).

Grafo 5. Grado de entrada y salida de conocimiento de los países en FV después del ADPIC (1996-2016).



Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

En cuanto a las medidas de centralidad después del ADPIC, el grafo (5) muestra el grado pesado de entrada y de salida de flujos de conocimiento, haciendo muy visible que mejoró aun más la posición de Estados Unidos respecto a la cantidad de conocimiento que recibe (29, 806), la cual supera el volumen de lo que da (22,791). Antes de la firma del ADPIC daba más conocimiento (3,190) del que recibía (2,699). En cambio, Japón y Alemania después de 1994 dan más del doble del conocimiento que reciben. En el caso de Japón recibe 6,733 y da 14, 214. Alemania por su parte recibe 1,072 y da 2,065 (ver detalles en los anexos 5 y 6). En el caso de México y Argentina aparecen como consumidores de conocimiento con 20 y 10 citas respectivamente. En cambio, España figura como país citado, no como país que cita.

La estructura de las redes conformada por los agentes y sus perfiles de conocimiento influye en la dinámica de los flujos de conocimiento, el cual se difunde eficientemente cuando el conocimiento de los agentes y su distribución es uniforme a través de la red (Shin & Kook, 2014). Sin embargo, este no es el caso de la estructura de las redes que se

observan después de la firma del ADPIC. El grafo 5, junto a las tablas 8 y 9, muestran que los flujos de entrada y de salida han aumentado favoreciendo a los países con altos perfiles de conocimiento, quienes incluso absorben conocimiento de los países que no figuran en el sector al beneficiarse del sistema de revelación de la información. Esto se debe a que la transferencia de conocimiento es un proceso costoso y difícil, ya que éste está socialmente embebido, es altamente específico del contexto y requiere que los receptores tengan conocimiento previo para ser capaces de entenderlo y utilizarlo. El costo y la dificultad de la transferencia se reduce cuando todos los actores, tanto emisores como receptores, comparten conocimiento fundamental común, el cual es un componente clave de la capacidad de absorción de los receptores (Shin & Kook, 2014).

Tabla 8. Ranking del grado de entrada después del ADPIC (1996-2016).

Rango	Vértice	Valor	País
1	2	29.806	US
2	4	6.733	JP
3	8	1.072	DE
4	3	795	KR
5	10	754	TW
6	17	728	IL
7	19	449	CA
8	1	378	FR
9	6	232	GB
10	12	203	CN

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Los datos de las patentes registradas en la USPTO indican que las citas aumentaron considerablemente intra-países después del ADPIC. También hubo incrementos de las citas entre países y se posicionaron nuevos actores como Corea, Taiwán, Israel y Canadá sin que esto implique que se convirtieron en actores centrales, sino en seguidores. El caso de Japón, que después del ADPIC recibe menos conocimiento del que da, podría deberse a que con el fortalecimiento de los DPI su sistema de examinación se volvió más riguroso y son pocas las patentes que se conceden. El sustancial incremento en la cantidad de conocimiento que recibe Estados Unidos después del ADPIC tanto de Japón, Alemania, Francia y del resto de los países del mundo se debe a que éste se benefició de la divulgación del sistema de

patentes, pero sobre todo a que los DPI son un instrumento estratégico de competencia que favorece a los países que tienen el control de un recurso porque poseen gran cantidad de este. Esto demuestra que el régimen actual de los DPI debería ser reconfigurado o repensado, no para favorecer la competitividad per se sino para hacer eficientes los procesos mundiales de difusión del conocimiento en aras de conseguir el desarrollo del sector FV.

Tabla 9. Ranking del grado de salida después del ADPIC (1996-2016).

Rango	Vértice	Valor	País
1	2	22.791	US
2	4	14.214	JP
3	8	2.065	DE
4	1	469	FR
5	19	465	CA
6	9	355	AU
7	11	354	NL
8	3	310	KR
9	10	283	TW
10	6	254	GB

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Los regímenes tecnológicos pueden ser caracterizados por los diferentes grados de acceso, acumulación, apropiación y oportunidad, entre otras características del conocimiento, que son la base de las actividades innovadoras. Los incrementos en los flujos de conocimiento deben observarse teniendo en cuenta que el conocimiento es el resultado de procesos de aprendizaje, absorción, acumulación, combinación y generación de nuevo conocimiento, lo cual moldea las trayectorias de dependencia (Nelson y Winter, 1982; Malerba y Orsenigo, 2000). Por lo cual, el aumento en las citas no significa que los DPI estén causalmente relacionados de manera positiva con los flujos o difusión del conocimiento, sólo indica que el ADPIC es un marco legal favorable para la innovación en los entornos más industrializados y competitivos. El problema que se deriva de este resultado es que el sector tecnológico en cuestión es de crucial importancia para todo el planeta, por lo cual se debe reconsiderar si se sigue anteponiendo la competitividad.

La selección natural tiende a producir estrategias más eficientes de adaptación y sobrevivencia, sin que esto implique un resultado favorable para las especies en evolución, ya que las estrategias aparentemente exitosas pueden conducir a resultados sub-óptimos. La selección natural favorece las estrategias que son las más eficientes dentro de una especie de competidores, pero esto no necesariamente induce la evolución de las propiedades óptimas para la especie como un todo. La evolución de la competitividad muestra que la capacidad competitiva, definida como la capacidad de adquirir recursos en competencia con los demás, es un determinante importante del éxito de los organismos. Sin embargo, una mayor inversión en la competitividad puede aumentar la probabilidad de adquirir un recurso de alta calidad, pero al mismo tiempo reducir la capacidad de explotar el recurso adquirido con la máxima eficiencia (Weissing, 2014).

Estados Unidos, Japón, Alemania, Israel y Canadá son los países con la mayor capacidad instalada y más capacidades tecnológicas en el sector, por lo cual son la fuente de conocimiento de países seguidores como Taiwán, Corea y China. Son las capacidades de estos países y su trayectoria tecnológica en la industria de semiconductores, basada principalmente en el silicio, así como en la industria de memoria dinámica de acceso aleatorio lo que les permite beneficiarse de la divulgación de las patentes (Lei et al., 2013). Las citas a patentes externas en comparación con las citas a patentes internas muestra dinámicas industriales, como el aumento de la dependencia tecnológica de los países a Estados Unidos, Japón y Alemania, así como la concentración del conocimiento.

Otra variable que se esperaba que se incrementara con el ADPIC es la colaboración entre países para la innovación, ya que es la única vía para compartir conocimiento tácito y reducir riesgos. Los estudios muestran que las colaboraciones se dan por la búsqueda de alguna ventaja económica o cognitiva de la contraparte y que la PI tienen un efecto de segundo orden en la elección de los socios (Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015). Así mismo, el hecho de que la innovación sea en la actualidad un proceso de dimensiones globales convierte los intereses económicos de los actores en negociaciones internacionales y a los DPI en el marco normativo que las respalda (Okediji, 2004). Analizar si el ADPIC fue un

Tabla 10. Colaboraciones cognitivas entre y dentro de los países en el sector solar fotovoltaico antes del ADPIC (1976-1996).

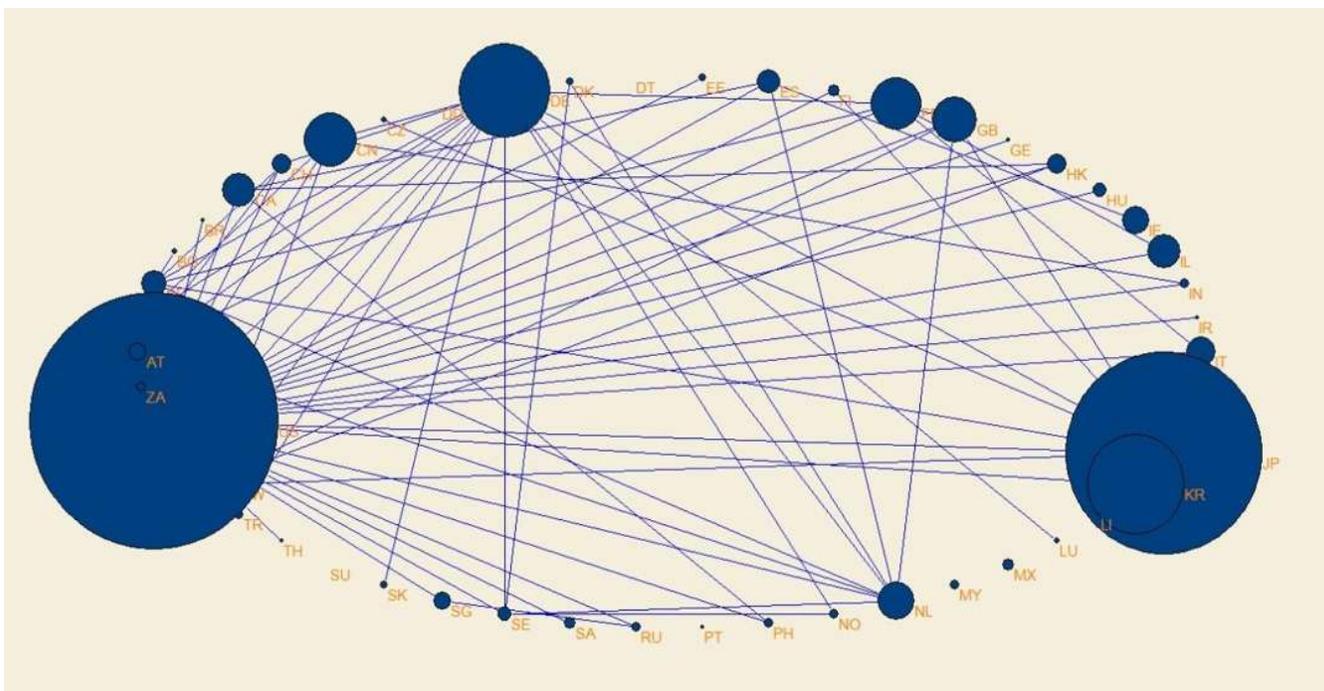
Rango	Vértices	Valor	Países
1	29-29	38.340	JP-JP
2	49-49	20.360	US-US
3	11-11	3.020	DE-DE
4	44-44	1.950	SU-SU
5	17-17	1.500	FR-FR
6	18-18	730	GB-GB
7	35-35	290	NL-NL
8	6-6	140	CA-CA
9	7-7	140	CH-CH
10	27-27	110	JA-JA

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Aunque las tres generaciones de celdas solares compiten en el mercado mundial, su base tecnológica o de conocimiento puede ser usada en diferentes combinaciones para generar las innovaciones que superen los retos del sector. Esta combinación de conocimiento tiene como menester la colaboración, tanto cognitiva como económica. La colaboración cognitiva no es enteramente ajena a la colaboración económica, pues ambas se implican causando flujos de conocimiento tácito y codificado entre los individuos y las organizaciones. Ésta puede ser local, nacionales o internacional, pero dependen de las ventajas estratégicas económicas o cognitivas que ofrezca cada socios. El grado de colaboración es medido por el número de co-inventores y su nacionalidad, los cuales son datos que aparecen en las patente (Lei et al., 2013).

El grafo 7 y la tabla 11 muestran que si bien aumentaron las colaboraciones después de la firma del ADPIC prevalecen las colaboraciones domesticas. El incremento se dio de manera significativa al interior de Estados Unidos pasando de 20,360 colaboraciones a 128,480. En Japón se incrementaron de 38,340 a 83, 450 y en Alemania de 3,020 a 15,860. Además se posicionaron en el ranking nuevos actores como Corea con 20,690 colaboraciones (superando a Alemania), Taiwán con 13,250 y China con 5, 280.

Grafo 7. Colaboración cognitiva entre países en el sector solar fotovoltaico después del ADPIC (1996-2016).



Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Otro fenómeno que se presenta es el incremento de las colaboraciones de Estados Unidos con otros países como Alemania (1,450), Gran Bretaña (990), China (450), Canadá (440), Francia (420) y Japón (390), quienes ofrece alguna ventaja económica o cognitiva. Taiwán comienza a colaborar con Alemania, Japón y China a raíz de que desarrolló capacidades cognitivas a través del modelo imitativo. Para el caso específico de México se presentan 270 colaboraciones domesticas, lo cual comparado con el actor mejor posicionado (Estado Unidos con 20,360) no parece muy significativo. Los países que muestran mayor colaboración cognitiva son justamente los que tienen mercados ascendentes en el sector y altos niveles de I+D (Singh et al., 2013). Esto puede observarse en los rankings de cesionarios de patentes en las tablas 12, 13, 14 y 15, que se muestran a continuación por cada una de las tres generaciones de celdas solares fotovoltaicas.

Tabla 11. Colaboración cognitiva entre y dentro de los países en el sector solar fotovoltaico después del ADPIC (1996-2016).

Rango	Vértices	Valor	Países
1	49-49	128.480	US-US
2	29-29	83.450	JP-JP
3	30-30	20.690	KR-KR
4	11-11	15.860	DE-DE
5	47-47	13.250	TW-TW
6	8-8	5.280	CN-CN
7	17-17	4.600	FR-FR
8	18-18	3.110	GB-GB
9	35-35	2.200	NL-NL
10	23-23	2.090	IL-IL

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Antes de la década de 1990, se partía del supuesto de que existía desconfianza entre los países para colaborar, la cual surgía por las posibles derramas de conocimiento que beneficiarían a quienes no contribuyeron en el proceso creador o por la imposibilidad de sancionar a este tipo de actores. Esto se veía acrecentado por el hecho de que existían diferencias en las legislaciones nacionales sobre los DPI, por lo cual los países desarrollados demandaran una protección más fuertes y criterios homogéneos. El ADPIC tuvo como fin cumplir con estas demandas a nivel mundial creando un marco legal común (Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015).

Tabla 12. Ranking de cesionarios de patentes de celdas de silicio monocristalino.

Celdas solares de silicio monocristalino			
	Cesionario	No. Registros	% de 160
1	SIEMENS AG	14	8.750
2	MOTOROLA INC	6	3.750
3	BOSCH GMBH ROBERT	5	3.125
4	ERSOL SOLAR ENERGY AG	3	1.875
5	LICENTIA PATENT-VERW GMBH	3	1.875
6	PALO ALTO RES CENT INC	3	1.875
7	SOLARWORLD INNOVATIONS GMBH	3	1.875
8	SUNPOWER CORP	3	1.875
9	APPLIED MATERIALS INC	2	1.250
10	BP CORP NORTH AMERICA INC	2	1.250

Fuente: Elaboración propia con datos de Derwent (2016).

Este comportamiento positivo o el aumento de las colaboraciones y las citas a partir de la firma del ADPIC no significa que el fortalecimiento de los DPI y el establecimiento de criterios homogéneos estén causalmente relacionados con éstas variables, sólo indica que es un marco legal beneficioso para países con entornos más industrializados. De ahí que su fortalecimiento en algunos países coincida con tasas elevadas de exportaciones de alta tecnología, exportaciones de electrónica, importaciones de tecnología, inversión extranjera directa (IED) y pagos de regalías por el uso de licencias de patentes (Lall, 2003).

Tabla 13. Ranking de cesionarios de patentes de celdas de silicio policristalino.

Celdas solares de silicio policristalino			
Cesionario		No. Registros	% de 489
1	SIEMENS AG	30	6.135
2	KYOCERA CORP	22	4.499
3	WACKER CHEM GMBH	21	4.294
4	SHARP KK	15	3.067
5	MEMC ELECTRONIC MATERIALS INC	14	2.863
6	WACKER CHEM AG	14	2.863
7	COSMO OIL CO LTD	9	1.840
8	MEMC ELECTRONIC MATERIALS	9	1.840
9	MIT SUBISHI SUMITOMO SILICON KK	9	1.840
10	HOKUSAN KK	7	1.431

Fuente: Elaboración propia con datos de Derwente (2016).

Los estudios de innovación muestran que los países desarrollados utilizan la PI de acuerdo a factores clave de la industria en cuestión, como el tamaño del mercado, la estructura de la competencia, la etapa de desarrollo económico del país y su capacidad de innovación, así como la dimensión de los DPI en cuestión. Los DPI más fuertes les proporcionan a las empresas estrategias de competencia a través de su número patentes para bloquear la adopción de nuevas tecnologías y retrasar el lanzamiento al mercado de nuevos productos por parte de los competidores, aumentando así su cuota de mercado (Kyungchul et al., 2015). A este tipo de factores se debe que en los 4 ranking de cesionarios figuren principalmente empresas estadounidenses, japonesas y alemanas, ya que la selección de la territorialidad de la patente, es decir, los países donde se protegerá la invención, se basa en la presencia en mercados clave.

Tabla 14. Ranking de cesionarios de patentes de celdas de película delgada.

Celdas solares de película delgada			
	Cesionario	No. Registros	% de 3,232
1	MERCK PATENT GMBH	278	8.601
2	APPLIED MATERIALS INC	61	1.887
3	KANEKA CORP	51	1.578
4	CANON KK	49	1.516
5	SHARP KK	48	1.485
6	FUJI FILM CO LTD	39	1.207
7	DU PONT DE NEMOURS&CO E I	37	1.145
8	FUJI ELECTRIC CO LTD	36	1.114
9	FUJI FILM CORP	34	1.052
10	PRECURSOR ENERGETICS INC	34	1.052

Fuente: Elaboración propia con datos de Derwente (2016).

Los datos de la USPTO muestran un incremento en las colaboraciones después de la firma del ADPIC. Sin embargo, es necesario mencionar que éstas podrían ser el resultado natural de la globalización del comercio y la inversión, así como de las economías basadas en el conocimiento (Montobbio, 2013), o simplemente del fomento internacional que recibieron las tecnologías de energías renovables. Esta idea no significa un argumento en contra del ADPIC, que sí es un marco legal favorable para los países con trayectoria tecnológica y capacidades de absorción e innovación en FV. Sólo plantea que las diferencias de estos factores entre naciones resultan en relaciones de transmisión de conocimiento de frontera entre los países desarrollados y en el aislamiento de los países en desarrollo, lo cual ha conducido a perpetuar las divergencias tecnológicas y económicas (Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015).

Tabla 15 . Ranking de cesionarios de patentes de celdas orgánicas.

Celdas solares orgánicas			
	Cesionario	No. Registros	% de 3,406
1	MERCK PATENT GMBH	325	9.542
2	DU PONT DE NEMOURS&CO E I	107	3.142
3	DU PONT DE NEMOURS & CO E I	86	2.525
4	BASF SE	76	2.231
5	FUJI FILM CO LTD	58	1.703
6	UNIVERSAL DISPLAY CORP	56	1.644
7	FUJI FILM CORP	55	1.615
8	COVION ORGANIC SEMICONDUCTORS GMBH	49	1.439
9	MIT SUBISHI CHEM CORP	33	0.969
10	SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD	31	0.910

Fuente: Elaboración propia con datos de Derwente (2016).

La trayectoria tecnológica dota de la capacidad de absorción e innovación a los países, lo cual afecta los proyectos conjuntos porque implica la existencia de determinadas condiciones, como la capacidad aprender, comprender, utilizar, combinar y transferir nuevos conocimientos tecnológicos en términos técnicos y materiales, así como de mecanismo de comunicación efectiva y de coordinación eficientes, junto a una gestión adecuada de la PI y un sistema de incentivos. Así mismo, se requieren recursos humanos, financiamiento, herramientas y equipos adecuados para adquirir nuevo conocimiento, sin olvidar la capacidad de entender la diferencia cultural (Sugandhavanija et al., 2011). La economía del conocimiento no se presenta como un fenómeno global porque las características mencionadas existen de manera ampliamente desigual entre países desarrollado y en vías de desarrollo (Forero, 2005).

Tabla 16. Ranking de cesionarios de patentes de celdas sensibilizadas por colorante.

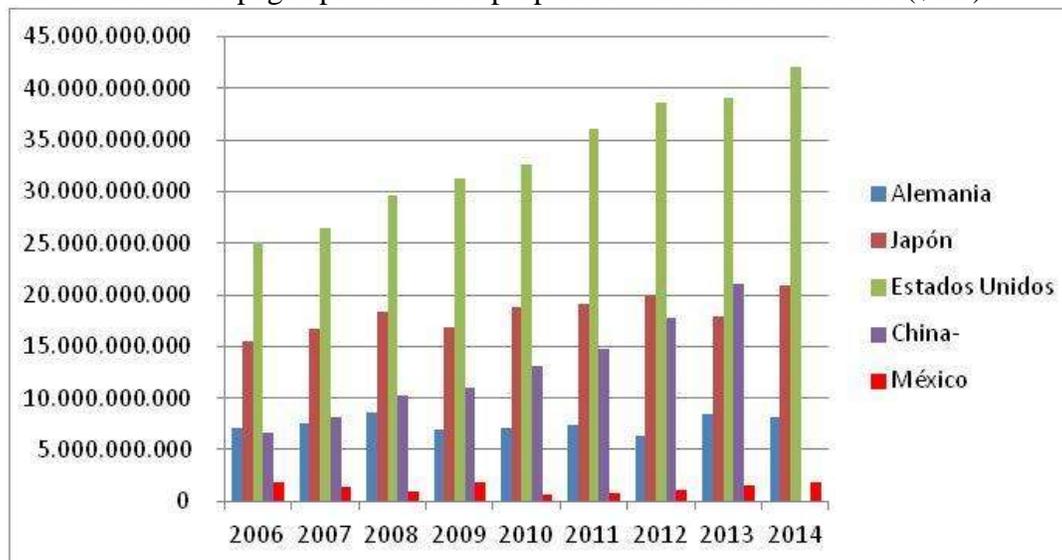
Celdas solares sensibilizadas por colorante			
	Cesionario	No. Registros	% de 981
1	MERCK PATENT GMBH	53	5.403
2	SAMSUNG SDI CO LTD	18	1.835
3	DAINIPPON PRINTING CO LTD	17	1.733
4	SHARP KK	16	1.631
5	DONG JIN SEMICHEM CO LTD	15	1.529
6	FUJI PHOTO FILM CO LTD	15	1.529
7	FUJI FILM CORP	14	1.427
8	BASF SE	13	1.325
9	KONARKA TECHNOLOGIES INC	13	1.325
10	ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE LAUSANNE	12	1.223

Fuente: Elaboración propia con datos de Derwente (2016).

En la economía del conocimiento el desarrollo desigual persiste y se agrava debido a que la división internacional del trabajo ha aumentado la importancia de los países productores de conocimiento, los cuales cuentan con una fuerte infraestructura en I+D. Este reducido grupo de países altamente competitivos se caracteriza por tener altos indicadores en educación, capacitación, investigación, exportación de bienes con alto contenido tecnológico, nuevas tecnologías (TIC), capital humano y PIB basado en el conocimiento, los cuales se asocian a crecimiento y desarrollo económico. Así mismo, cuentan con un mayor grado de conocimiento codificado (patentes, artículos científicos, etc.), reciben altos

ingresos por pago de regalías por derechos de propiedad intelectual y el conocimiento es aplicado y difundido ampliamente, según el índice de conocimiento (KI-KEI) del Banco Mundial (Dautrey, 2012). Tan sólo al revisar los volúmenes de ingresos y egresos por regalías de los países en desarrollo y los desarrollados se puede observar que las brechas son abismales (gráficas 2 y 3).

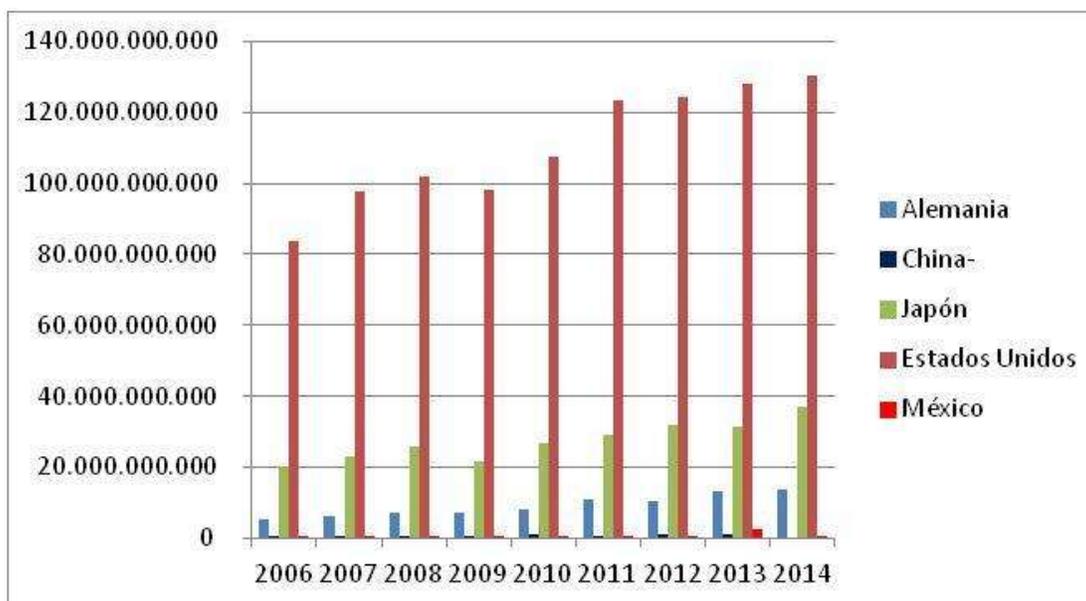
Gráfica 2. Balance de pagos por el uso de propiedad intelectual en dólares (\$US).



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial (2015).

Las gráficas 2 y 3 muestran que los países que se vieron favorecidos con la firma del ADPIC son justamente los que tienen altos flujos de comercio por regalías, con volúmenes en billón de dólares (mil millones o 10 a la novena potencia), es decir, son países con economías del conocimiento. El hecho de que los costos y beneficios del ADPIC dependan de la "Capacidad Nacional de Innovación" de cada país, genera que los países en desarrollo no se vean favorecidos por éste, debido a que los sistemas de innovación periféricos que los caracterizan presentan una estructura industrial concentrada en sectores tecnológicos poco sofisticado, ausencia de aglomeración industrial y la inversión en I+D proviene principalmente del sector público. Además, los recursos humanos altamente especializados (científico y tecnólogos) se encuentran concentrado en el sector público, el cual tienen grandes dificultades para transformar la I+D y la educación más alta en innovaciones y transferencia de conocimiento (Fernández-Esquinas et al., 2015).

Gráfica 3. Balance de ingresos por el uso de propiedad intelectual en dólares (\$US).



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial (2015).

Debido a la relevancia de la propiedad del conocimiento en la EBC, el Banco Mundial utiliza como indicadores los cargos por el uso de la propiedad intelectual, medidos a través de los pagos y recibos entre residentes y no residentes por el uso autorizado de derechos de propiedad de: patentes, marcas, derechos de autor, procesos industriales, diseños de utilidad, secretos industriales y franquicias. Esto incluye los originales o prototipos producidos de derechos de autor sobre libros y manuscritos, programas informáticos, obras cinematográficas y grabaciones sonoras, así como los derechos conexos de espectáculos en vivo, en televisión, en cable o en satélite. Los datos están en dólares estadounidenses a precios corrientes (Banco Mundial, 2017).

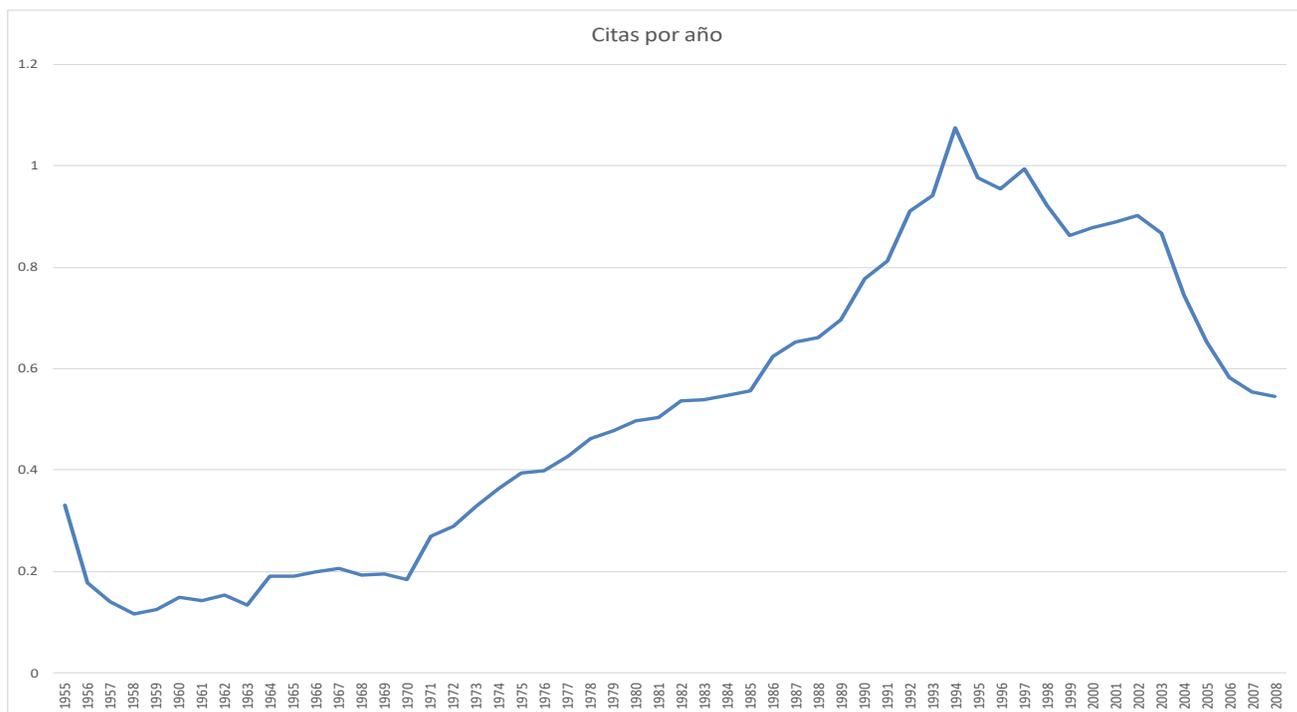
Las balanzas de pagos y cobros son resultado de la firma del ADPIC. Los países promotores de la firma del ADPIC tenían como fin asegurar el retorno de la inversión en I&D de bienes de alta tecnología, así como homogenizar los marcos legales de todos los países firmantes para favorecer la colaboración como resultado de la confianza que brinda una protección uniforme de los bienes intelectuales. Los países en desarrollo firmaron alentados por comerciantes locales de bienes importados, pese a no ser productores de conocimiento, bajo el supuesto de compensaciones comerciales que les traerían los aspectos

"relacionados con el comercio" (Forero-Pineda, 2006). Los 123 países firmaron para extender la protección de las patentes a 20 años, demandar licencias obligatorias, unificar criterios de no-obviedad y utilidad para la concesión de las patentes, así como la posibilidad de patentar las bases de datos, las herramientas de investigación, los descubrimientos y los organismos vivos como resultado de los cambios en los límites conceptuales respecto a lo que es un fenómeno natural a uno artificial, estrechando así los límites de la ciencia abierta. Los países en desarrollo se ven afectados por estas medidas debido a que la PI es un instrumento de competencia estratégica de las grandes empresas transnacionales y está diseñado para detener los procesos de imitación en estos países (Forero-Pineda, 2006; Forero-Pineda, 2005; Choe et al., 2016).

El hecho de que los procesos de imitación sean varados en los países en desarrollo tienen consecuencias importantes, ya que durante muchos años ésta fue su vía hacia la innovación. Innovar es de crucial importancia en la nueva EBC, debido a que es el único medio para sobrevivir en mercados altamente competitivas y globalizadas. Esto demanda avances intensos en ciencia y tecnología, porque de la capacidad de crear nuevo conocimiento depende la integración de los países en la economía del conocimiento. Los requisitos van más allá de la capacidad de usar TIC e incluyen el trabajo en equipo, habilidades en comunicación y aprendizaje. En este último rubro se destacan: aprender a aprender, saber lo que no sabemos, conocer las principales formas de sesgo heurístico que pueden distorsionar el poder del razonamiento, la capacidad de entender y de anticipar el cambio (David & Foray, 2002).

El ADPIC se ve como un marco legal favorable si se analizan los datos de las patentes de la USPTO, que es un indicador por excelencia de los mercados tecnológicos más competitivos del mundo. Sin embargo, al analizar los datos de patentes de PATSTAT, la cual es una base de datos que contiene información de oficinas de patentes de países en desarrollo, se observa que el incremento en los flujos de conocimiento ocurrió sólo en los países en desarrollo, ya que a nivel global y a lo largo de toda la historia del sector hubo un decremento de los flujos de conocimiento a partir de la firma del ADPIC (ver gráfico 4).

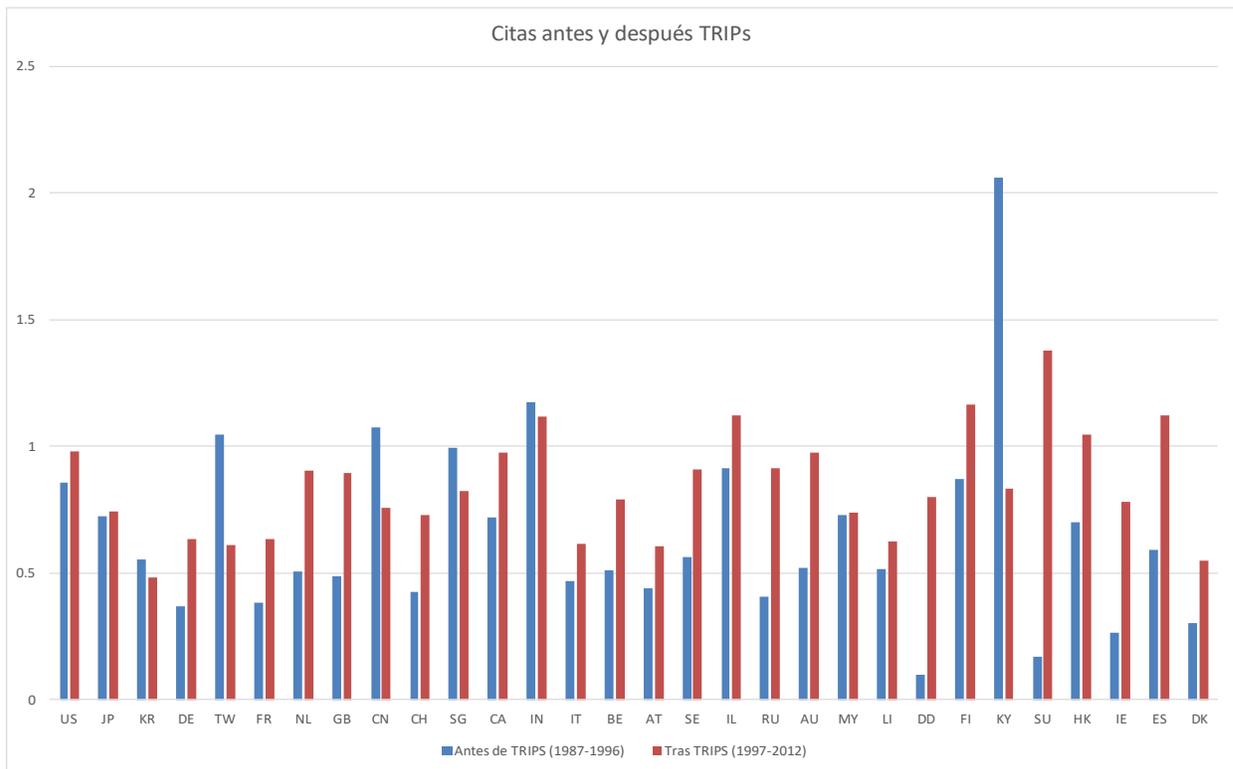
Gráfica 4. Flujos de conocimiento internacionales en toda la historia del sector solar fotovoltaico (1955-2012).



Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

La gráfica 4 muestra que a partir de 1996 a nivel global comienzan a decrecer los flujos de conocimiento, después de haber tenido un incremento sostenido a lo largo de toda la trayectoria del sector FV. Esto implica observar la historia del sector desde el surgimiento de la primera patente con una aplicación comercial en 1954. Los datos de PATSTAT también revelan que el fortalecimiento de la PI sólo favoreció a los países desarrollados, afectando negativamente a los países en desarrollo (gráfica 5). Dado que el efecto de la PI difiere entre sectores tecnológicos, este estudio corrobora que en el caso del sector FV no favoreció al sistema de innovación global, por ello el resultado de la interacción de todos los países arroja una tendencia negativa después de 1996. Para el caso específico de países desarrollados como Estado Unidos, Alemania, Japón y Francia se puede observar que después del ADPIC aumentaron los flujos de conocimiento; mientras que países como Taiwan y Korea que tendían a la imitación sufren una caída tras la firma del acuerdo (gráfico 5 y 6).

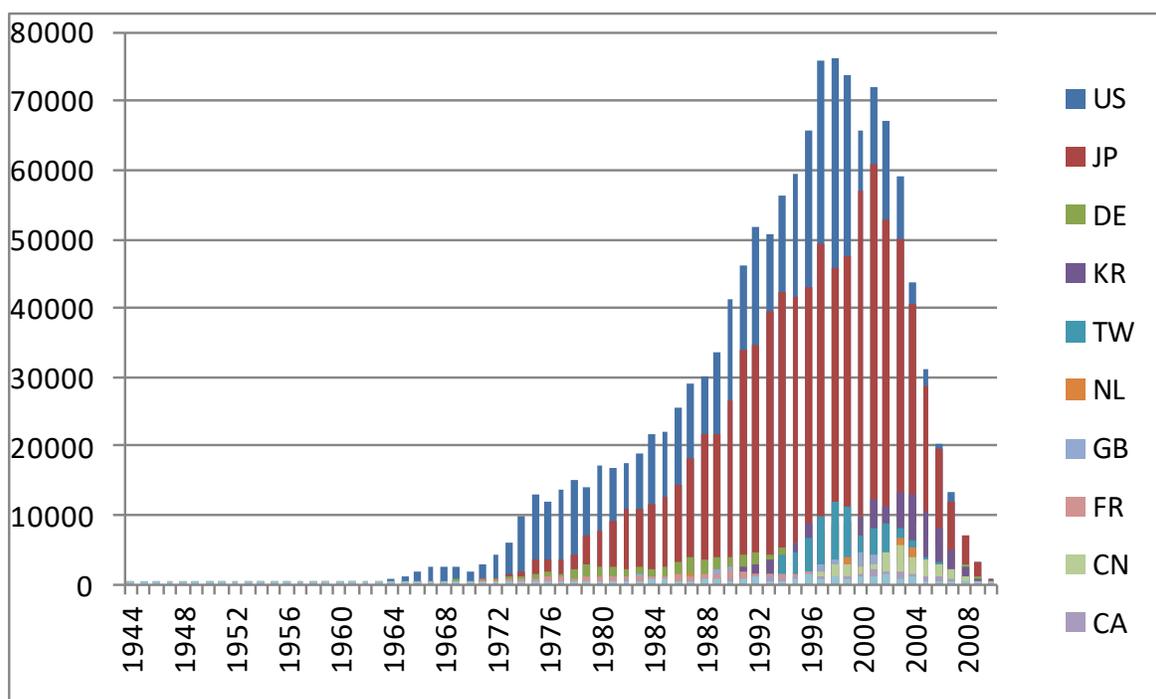
Gráfica 5. Flujos de conocimiento por país, antes y después del ADPIC.



Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

En el Anexo 9 se encuentran las citas históricas por año y por país, así como el ranking de los más citados históricamente (1944-2011). El total de citas históricas registradas es de 3,103, 827, de las cuales Estados Unidos tiene 1,321, 928 (43%), Japón tiene 904,028 (29%), Alemania tiene 175, 369 (6%) y Corea tiene 142,024 (5%), seguido de Taiwán, Países Bajos, Gran Bretaña, Francia, China, Canadá y Suiza. La contribución del resto de los países es exigua. El promedio de citas por año de la gráfica 4 muestra una caída a partir de 1996. Dado que el anexo 9 muestra los totales por año sin promediar el número de citas entre el número de años de vigencia de las patentes, se observa que el total de citas por país comienza a decrecer a partir del 2002. En el 2001 alcanzó un total de citas de 194,971 y en el 2002 cae a 181, 091 hasta llegar a 2,388 en el 2010. Aunque la tendencia al decrecimiento es aparentemente posterior a 1996 en los totales de citas, la caída de los flujos de conocimiento es evidente a nivel mundial.

Gráfica 6. Citas por país y por año (1945-2012).



Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

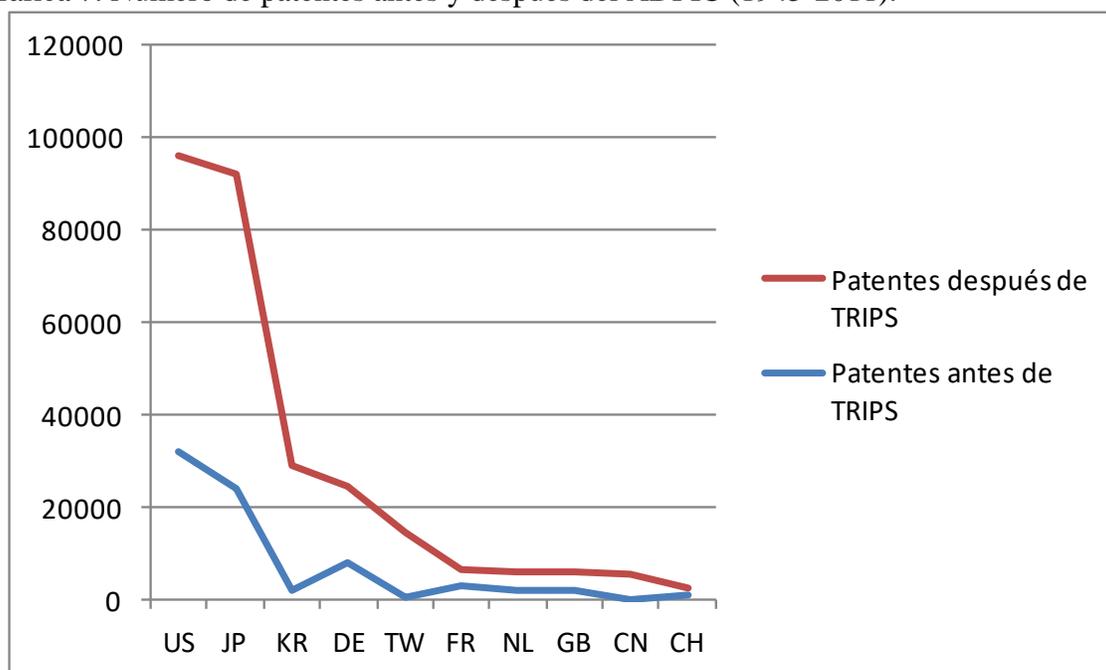
Esto es un fuerte indicio de que los beneficios, la importancia y los costos de los DPI varían según los niveles de desarrollo industrial, tecnológico y económico de los países, por lo cual la PI no basta por sí misma para incentivar la innovación. Es necesario acompañar las mayores tasas de inversión en I+D y del capital humano adecuado, ya que de éste depende la capacidad de absorción y aplicación de nuevo conocimiento para innovar (Romer, 1990; Barro, 1991; Nelson y Phelps, 1966). Aunque los países desarrollados se vieron favorecidos por el ADPIC es necesario tener presente que las dimensiones de los costos traspasan fronteras y tienen efectos de orden global, ya que la innovación no es un fenómeno aislado o local, sino que actualmente se basa en la sinergia de todos los países del mundo (Kanwar & Evenson, 2003).

La homogenización y aplicación mundial de los DPI ha hecho posible que el conocimiento sea apropiado con fines comerciales y se impida su uso por parte de terceros, aun cuando se trate de resolver problemas cruciales para la humanidad, generando que los países en desarrollo sean los principales afectados en áreas importantes. Las naciones a las cuales no

les favoreció esta nueva estructura de gobernanza mundial son las menos desarrolladas, ya que se limita su acceso a la tecnología protegida, ensanchando la brecha social, económica y del conocimiento (Bhat, 1996; Drahos, 2009; Drahos, 2003; Guaran, 2009). Empero, los costos a la larga pueden ser enfrentados por todas las naciones. Por ejemplo, México se encuentra en el lugar 50 de 174 países con sólo 507 citas recibidas a sus patentes, siendo uno de los países con más alta radiación solar y que puede ofrecer ventajas por su posición geográfica (ver anexo 10).

El hecho de que se presentara un aumento en los flujos de conocimiento y en el número de patentes (gráfica 7 y anexo 12) en las naciones desarrolladas no sólo se debe a que las citas están positivamente relacionado con el incremento en la tasa de invención, sino a que fenómenos mundiales como el incremento en la demanda del mercado de las energías renovables, impulsado por los acuerdos internacionales para reducir el calentamiento global o por el aumento de los precios de la energía de combustibles fósiles que se ha dado desde finales de 1990 (Lei et al., 2013), pudieron contribuir a estos incrementos. Lo cual no implica que la PI realmente tuvo un efecto favorable incluso en los países desarrollados.

Gráfica 7. Número de patentes antes y después del ADPIC (1945-2011).



Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

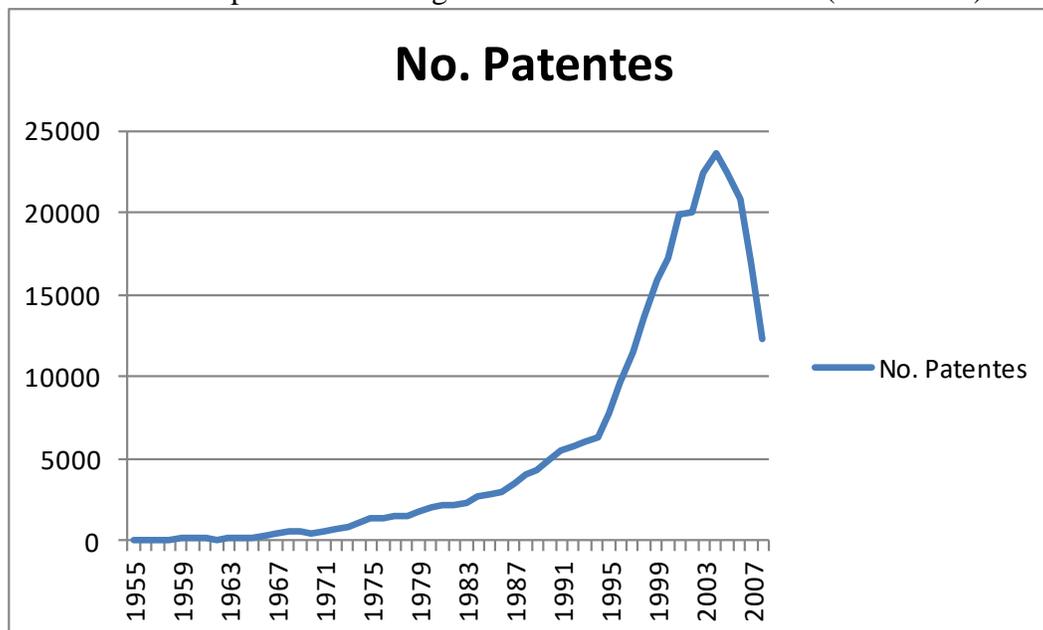
Esta aseveración se deriva de que el desarrollo del sector se presentó en los países que han implementado una combinación de políticas favorables. En Estados Unidos se dio el crédito fiscal por inversión solar (Solar Investment Tax Credit o ITC), las políticas de tarifas subsidiadas o destinadas a fomentar la confianza de los inversores para el desarrollo de capacidades y las políticas de fomento de la producción para el autoconsumo, que aumentaron la energía fotovoltaica distribuida en 2013 a más del 50% de la capacidad instalada; mismas que llevaron a España a lograr una capacidad instalada del 7% y ser el segundo mercado europeo más importante en 2005 y 2006 (SolarPower Europe, 2014). Así mismo, Estado Unidos implementó políticas de incentivos para la transferencia de tecnología entre la industria y la universidad (The Bayh–Dole Act or Patent and Trademark Law Amendments Act 1980).

La política nacional post-nuclear y las políticas de energías renovables de largo plazo alemanas favorecieron el sector con subvenciones públicas directas, recargos de servicios públicos pasados a los contribuyentes, fortalecimiento del sector manufacturero, pagos directos a pequeños productores, programas de incentivos a la adopción residencial, entre otros, logrando una capacidad instalada 50% superior a la de Estados Unidos. Además, desde 1973, a raíz de la crisis del petróleo Alemania implementó un amplio rango de medidas institucionales para desarrollar políticas y prácticas pro-solares, como el incremento en el gasto en I+D del sector, la creación de infraestructura como universidades, laboratorios, empresas emergentes de base tecnológica (start-up), grandes firmas de energía y redes políticas, financieras y tecnológicas, junto a proyectos de demostración que ganaron la legitimidad de los votantes, lo cual trajo consigo leyes de tarifas de alimentación y normas auxiliares, convirtiendo al país en un referente de la co-evolución del desarrollo socio-tecnológico (Newfield, 2013).

Las tarifas de alimentación han sentado un precedente importante porque la investigación en FV requiere instalaciones de vanguardia y grandes montos de inversión. Las tarifas de alimentación son un instrumento de política diseñado para acelerar la inversión en tecnologías de energía renovable a través de contratos a largo plazo (15-25 años) de compra de energía a los productores de energía renovable con el fin de ofrecerles una

compensación o precio basado en los costos de producción de la electricidad que suministran a la red. El contrato proporciona certeza en los precios y ofrece a los inversores un rendimiento razonable, lo cual coadyuva a financiar inversiones en energía renovable a los propietarios de viviendas, los propietarios de empresas, los agricultores y los inversores privados (Klein et al., 2008; Couture, Cory, & Williams, 2010).

Gráfica 8. Número de patentes a lo largo de toda la historia de la FV (1945-2012).



Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

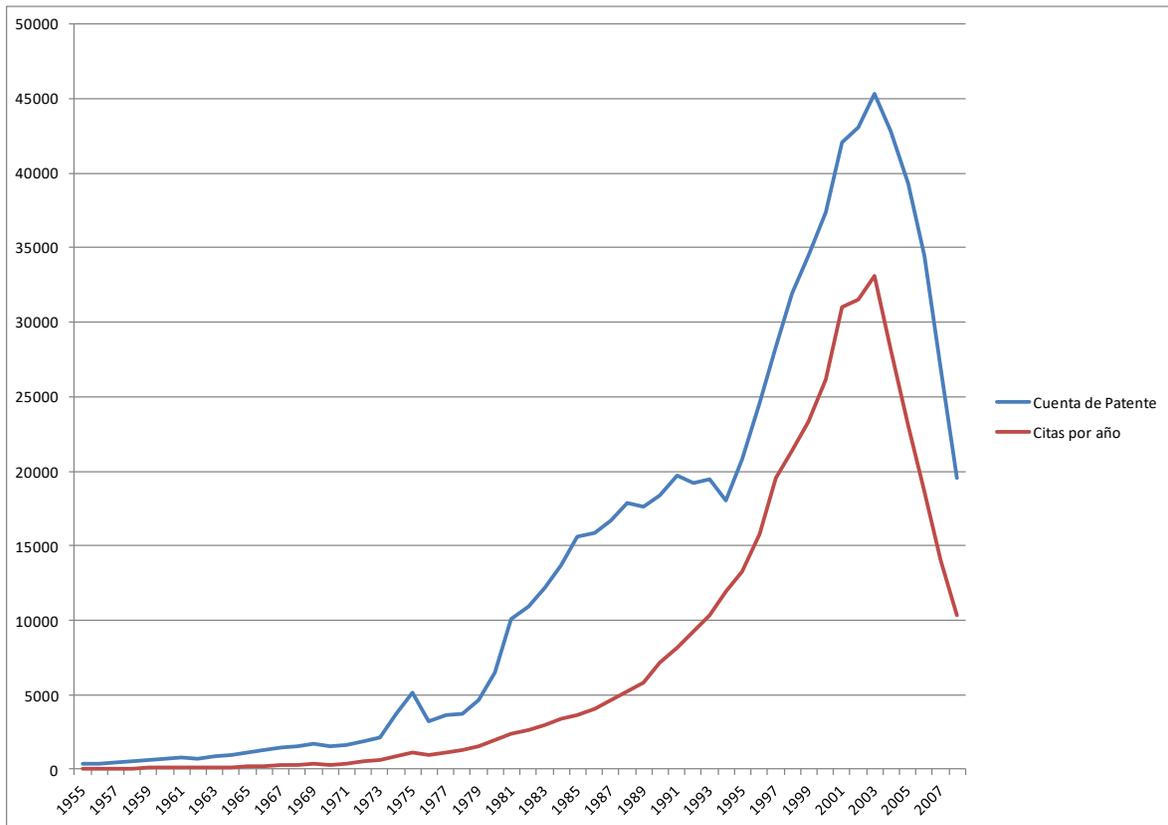
Este conjunto de políticas de desarrollo del sector FV fueron remplazadas por políticas de mercado, al considerarse que ya presentaba las características de un sector tecnológico maduro. A partir del 2002, comienza a darse una clara caída global en la producción total de patentes y en los flujos totales de conocimiento (gráfico 8 y 9), lo cual podría deberse a un estancamiento del mercado por la implementación de las políticas basadas éste, las cuales remplazaron las políticas de subsidio. Además, se establecieron políticas que obstaculizan los mercados emergentes de la producción para el autoconsumo, como el impuesto solar español o las multas altas a prosumidores no declarados, que hicieron imposible invertir en el sector FV y detuvieron su crecimiento (FRINNOV, 2009). La caída mundial en la producción de conocimiento en FV, que se presenta algunos años después de

la firma del ADPIC, se debe a que a los países en desarrollo se les dio un periodo de tiempo para adecuar sus estructuras jurídico-administrativas al nuevo marco legal. Por ello, el efecto negativo retardado es notorio una vez que se da este periodo de ajuste en los países en desarrollo, afectando la tendencia del conjunto global de países.

Las principales áreas de producción de celdas solares actualmente son China, Taiwán, Japón y Europa, las dos primeras producen un tercio del total. Empero, Alemania y Japón cuentan con 63% de la capacidad instalada (FRINNOV, 2009). Hasta el 2011 el gran líder en capacidad instalada fue Alemania, que creció a un ritmo anual del 57%, aun cuando su situación geográfica con baja radiación solar no le daba una ventaja comparativa. Sin embargo, ni Estado Unidos ni Alemania han podido enfrentar los desafíos que presentan las celdas policristalinas asiáticas de bajo costo. A partir del 2012 las firmas comenzaron a declarar en bancarrota, incluida Q-Cells y Solyndra conocidas por su excelencia técnica. La industria global presenta una condición paradójica de rápido crecimiento en la instalación y decremento en los costos, por un lado, y la inestabilidad empresarial generalizada o quiebra por problemas financieros junto a la pérdida de cuotas de mercado (Newfield, 2013).

Aunque China produce el 50% de las celdas solares 1G a nivel mundial, tiene pocas patentes y aun depende de la importación de materia prima y equipos de producción, por lo cual no puede competir en materiales clave con las compañías occidentales, las cuales tienen mayores capacidades tecnológicas (SolarPower Europe, 2014). Su posición actual sólo le permite sacar ventaja de la producción de las celdas de primera generación, ya que la industria solar fotovoltaica se encuentra en la etapa de explotación de las tecnologías de silicio cristalino (c-Si) y en la etapa de exploración de las tecnologías de película delgada y de compuestos orgánicos. Dada su débil trayectoria tecnológica relacionada con el silicio, China tiene pocas patentes antes del 2000, pero a partir de esta fecha se ha convertido en el primer productor mundial de artículos científicos en celdas 3G, lo cual podría ser un indicio de que se convertirá en el líder. Además, su investigación se caracteriza por ser de alta calidad, ya que se lleva a cabo por inventores-autores (Wua & Mathews, 2012; Watanabe, Wakabayashi, & Miyazawa, 2000).

Gráfica 9. Citas por año y número de patentes a lo largo de toda la historia de la FV (1945-2012).



Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

Estados Unidos y Alemania han implementado políticas exitosas que los han convertido en líderes mundiales en producción de patentes y flujos de conocimiento. Sin embargo, los módulos fotovoltaicos se han convertido en un producto básico, cuya producción se está moviendo hacia Asia, por las mismas políticas de deslocalización de la manufactura que ahora sigue la Unión Europea para conseguir costos más bajos en el extranjero. La comoditización¹⁸ de los paneles solares de silicio cristalino ha superado las innovaciones tecnológicas, ya que los precios han decrecido como resultado de la competencia de

¹⁸ La comoditización o commoditization (en inglés) es el proceso económico por el cual los bienes, cuyo valor económico se deriva de sus atributos, terminan convirtiéndose en un “commodity” y se comercian sin diferenciación cualitativa. Información tomada de: <http://www.finanzas.com/%C2%BFque-son-los-commodities-y>

<http://www.mercadeo.com/blog/2012/12/comoditizacion-neologismo-economico/>

mercado y de los costos en la manufactura inferiores que ofrece Asia. Esto trae una contradicción en la manufactura de paneles solares entre crear una tecnología de mejor calidad y un commodity de bajo costo que permita a las empresas sobrevivir. Pero aun en este último escenario el gobierno chino logró, a través de grandes subsidios, bajar los costos de la manufactura, lo cual muestra que el sector, pese a no estar en su infancia, muestra fallas de mercado que no deberían presentarse en un sector tecnológico maduro (Newfield, 2013). Este resultado muestra que IP no es un incentivo suficiente para invertir en la producción de conocimiento, es decir, no corrige la falla de mercado. Es necesario estimular la demanda de mercado y otras políticas de apoyo.

En la actualidad, la PI sigue siendo un tema polémico, lo cual podría deberse a la inexistencia de evidencia empírica contundente que demuestre su efecto en la innovación. Los estudios realizados hasta el momento presentan evidencia escasa, ambigua y mezclada sobre los efectos económicos y sociales. Entre los beneficios se encuentra que proporcionar incentivos para la actividad inventiva, estimula la inversión en I+D, difunde información sobre el estado de la técnica y evita duplicidad de esfuerzos en investigación. En el caso de los costos se menciona la pérdida de peso muerto generada por el monopolio concedido, altos costos de transacción e impedir las innovaciones incrementales, es decir, innovaciones basadas en otras innovaciones, reduciendo la velocidad de los cambios tecnológicos (Jackson, 2003; Rockett, 2010).

Aunque aun prevale el desacuerdo respecto a si es la demanda del mercado o los avances tecnológicos o una combinación de ambos es lo que impulsa el crecimiento de un sector tecnológico, lo que sí está claro es que las políticas públicas han contribuido de manera positiva (Guo, Xu , Huang & Porter, 2012). Este estudio refuerza el hallazgo de que la PI es un marco favorable para los países que tienen una economía del conocimiento, ya que éstos deciden estratégicamente como usarlos respecto su posición relativa con otros países en cuanto al tamaño del mercado, el grado de apropiación del conocimiento, la estructura e intensidad de la competencia, el tipo de conocimientos, las relaciones geopolíticas y el grado de asimetría en las capacidades tecnológicas. Así mismo, les permite jugar estratégicamente considerando el grado de fortaleza de la política de PI de los países

respecto a la extensión de la cobertura en objeto y tipos de invención, la afiliación a tratados internacionales, la duración de la protección, el grado de exclusividad; y las medidas cautelares para hacer valer estos derechos (Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015).

De ahí que las firmas apliquen para una extensión territorial de la IP en los países donde se encuentran los principales mercados: Estados Unidos, Europa y China. Las disparidades cognitivas entre los países desarrollados y en desarrollo perpetua la dependencia tecnológica y el desarrollo desigual. Aunque la PI no es el único obstáculo que enfrentan los países en desarrollo para dejar de ser importadores de bienes de alta tecnología y convertirse en productores, es una meta-regulación que limita los procesos de imitación, el aprendizaje y eleva los costos de transferencia de conocimiento. La PI debe analizarse en toda su complejidad, teniendo en cuenta la dinámica global del conocimiento, los verdaderos costos, los mecanismos de apropiación y monopolización.

Las desventajas que la IP impone a los países en desarrollo demandan construir estructuras institucionales que permitan gestionar adecuadamente el conocimiento, indagando en el tipo de instituciones involucradas en la producción colectiva, facilitando los procesos de aprendizaje y las prácticas que contribuyan a la expansión de éste (Smith & Stirling, 2008). Asumir una asociación lineal entre la concentración espacial de los recursos de I+D y su transformación en valor socioeconómico en la misma escala espacial, sin considerar que la producción y difusión del conocimiento tienen dinámicas que rebasan las delimitaciones espaciales entre industrias, sectores, regiones y países (Martin, 1999; Laranja, Uyarra, & Flanagan, 2008) implica no ver la complejidad del fenómeno. La arquitectura tecno-política de Internet ofrece elementos para el diseño de estructuras para de libre acceso, producción y difusión intelectual colaborativa, que sobrepasen el tratamiento del conocimiento desde la economía clásicas, cuya lógica gira en torno a la escasez y regulación de los bienes materiales (Kapczynski, 2008; Wolf y Miranda, 2011).

En la actualidad, la política de innovación sigue estando permeada de la perspectiva del Sistema Nacional de Innovación (SNI) (Freeman, 1995; Lundvall, 1998). Las inversiones en I+D por sí mismas no generan avance tecnológico, ya que éste está más relacionado con

procesos de aprendizaje y las relaciones entre usuarios y productores de conocimiento (Trousset, 2014). A partir del desempeño exitoso de Estados Unidos en 1995 hay un fuerte predominio en las recomendaciones de política por seguir su modelo único de innovación. Orientar las políticas en este sentido supone invisibilizar los avances teórico para no tomar en cuenta las diferencias nacionales en las estructuras de innovación, así como en el contexto político y social. Esta miopía se debe a que adolecen de la perspectiva de la complejidad en las políticas públicas, por lo cual no hay un enfoque de los sistemas dinámicos o las combinaciones sistémicas propias de cada región (Dodgson et al., 2011).

Los problemas actuales presentan serios cuestionamientos a los modelos de innovación basados en las ideas schumpeterianas, que privilegian el rol de los agentes económicos de mercado y conceden poco crédito a los factores sociales u otros actores. La historia del sector muestra que las tecnologías emergentes prosperarán si se concede un rol permanente a las instituciones y prácticas no mercantiles. El caso alemán muestra que son necesarios otros esquemas de producción, consumo y participación de los diferentes actores sociales, pero sobre todo, hace visible la necesidad de compaginar la innovación tecnológica con la innovación social (Newfield, 2013).

Los instrumentos de CTI que hasta el momento se han construido adolecen de estar orientados hacia la economía, vista desde el perspectiva neoclásica. Debido a esto, se crean medidas pensando en su contribución al crecimiento económico o la competitividad y se deja del lado una visión más compleja e integral del conocimiento en relación con la sociedad y la naturaleza. Así mismo, el conocimiento es erróneamente tratado como una mercancía susceptible de apropiación y, por ende, se convierte en un recurso escaso, cuya inversión/gasto en I+D es tratada como cualquier otra inversión de capital. Con esto, se dejan de lado los verdaderos costos, productos y beneficios que se dan como el resultado de la sinergia social global en la cual se crea el conocimiento. Así, se obvia toda la complejidad de su creación, transmisión y aplicación, reduciéndolo a su uso comercial e invisibilizando los procesos de apropiación y expropiación del conocimiento.

4.3. Estructuras internacionales de conocimiento del sector solar fotovoltaico: capacidades de innovación

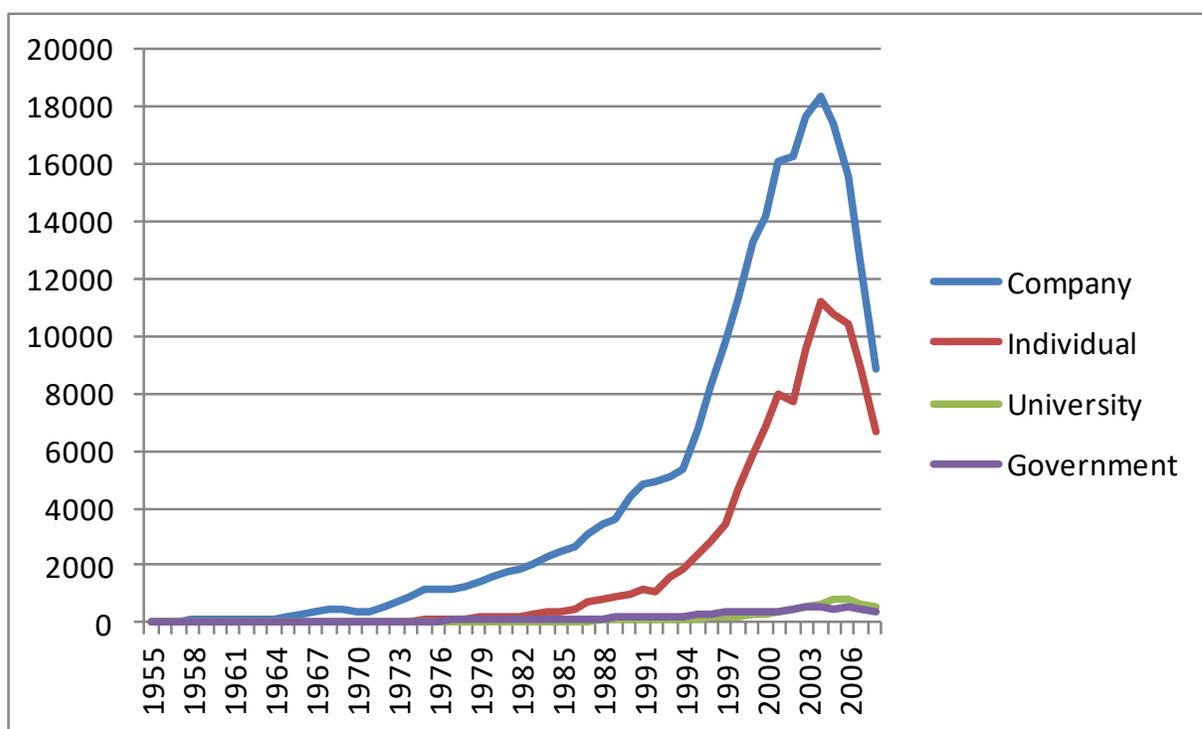
La actual fase del capitalismo convierte al conocimiento en la principal fuente de plusvalía y acumulación, haciéndolo más valioso que el capital físico (Dautrey, 2012). A las afirmaciones de Schumpeter y Marshall sobre considerar al conocimiento el factor clave de la innovación y los emprendimientos se le suman conceptos como el de capital humano calificado, trayectorias tecnológicas, capacidades cognitivas y procesos de aprendizaje para conformar sistemas de innovación. Así mismo, surge el concepto de economía del conocimiento para caracterizar una fase del capitalismo más intensiva en capital variable que en capital constante, ya que las ideas se transforman en productos o en la fuente del valor agregado. El conocimiento es reconocido ahora como un componente económico estructural con rendimientos crecientes, que determina el crecimiento económico y el cambio social, pero que a su vez contiene una relación inversa entre apropiación y difusión. La actual estructura productiva se caracteriza además por estar atravesada por relaciones con la ciencia, la tecnología y las políticas públicas (Stezano & Velez-Cuartas, 2007).

Los países con economías del conocimiento son aquellos que tienen "Capacidad Nacional de Innovación", definida como la capacidad de un país para producir y comercializar sus innovaciones de manera sostenida, esto implica tener un sector privado con capacidad para financiar parte del gasto total en I+D e incrementar la producción de conocimiento (Azagra-Caro & Consoli, 2014). En el caso de la FV se puede observar en la gráfica 10 que el sector que más posee patentes es el privado, lo cual permite hacer una caracterización de las actividades de innovación del sector. Es notoria una tendencia al crecimiento, mientras imperaron las políticas de estímulo que incentivaron la I+D en el sector privado de los países que son los principales productores de conocimiento en FV: Estados Unidos, Alemania y Japón (ver anexo 13).

El hecho de que el sector privado sea el principal cesionario implica que se privilegian las actividades de explotación del conocimiento o las innovaciones incrementales, en lugar de las actividades de exploración del conocimiento o las innovaciones radicales, ya que su

principal objetivo es la aplicación comercial del conocimiento para obtener beneficios económicos. Además, la PI es usada como instrumento estratégico de competencia, lo cual tiene como fin bloquear competidores y evitar el uso de conocimiento por parte de terceros. Así mismo, se privilegia el secreto industrial para evitar las derramas que pudieran beneficiar a la competencia. El problema es que no se fomenta la difusión del conocimiento, ni se persigue resolver problemas, tampoco se invierte en la búsqueda de innovaciones radicales.

Gráfica 10. Número de patentes por sector social (1944-2008).

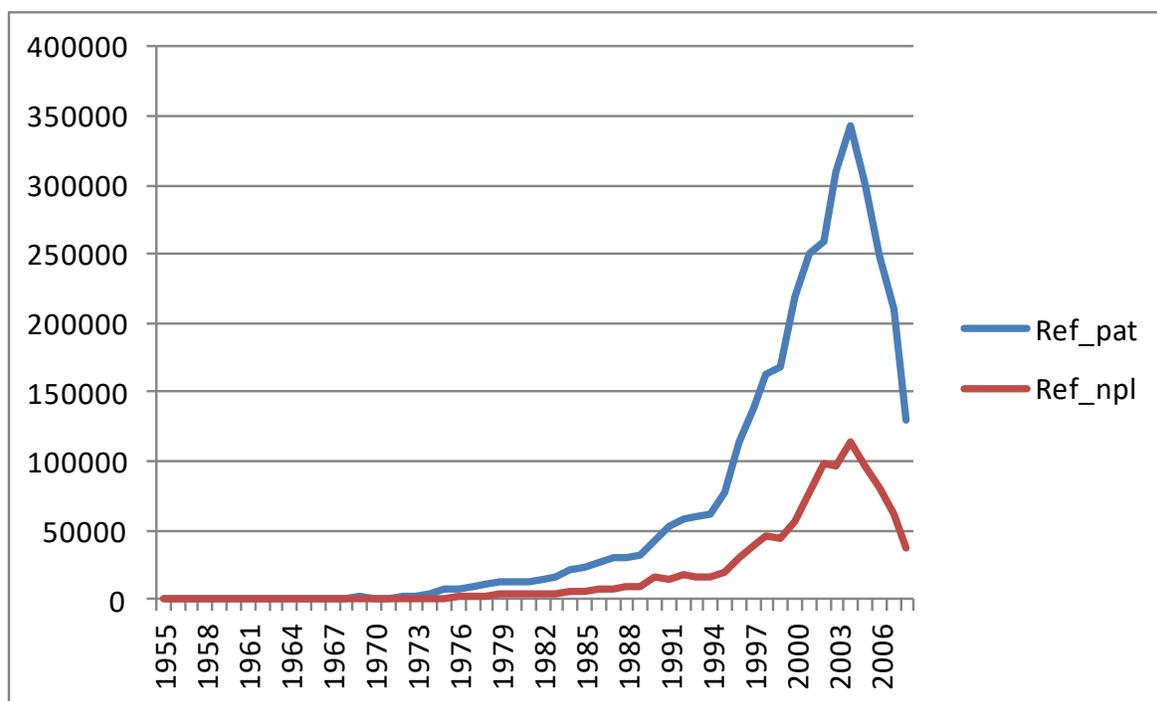


Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

El gráfico 10 muestra una participación muy débil de los sectores gobierno y universidad. Si bien este es un indicio de la alta capacidad de innovación y de absorción del sector privado, también indica una débil vinculación con las universidades, lo cual implica que las fuentes de conocimiento no incluyen conocimiento de vanguardia generado por las actividades de exploración que se dan en los centros de investigación públicos. Esto también está relacionado con el hecho de que las citas en las patentes se den en mayor

medida a otras patentes y que haya pocas referencias a otras fuentes de literatura que no son patentes, como los artículos científicos (ver gráfica 11, así como anexos 14, 15 y 16 para mayor detalle). Sin embargo, la capacidad de innovación también está dada por las relaciones virtuosas entre los actores para explorar y explotar conocimiento. La importancia de las instituciones se deriva de que éstas median las relaciones de comunicación entre universidad-industria-gobierno y, junto al desarrollo tecnológico y el entorno cognitivo, moldean la infraestructura de conocimiento. La producción de conocimiento es un insumo para la economía o la generación de riqueza por parte de la industria y el control normativo o gobernanza se realiza a través de los regímenes institucionales internacionales de propiedad intelectual (Leydesdorff & Ivanova, 2016).

Gráfica 11. Número de referencias a patentes y a otra literatura (1944-2008).

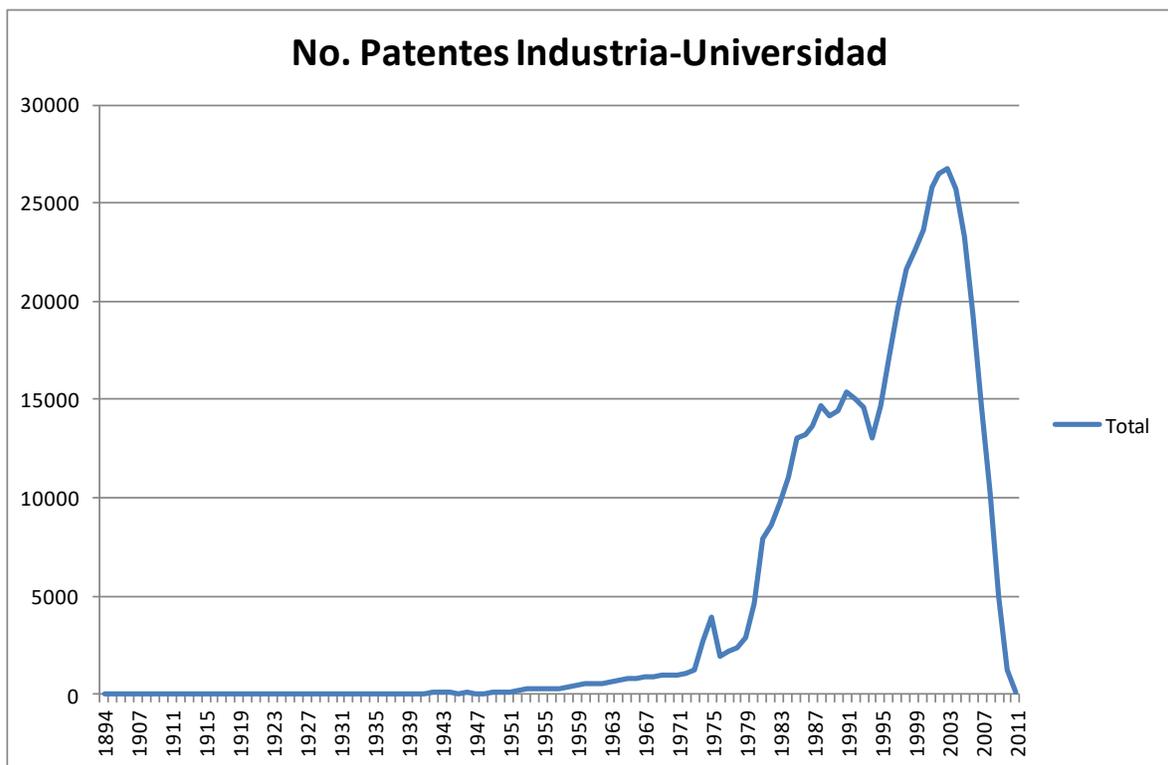


Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

La innovación es un proceso co-evolutivo, que implica interrelaciones de los elementos del sistema. De ahí que los sistemas tecnológicos hagan énfasis en el régimen institucional de la red de agentes que interactúan en un área tecnológica específica para producir, difundir y utilizar conocimiento tecnológico dinámico a través de redes de competencias (Laranja et

al., 2008; Geels, 2004). El énfasis en la forma de relacionarse de la universidad, la industria y el gobierno sugerida por el enfoque de "triple hélice" de Leydesdorff (2000) se debe a que de esto depende el desempeño tecnológico. Si bien se considera que el papel de las universidades es generar capacidades y habilidades desde la educación, así como conocimiento, sin la colaboración con las firmas difícilmente éstas se convierte en innovaciones. Debido a ello se enfatiza la capacidad de absorción de las firmas, ya que sin ésta carecen de habilidades para identificar, comprender, incorporar y explotar nuevo conocimiento. Esta capacidad a su vez depende del tamaño de la inversión interna en I+D, que cuando es elevada contribuye a reducir la brecha cognitiva con otros campos del conocimiento y con actores como las universidades. También influyen el tamaño de la firma, el sector tecnológico y, en algunos casos, los derechos de propiedad intelectual (Fernández-Esquinas et al., 2015).

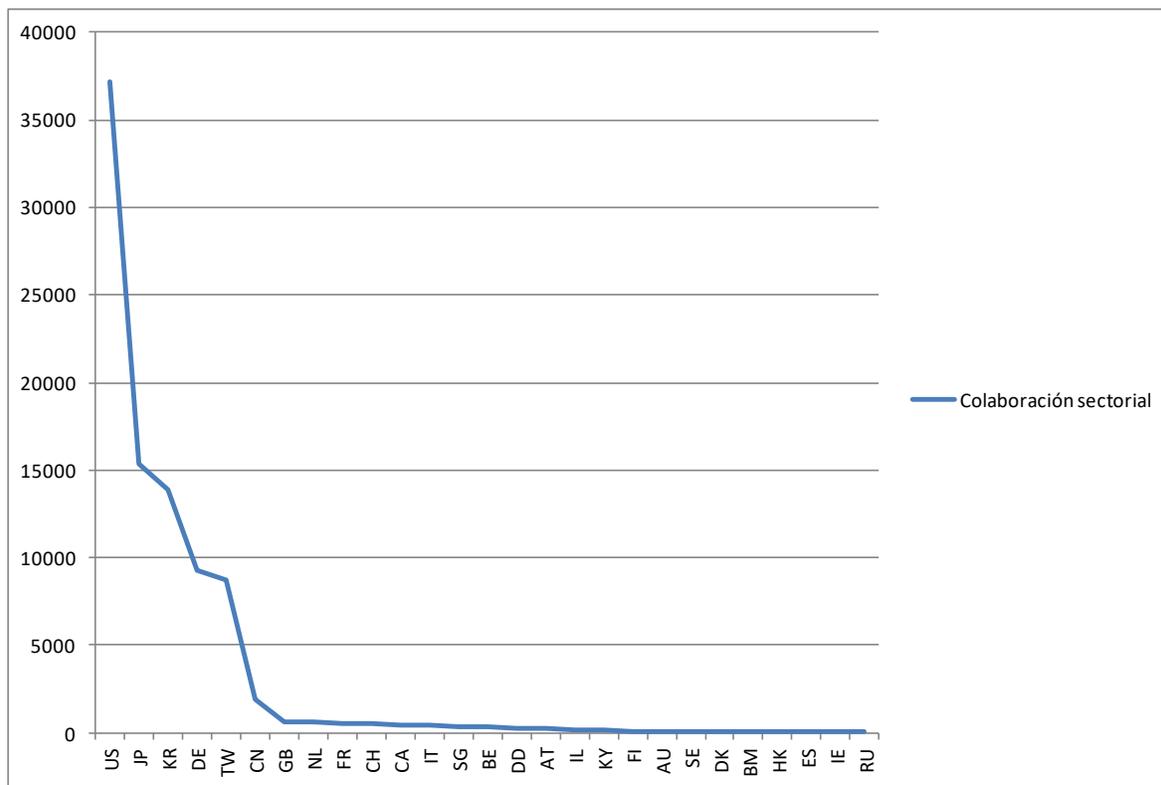
Gráfica 12. Número de colaboraciones entre la universidad y la industria (1894-2011).



Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

En el caso del sector FV, la gráfica 12 muestra que hay un incremento de las colaboraciones entre la universidad y la industria a partir de los ochentas (medidas por el número de patentes poseídas por ambas), lo cual podría ser un efecto de los cambios legislativos como el CRADA o las enmiendas a la ley de patentes en Estados Unidos, que sentaron un precedente mundial en cuanto a estímulos para las colaboraciones sectoriales y para la producción de patentes en las IES. Sin embargo, al igual que en el resto de los indicadores se observa una caída a partir de la década del dos mil. Esto reafirma la idea de que la PI por sí misma no es suficiente para estimular la innovación, pero tampoco se puede negar que es un factor que contribuye como parte de las instituciones para la innovación en los países que tienen capacidades tecnológicas, ya que como se observa en la gráfica 13 los países líderes en el sector son los que tienen el mayor número de colaboraciones sectoriales.

Gráfica 13. Países con mayor número de colaboraciones entre la universidad y la industria (1894-2011).



Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

La estructura de las redes conformada por los países y sus perfiles de conocimiento influye en la dinámica de los flujos de conocimiento, la producción de conocimiento y las colaboraciones cognitivas. En el sector FV son muy visibles los países centrales o nodos concentradores, que son aquellos con capacidades tecnológicas. Debido a ello, no se puede esperar que una institución como la PI estimule la difusión de conocimiento a través de la revelación en el sistema de patentes. El conocimiento sólo se difunde eficientemente cuando hay un nivel y distribución uniforme de éste a través de la red. La transferencia de conocimiento es un proceso costoso y difícil debido a que éste está socialmente embebido, es altamente específico del contexto y requiere que los receptores tengan conocimiento previo para ser capaces de entenderlo y utilizarlo (Shin & Kook, 2014).

Tabla 17. Principales áreas de investigación de celdas de silicio policristalinas.

Celdas solares de silicio policristalino		
Áreas de investigación	Registros	% de 1,909
Física	1287	67.417
Ciencia de los materiales	1070	56.050
Combustibles energéticos	555	29.073
Ingeniería	357	18.701
Química	138	7.229
Tecnología científica	114	5.972
Cristalografía	102	5.343
Óptica	94	4.924
Ingeniería metalúrgica	57	2.986
Electroquímica	39	2.043

Fuente: Elaboración propia con datos de WoS (2016).

En el tema anterior, a través del ARS se ha identificado la importancia de Estados Unidos como un nodo concentrador-hub, lo cual no sólo revela su influencia en toda la red, sino que también permite analizar las capacidades cognitivas que posee en relación con las capacidades que son demandadas en el sector tecnológico FV. Esto es posible detectando las principales áreas de investigación y los IPC/CPC más importantes en las tres generaciones de celdas solares, para posteriormente identificar cuáles de éstos conocimientos se encuentran presentes en los países que conforman la red.

Tabla 18. Principales áreas de investigación científica en celdas de silicio monocristalinas.

Celdas solares de silicio monocristalino		
Áreas de investigación	Registros	% de 805
Física	478	59.379
Ciencia de los materiales	384	47.702
Combustibles energéticos	356	44.224
Ingeniería	218	27.081
Óptica	84	10.435
Química	67	8.323
Tecnología científica	53	6.584
Electroquímica	19	2.360
Instrumentos de instrumentos	12	1.491
Cristalografía	12	1.491

Fuente: Elaboración propia con datos de WoS (2016).

Las gráficas 17 y 18 muestran que en la primera generación de celdas predominan la física, la ciencia de los materiales y los combustibles energéticos como principales áreas de investigación. En la gráfica 19 se observa que Estados Unidos, Alemania, Japón y China son los países que más publicaciones tienen en estas áreas del conocimiento, las cuales son la base para el desarrollo de las siguientes generaciones de celdas solares. La presencia de estos países en los ranking indica que realizan actividades de exploración, es decir, buscan ensanchar sus fronteras del conocimiento.

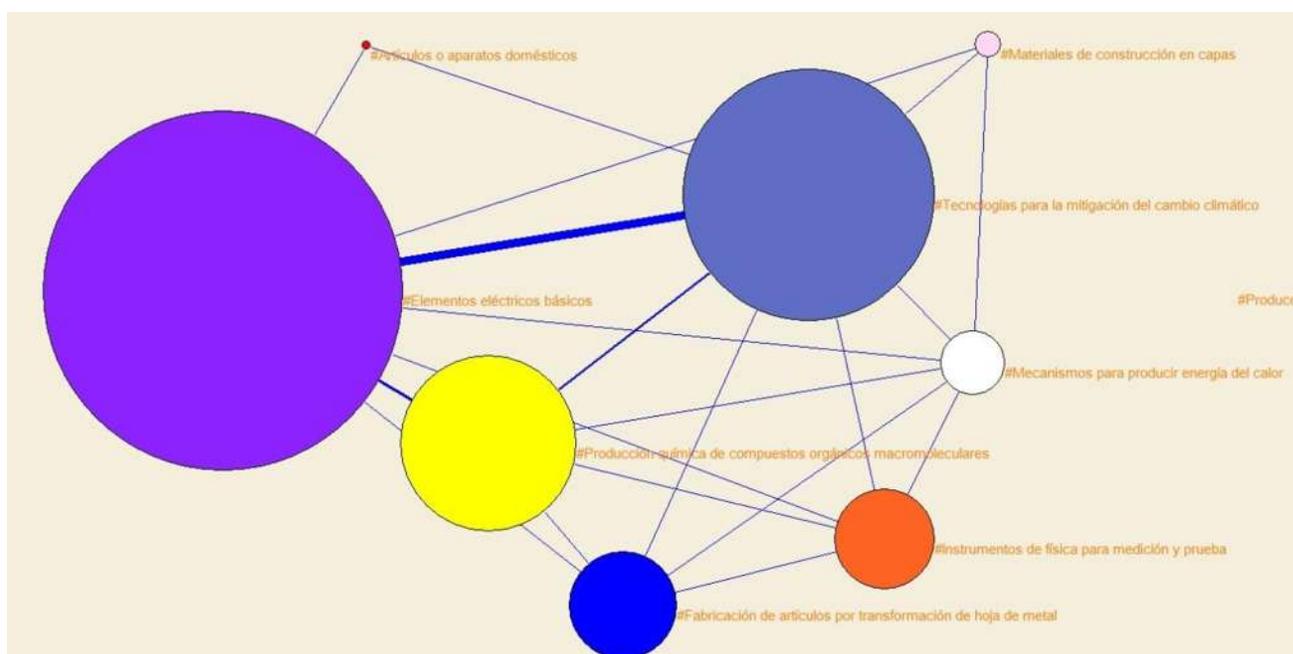
Tabla 19. Ranking de países productores de artículos científicos.

Celdas solares de silicio monocristalino				Celdas solares de silicio policristalino			
	Países/Territorios	registros	% de 805		Países/Territorios	registros	% de 1,909
1	Alemania	180	22.360	1	Estados Unidos	309	16.186
2	Estados Unidos	103	12.795	2	Japón	306	16.029
3	China	98	12.174	3	Alemania	283	14.825
4	Francia	44	5.466	4	China	178	9.324
5	Australia	31	3.851	5	Australia	136	7.124
6	Japón	30	3.727	6	Francia	107	5.605
7	Italia	30	3.727	7	India	79	4.138
8	España	29	3.602	8	Corea del Sur	76	3.981
9	Corea del Sur	28	3.478	9	Bélgica	70	3.667
10	Bélgica	28	3.478	10	Taiwán	64	3.353

Fuente: Elaboración propia con datos de WoS (2016).

El mercado fotovoltaico está conformado principalmente por celdas de primera generación (89.5%), de las cuales 42.2% son de silicio mono-cristalino y 45.2% son de silicio policristalino. Los países que figuran en el ranking de las áreas de investigación y en los rankings de los IPC de la producción de patentes 1G son los que actualmente se benefician de las actividades explotación. Para hacer visible las capacidades tecnológicas requeridas y su evolución en FV es necesario revisar la conformación de los campos de conocimiento, no sólo en las áreas de investigación que sustentan las actividades de exploración, sino también a nivel IPC. El grafo 8 y la tabla 20 muestra los IPCs que aparecen con mayor frecuencia en las patentes de la USPTO. Ambos fueron construidos en Pajek a partir de los tres primeros dígitos de los IPC del universo de estudio para obtener clasificaciones generales y reducir el grado de especificidad.

Grafo 8. IPCs que conforman las celdas de primera generación (1976-1992).



Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Analizar la dinámica del conocimiento en una red implica concebirlo como una propiedad emergente de un sistema, que se crea y propaga dentro de estructuras interconectadas, cuyos niveles interrelacionados de análisis se distinguen al separar la forma de la red o estructura de su contenido relacional y del conocimiento, ya que éste último no es un mero

resultado de la actividad da la red, sino una red en sí misma. El poder explicativo de los enfoques estructurales aumenta si no se confunde a los actores que conforman la estructura con las características o contenido de los conocimientos que poseen. En una red de conocimiento el nodo es el tipo de conocimiento y el cambio en el conocimiento de un nodo receptor producido por el conocimiento entrante estará en función de la medida en que el conocimiento entrante es diferente del pre-existente (Swart & Powell, 2012). Los vínculos indican la interacción de clasificaciones tecnológicas o la copresencia de los IPCs en el desarrollo de un grupo de patentes. Estos cambian durante la trayectoria de innovación del sector FV, es decir, varía la presencia de estos tendiendo a extenderse a otras áreas o a desaparecer.

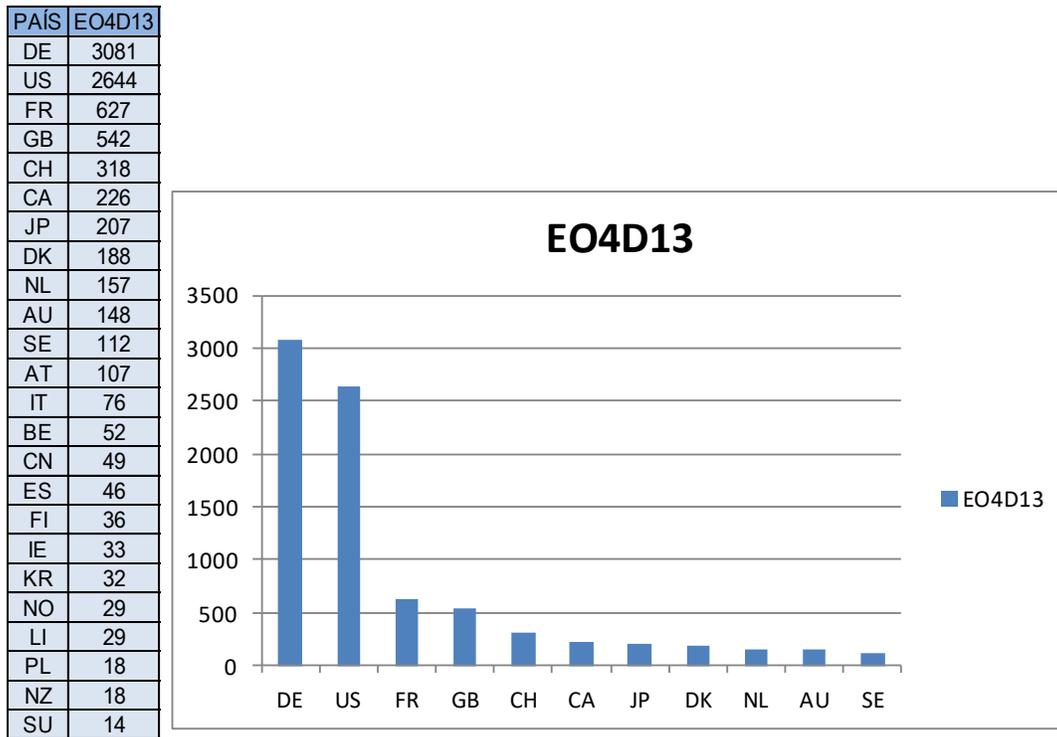
Tabla 20. IPCs que conforman las celdas de primera generación (1976-1992).

Rango	Vértice	Valor	Especialidad
1	79	33.493	Elementos eléctricos básicos
2	84	8.017	Tecnologías para la mitigación del cambio climático
3	85	4.877	Nuevos desarrollos tecnológicos con secciones transversales que abarcan varios IPC
4	36	2.664	Revestimiento o tratamiento de materiales metálicos
5	38	1.614	Vidrios orgánicos y metálicos/ metales amorfos
6	37	1.225	Separación por cristalización (Metalurgia)
7	73	1.094	Reproducción de diseños
8	43	900	Aleaciones a base de metales refractarios
9	80	900	Técnicas eléctricas de calentamiento, plasma, iluminación y circuitos eléctricos
10	10	890	Productos integrados por varias capas

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

El ranking (tabla 20) muestra un predominio de la industria eléctrica, de tecnologías para la mitigación del cambio climático y de nuevo desarrollos tecnológicos transversales. La base de los desarrollos de las celdas 1G es el cristal de silicio, usado para fabricar obleas que son la base para circuitos integrados. De ahí, que los países con trayectoria en la industria de semiconductores figuren en los rankings. La aparición y cambio en estos nodos puede originarse a partir de nuevas técnicas, procesos, materiales y equipos o nuevas soluciones a problemas de eficiencia. La primera generación tecnológica de celdas solares se basa principalmente en 13 IPCs. El IPC E04D13 es uno de los principales y se refiere a dispositivos de colección de energía en techos. El ranking de países que aparece al lado de la gráfica muestra los países que tienen capacidades tecnológicas en esa área (gráfica 14).

Gráfica 14. Campo E04D13 tecnológico por país (1944-2008).



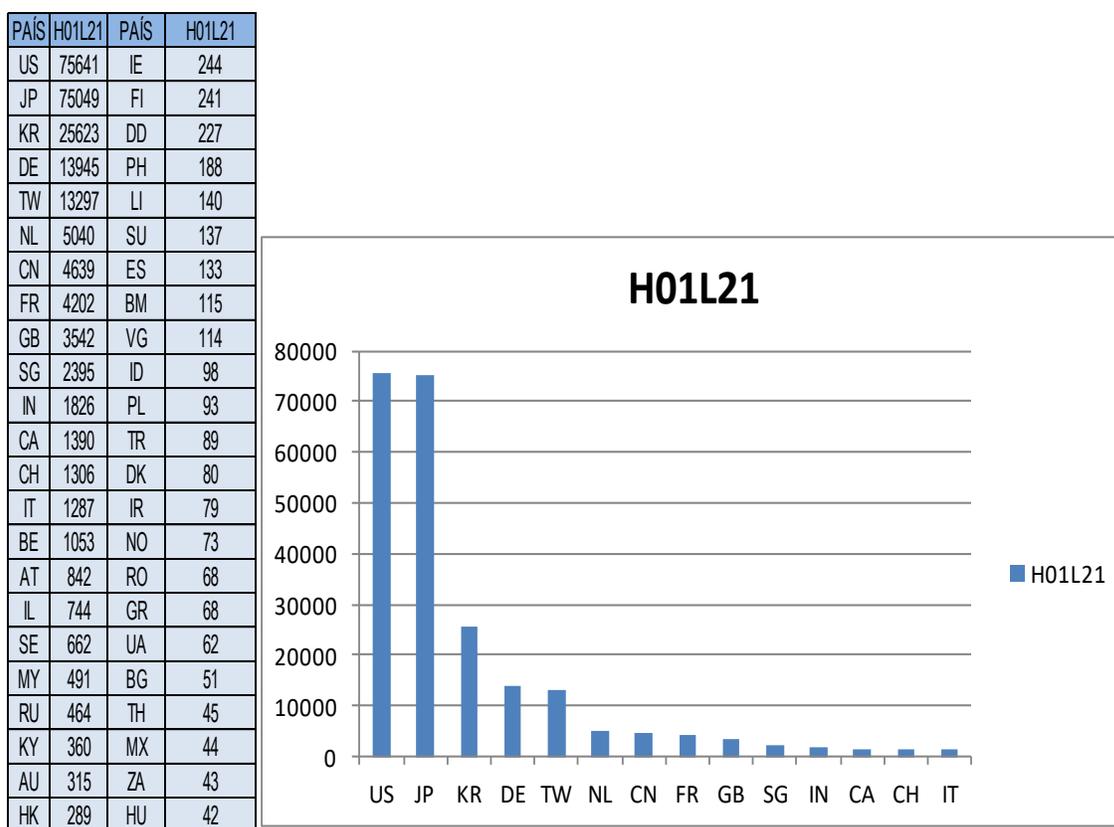
Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

Alemania y Estados Unidos poseen más patentes dentro de esta clasificación, lo cual es congruente con las capacidades cognitivas y de conocimiento relacionado con los mercados que se ven en todos los rankings. El hecho de que Estados Unidos, Alemania y Japón sigan apareciendo como líderes en toda la evolución del sector muestra también su capacidad de cambiar y aumentar la capacidad cognitiva. Sus procesos acumulativos basados en trayectorias de dependencia y tecnológicas en la industria del silicio explican los patrones de convergencia en los mapas y en las gráficas, así como la divergencia o las grades disparidades cognitivas con los países en desarrollo.

La PI ha sido favorable para estos países porque la estructura económica y la tecnología co-evolucionan o se refuerza mutuamente con las instituciones que influyen en la producción y aplicación del conocimiento (Laranja et al., 2008). Esto ha generado que el sistema global de producción de conocimiento evolucione preservando a los mismos actores, limitando la capacidad cognitiva de los países en desarrollo y el cambio de las posiciones estructurales

de los actores. El IPC H01L21 es uno de los principales de la primera generación y se refiere a procesos o aparatos para la fabricación o tratamiento de dispositivos semiconductores. La tabla que se encuentra al lado del gráfico 15 muestra que los países que figuran en el campo con capacidades tecnológicas en esa área son Estado Unidos, Japón, Corea, Alemania y Taiwán. Si bien se puede apreciar la presencia de países en desarrollo, como México, esto no implica que se han generado capacidades de innovación que les permitan cambiar de posición estructural, ya que no es un nodo central.

Gráfica 15. Campo tecnológico H01L21 por país (1944-2008).



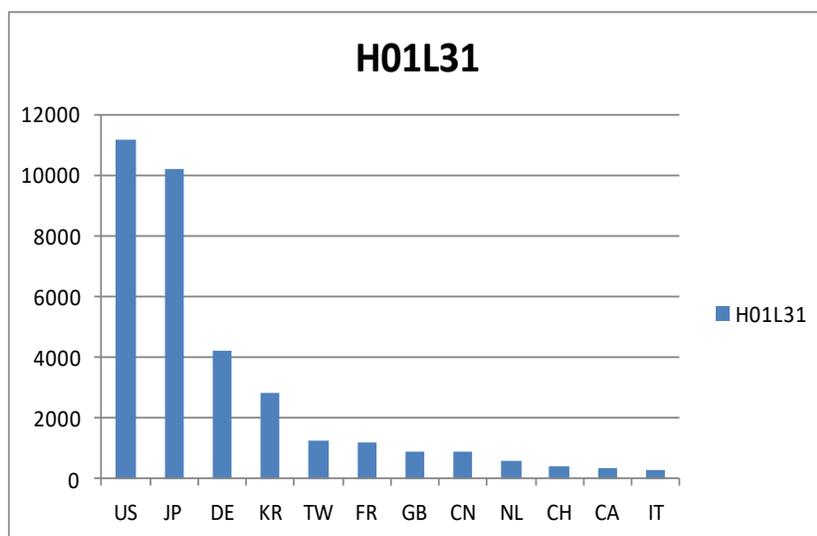
Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

Este conocimiento generado en los países en desarrollo, por lo tanto, termina sirviendo como insumo para la construcción de nuevo conocimiento en los países desarrollados. En otras palabras, se benefician del sistema de revelación de patentes los países que ya cuentan con capacidades de innovación. La siguiente categoría relevante en los IPCs de las celdas 1G es la H01L3 que se usa para clasificar los dispositivos semiconductores sensibles

a la radiación infrarroja, a la luz y a la radiación electromagnética de longitud de onda corta o radiación corpuscular, adaptados para la conversión de dicha radiación en energía eléctrica. Este IPC es el más relacionado directamente con la industria del silicio y los semiconductores, por lo cual figuran países con trayectorias en esos sectores como Estados Unidos, Japón, Alemania, Corea y Taiwán (gráfica 16). La presencia de estos países en este IPC, que es sumamente relevante en FV, aunado al hecho de que son los mismos países los que figuran en el ranking de cesionarios de las celdas 1G, es un indicio de la existencia de procesos de transferencia de tecnología exitosos de un entorno organizacional a otro para pasar de la invención a la comercialización o uso.

Gráfica 16. Campo tecnológico H01L31 por país (1944-2008).

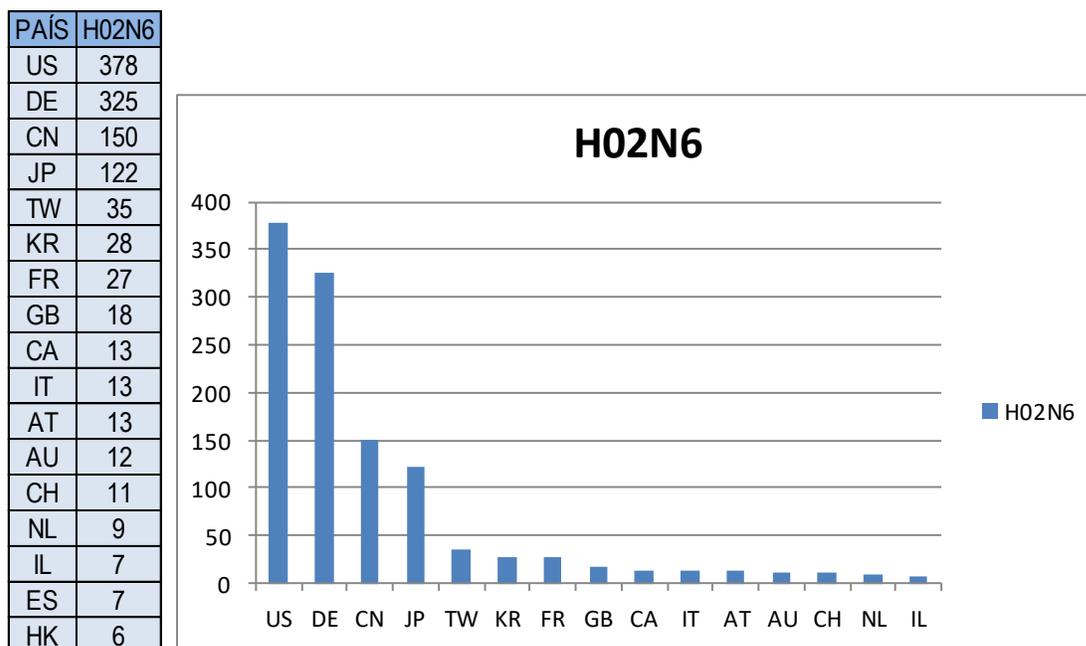
PAÍS	H01L31	PAÍS	H01L31
US	11188	NO	54
JP	10179	IE	53
DE	4187	HK	37
KR	2847	RO	36
TW	1226	LI	30
FR	1161	DK	29
GB	891	DD	29
CN	888	GR	24
NL	570	NZ	22
CH	403	BM	20
CA	354	UA	20
IT	254	PH	18
SG	242	TH	16
IN	203	PL	15
IL	198	TR	14
BE	195	BG	14
AU	190	VG	13
AT	172	CZ	12
KY	151	ZA	12
SE	138	BR	12
ES	138	PT	12
RU	123	HU	9
FI	74	CY	9
MY	66	IR	9
SU	57	MX	8



Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

El IPC H02N6 se usa para clasificar generadores en los que la radiación luminosa se convierte directamente en energía eléctrica. El generador solar es un conjunto de paneles fotovoltaicos que captan energía luminosa y la transforman en corriente continua a baja tensión, para posteriormente pasarla al acumulador, que almacena la energía producida. en esta categoría, aunque siguen encabezando la lista Estado Unidos y Alemania, China figura en el tercer puesto, lo cual podría deberse a que se ha convertido en el líder mundial en la manufactura de paneles de primera generación (gráfica 17).

Gráfica 17. Campo tecnológico H02N6 por país (1944-2008).

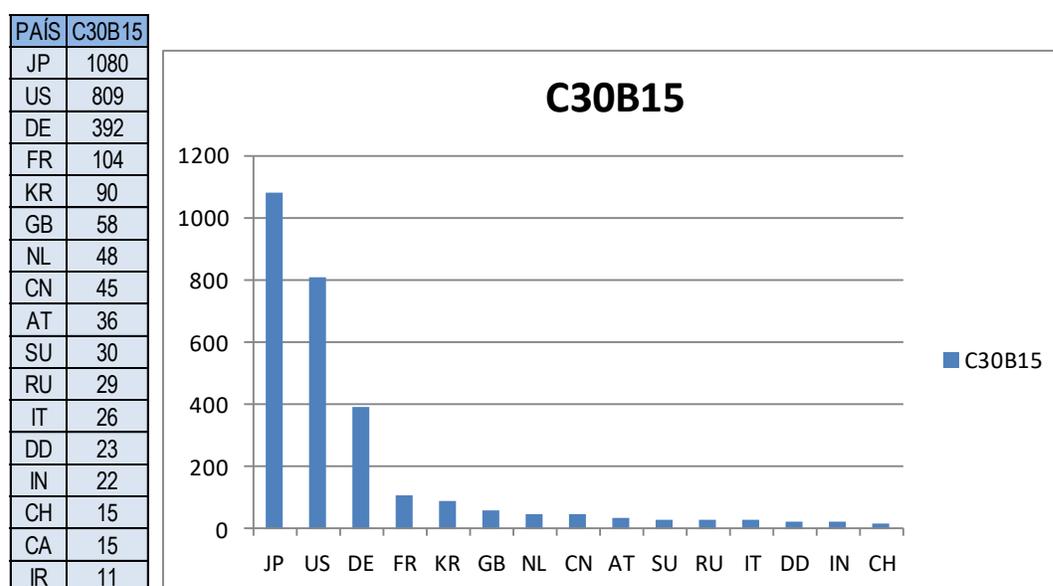


Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

La industria fotovoltaica se divide básicamente en dos segmentos que conforman la cadena de suministro. Uno es el de manufactura de materiales y fabricación de productos, el cual incluye actividades de exploración y producción (upstream). El otro segmento es el de instalación de sistemas, el cual incluye operaciones y mantenimiento, es altamente competitivo, intensivo en mano de obra y de bajo valor agregado (downstream) (Choe et al., 2016). El silicio cristalino (c-Si) es el material semiconductor más utilizado en la tecnología fotovoltaica para la producción de celdas solares comerciales. Sin embargo, es un material escaso, caro, su producción consume gran cantidad de energía, casi el 50% del

precio de un módulo se conforma por el costo de las obleas de silicio y su utilización como materia prima compete con la industria microelectrónica (Castonguay, 2009; Singh, Alapatt, & Lakhtakia, 2013). El IPC C30B15 se refiere al crecimiento monocristalino tirando de una masa fundida por el Método Czochralski, que consiste en un procedimiento para la obtención de lingotes monocristalinos. Por ello, se usa ampliamente en la industria electrónica para la obtención de obleas, a partir de las cuales se fabrican transistores y circuitos integrados.

Gráfica 18. Campo tecnológico C30B15 por país (1944-2008).

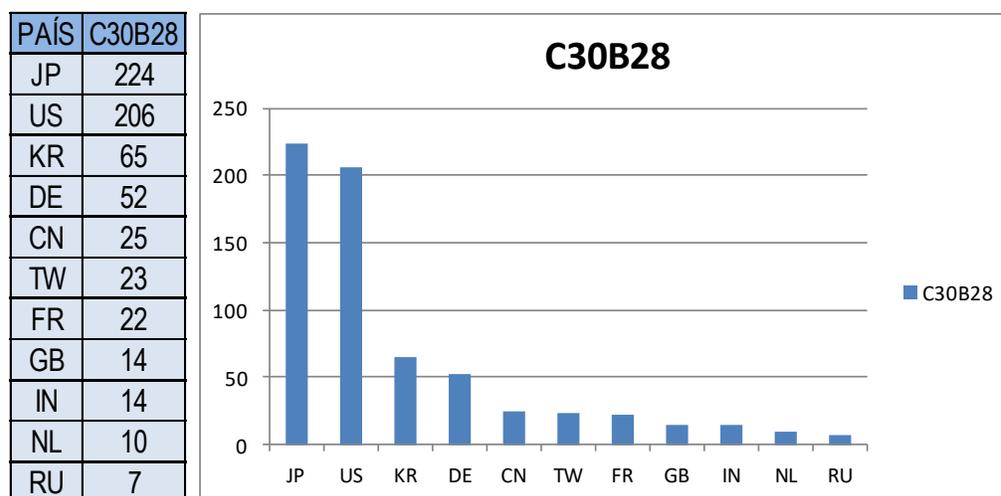


Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

La gráfica 18 muestra que China posee pocas patentes en este campo (45), pese a ser el principal productor de celdas solares 1G. Al igual que en todas las gráficas y grafos, Estados Unidos, Japón y Alemania encabezan la lista. Dado que las tecnologías nuevas en realidad son variaciones de las anteriores, estos países lideran los rankings de las tres generaciones evidenciando la existencia de capacidades cognitivas en todas las clases tecnológicas. Estas clases contienen la invención del sector FV en su conjunto y sus características relevantes. Su trayectoria tecnológica les facilita los procesos de aprendizaje, ya que tienen la capacidad de entender la investigación científica y el conocimiento codificado, como los descubrimientos científicos y las patentes con alto

contenido de I+D, así como la capacidad de hacer uso del conocimiento existente y lograr nuevas combinaciones. Por ello, aparecen en los grafos de entrada de conocimiento como los más beneficiados a partir de la firma del ADPIC, que estableció el criterio revelación de la información a los 18 meses de la aplicación.

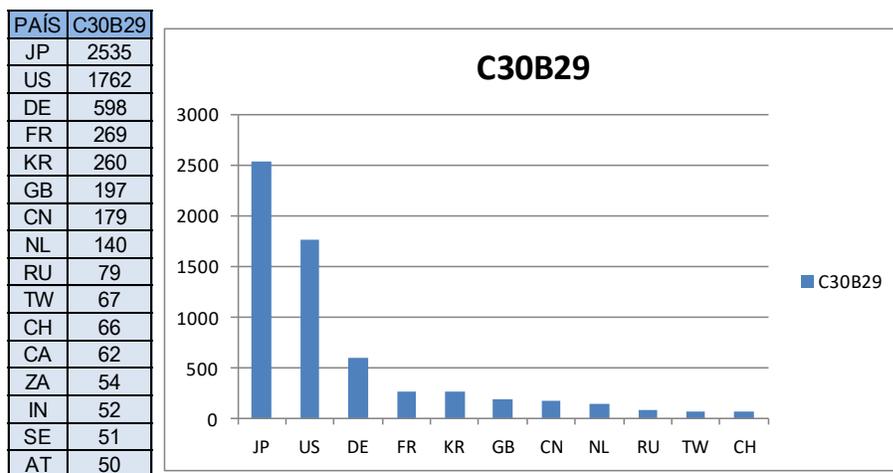
Gráfica 19. Campo tecnológico C30B28 por país (1944-2008).



Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

La categoría C30B28 es para la producción de material policristalino homogéneo con estructura definida. Esta categoría, aunque contiene pocas patentes, se relaciona con el resto de los elementos o IPC más importantes y figuran principalmente Japón y Estados Unidos (gráfica 19). El IPC C30B29 es para cristales individuales o material policristalino homogéneo de estructura definida caracterizada por el material o por su forma (gráfica 20). Un policristal o material policristalino es un agregado de pequeños cristales de cualquier sustancia, a los cuales por su forma irregular a menudo se les denomina cristalitas o granos cristalinos. Muchos materiales de origen tanto natural (minerales y metales) como sintético (metales, aleaciones, cerámica, etcétera) son policristales. El objetivo de conseguir celdas más eficientes, de menor volumen, a menor costo y que permitan la producción a gran escala, ha estimulado que continúen las investigaciones sobre el silicio y materiales alternativos. Esto ha dado origen a las celdas 2G.

Gráfica 20. Campo tecnológico C30B29 por país (1944-2008).



Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

Las diferentes variedades de celdas de película delgada, si bien han logrado avances tecnológicos notables en comparación con las celdas de silicio de primera generación y ya se encuentran en el mercado las celdas de a-Si, el resto de las variedades no ha podido consolidarse debido a que aun no se ha logrado bajar el costo de producción, existen dificultades entre laboratorios, lo cual no les permite superar desafíos térmicas y ópticos, no son fiables funcionalmente, las cadenas de suministro no son robustas, su periodo de vida es de 3-4 años y las celdas de CdTe son altamente tóxicas para el ambiente y la salud. Todo esto impide la producción y comercialización a gran escala, aunado al escaso financiamiento económico que reciben las tecnologías disruptivas, por el alto riesgo que representan para los inversionistas (Razykov et al., 2011; Singh, Alapatt, & Lakhtakia, 2013).

Las celdas de segunda generación en su mayoría están en la fase de exploración del conocimiento y conforman sólo el 10.5% del mercado. Entre las principales áreas de investigación comienzan a figurar la química y electroquímica, pero la principal área de investigación es la ciencia de los materiales (tabla 21). La importancia de esta área de investigación se debe a que la mayoría de los materiales fotovoltaicos se fabrican con métodos de depósito diferentes en una variedad de sustratos (a-Si, TF-Si, CdTe, CIS o CIGS).

Tabla 21. Principales áreas de investigación científica en celdas de película delgada.

Celdas solares de película delgada		
Áreas de investigación	Registros	% de 33,808
Ciencia de los materiales	18912	55.939
Física	18356	54.295
Química	9124	26.988
Combustibles energéticos	6420	18.990
Tecnología científica	4885	14.449
Ingeniería	4351	12.870
Óptica	2261	6.688
Electroquímica	1206	3.567
Ciencia de polímeros	1159	3.428
Ingeniería metalúrgica	674	1.994

Fuente: Elaboración propia con datos de WoS (2016).

Aunque la producción de patentes no está directamente relacionada con la producción de artículos científicos, este último se puede utilizar como un indicador aproximado a las capacidades de investigación de un país, así como de la posibilidad de desarrollar capacidades de innovación en esa generación de celdas en un futuro cercano. Así mismo, muchas patentes tienen citas hechas a publicaciones científicas indicando su grado de relación con el conocimiento de punta. La tabla 22 muestra el ranking de países con más publicaciones en áreas de investigación relacionadas con celdas 2G.

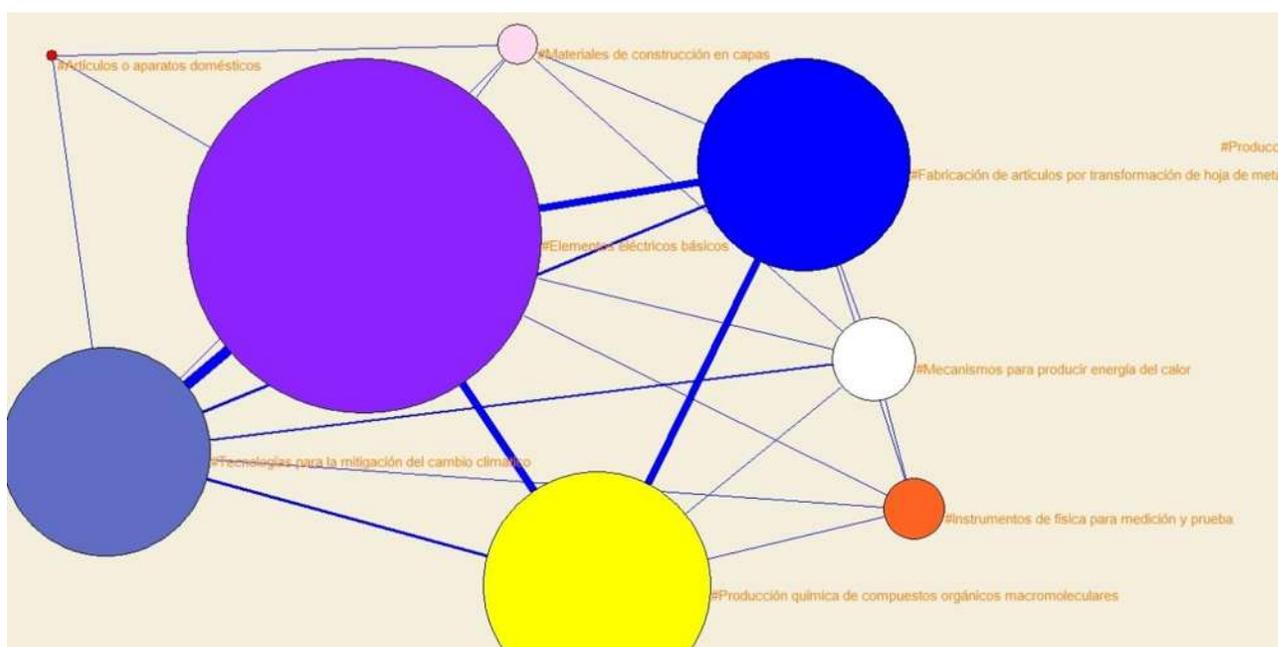
Tabla 22. Ranking de países productores de artículos científicos de FV de película delgada.

Celdas solares de película delgada			
	Países/Territorios	registros	% de 33,808
1	Estados Unidos	6689	19.785
2	China	5312	15.712
3	Alemania	3489	10.320
4	Japón	3231	9.557
5	Corea del Sur	3091	9.143
6	India	2510	7.424
7	Taiwán	1697	5.020
8	Francia	1405	4.156
9	Inglaterra	1278	3.780
10	Italia	782	2.313

Fuente: Elaboración propia con datos de WoS (2016).

Aunque las tres generaciones de celdas solares compiten en el mercado mundial, tienen en común su base tecnológica o de conocimiento, la cual puede ser usada en diferentes combinaciones para generar las innovaciones que superen los retos del sector. En las celdas de segunda generación o de película delgada los principales países productores de artículos científicos son Estados Unidos, China, Alemania, Japón, Corea y Francia. La posición de China indica que se está posicionando en la producción de conocimiento de celdas de segunda generación. Dado que la universidad es el principal productor de artículos científicos, que después son utilizados en las citas de patentes y esta está vinculada con la industria, cabe esperar que China se convierta en líder de celdas de película delgada en un futuro cercano.

Grafo 9. IPCs que conforman las celdas de segunda generación (1993-2003).



Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

La red de clases se genera cuando dos patentes comparten una clase tecnológica. Es visible en el grafo 9 que los elementos eléctricos siguen siendo la base para la construcción de nuevo conocimiento en las celdas de película delgada. También se puede observar que se posicionan nuevas áreas del conocimiento como la composición y aplicación de diversos materiales químicos y la producción química de compuestos orgánicos macromoleculares (tabla 23).

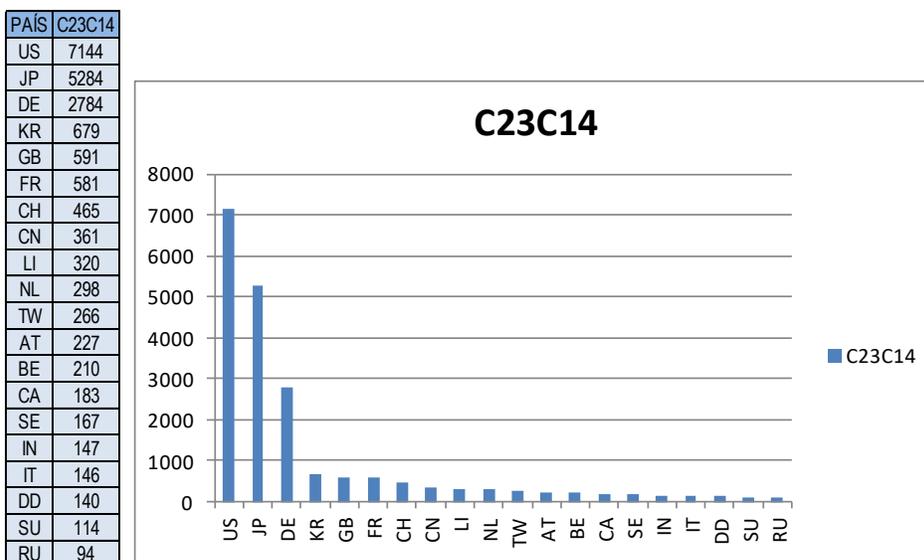
Tabla 23. IPCs que conforman las celdas de segunda generación (1993-2003).

Rango	Vértice	Valor	Especialidad
1	79	70.728	Elementos eléctricos básicos
2	9	13.268	Metalurgia de polvos y fundición
3	84	10.694	Tecnologías para la mitigación del cambio climático
4	34	9.199	Composiciones y aplicaciones diversas de materiales químicos (tintes, pinturas, adhesivos)
5	40	8.801	Química inorgánica
6	85	8.096	Nuevos desarrollos tecnológicos con secciones transversales que abarcan varios IPC
7	57	3.141	Mecanismos para producir energía del calor
8	81	2.534	Generación, conversión y distribución de energía eléctrica
9	10	2.522	Productos integrados por varias capas
10	18	2.184	Procesos físicos o químicos

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Los IPCs y las áreas de investigación hacen visibles las capacidades, oportunidades y restricciones que tienen los países en la economía del conocimiento. Estas capacidades y posiciones estructurales deben ser tomadas en cuenta en el diseño de políticas de CyT, junto a la red socio-técnica de los científicos y tecnólogos, que no sólo implica las relaciones entre ellos, sino que abarca sus entornos económicos, jurídicos, sociales, políticos y digitales (Forero, 2005). En cuanto a las celdas de segunda generación el ranking de países con más patentes sigue mostrando el liderazgo de los mismos actores (gráfica 21). El IPC C23C14 es para el revestimiento por evaporación al vacío, por pulverización catódica o por implantación iónica del material formador de revestimiento.

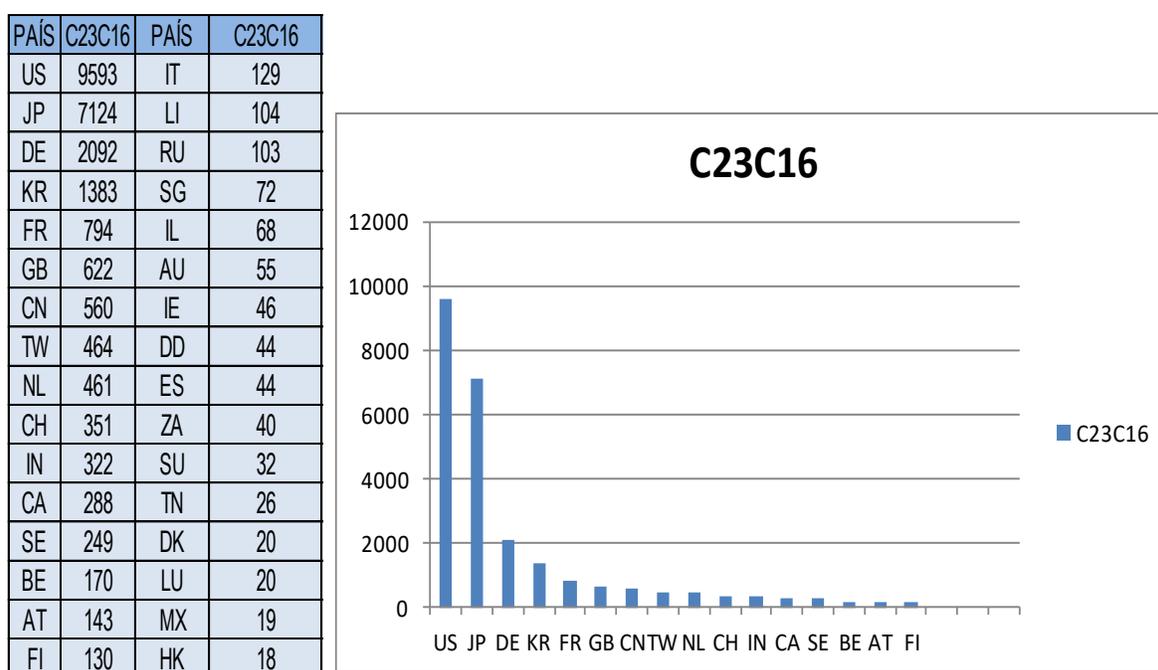
Gráfica 21. Campo tecnológico C23C14 por país (1944-2008).



Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

La gráfica 22 muestra el IPC C23C16, que es para revestimientos químicos por descomposición de compuestos gaseosos, sin dejar productos de reacción de material superficial en el revestimiento, es decir, procesos de deposición química en fase vapor (CVD). México aparece entre los países con mayor número de publicaciones en nanotecnologías de las tecnologías fotovoltaicas de película delgada, las cuales comienzan a desarrollarse a partir de la década del noventa (Guo et al., 2010). Sin embargo, su producción de patentes es poca (19), como se observa en la tabla de la grafica 22.

Gráfica 22. Campo tecnológico C23C16 por país (1944-2008).



Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

La competencia por el silicio con la industria de la microelectrónica ha llevado al sector al desarrollo de paneles solares con otros tipos de materiales semiconductores y componentes químicos orgánicos. Aunque su rendimiento real no supera a las celdas solares a base de silicio, las celdas solares de tercera generación o de compuestos orgánicos están basadas en materiales poliméricos, semiconductores cristalinos (QDs) y nano-estructuras a base de carbono, que presentan ventajas por sus propiedades ópticas, eléctricas y químicas, que superan a las generaciones anteriores. Entre ellas se encuentran las celdas solares

sensibilizadas por colorante (DSSC) y óxido de titanio (TiO₂) con una eficiencia del 11%, cuyo sistema químico fotoeléctrico se asemeja al proceso de fotosíntesis, ya que operan a base de materiales de pigmentos que absorben la luz. Las celdas solares orgánicas de película delgada (OTSC) tienen como base materiales semiconductores orgánicos. Sus nano-capas de material semiconductor puede aplicarse sobre superficies de vidrio, hojas metálicas flexibles y polímeros para altas temperaturas (Castonguay, 2009; Razykov et al., 2011; Bahrami, Mohammadnejad, & Soleimaninezhad, 2013).

Tabla 24. Principales áreas de investigación científica en celdas solares orgánicas y celdas sensibilizadas por colorante.

Celdas solares orgánicas			Celdas solares sensibilizadas por colorante		
Áreas de investigación	Registros	% de 24,834	Áreas de investigación	Registros	% de 16,534
Ciencia de los materiales	11817	47.584	Química	9280	56.127
Química	11775	47.415	Ciencia de los materiales	7060	42.700
Física	10615	42.744	Física	4700	28.426
Tecnología científica	5047	20.323	Tecnología científica	3092	18.701
Combustibles energéticos	3484	14.029	Combustibles energéticos	2353	14.231
Ingeniería	2138	8.609	Electroquímica	1654	10.004
Ciencia de polímeros	1999	8.049	Ingeniería	1431	8.655
Óptica	1263	5.086	Óptica	524	3.169
Electroquímica	605	2.436	Ciencia de polímeros	339	2.050
Ciencias medio ambientales ecológicas	452	1.820	Ciencias medio ambientales ecológicas	262	1.585

Fuente: Elaboración propia con datos de Derwente (2016).

La tabla 24 muestra que la ciencia de los materiales sigue en un lugar prioritario junto a la química, pero comienzan a posicionarse la electroquímica y las ciencias medio ambientales ecológicas. Entre las ventajas que presentan las celdas sensibilizadas por colorante se encuentra que están hechas de materiales de bajo costo, cuya calidad permite aumentar la producción eléctrica, son de fácil procesamiento, tienen flexibilidad mecánica y no compiten con la industria de la microelectrónica por el silicio. Sin embargo, las celdas de tercera generación comparadas con las celdas de silicio, tienen una vida más corta y una eficiencia más baja, por lo cual aun se encuentran en desarrollo y no han llegado a la etapa de comercialización (Guo, Xu, Huang & Porter, 2012; Choe et al., 2016). Es probable que en un futuro cercano lleguen a los mercados, debido a que los países más posicionados en el sector fotovoltaico que lideran la I+D de celdas sensibilizadas por colorante también dominan el mercado, los cuales son Japón, China, Estados Unidos y Taiwán (tabla 25).

Tabla 25. Ranking de países en áreas de investigación científica en celdas tercera generación.

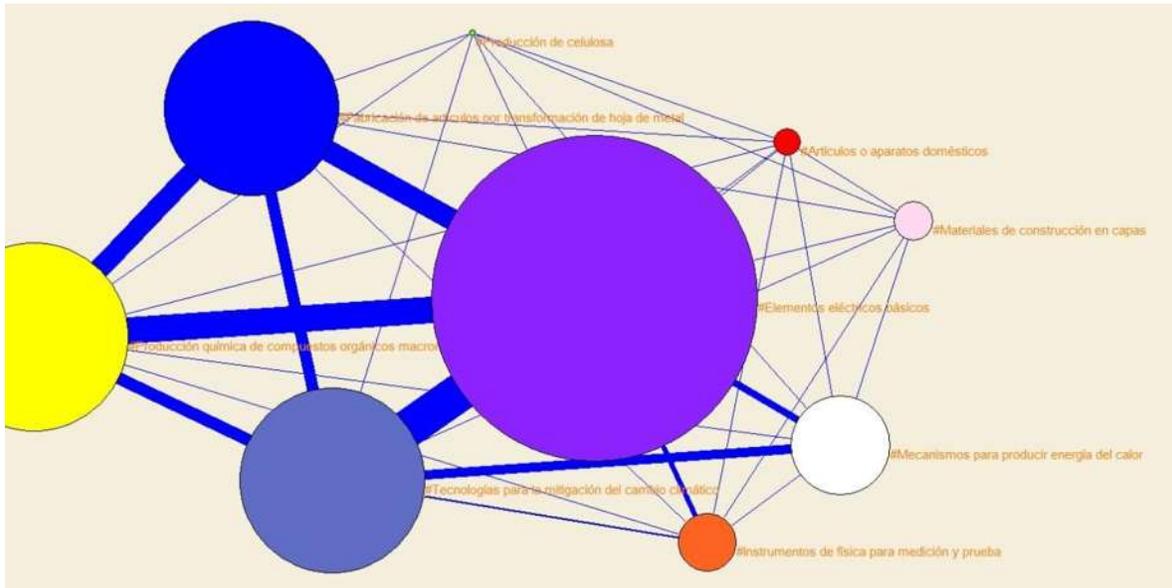
Celdas solares orgánicas				Celdas solares sensibilizadas por colorante			
	Países/Territorios	registros	% de 24,834	Países/Territorios	registros	% de 16,534	
1	China	5423	21.837	1	China	4798	29.019
2	Estados Unidos	5126	20.641	2	Corea del Sur	2083	12.598
3	Corea del Sur	2549	10.264	3	Estados Unidos	1970	11.915
4	Japón	2335	9.402	4	Japón	1772	10.717
5	Alemania	2232	8.988	5	Taiwán	1214	7.342
6	Inglaterra	1245	5.013	6	India	1132	6.846
7	Taiwán	1243	5.005	7	Suiza	703	4.252
8	India	1128	4.542	8	Alemania	631	3.816
9	Francia	991	3.990	9	Italia	550	3.326
10	Italia	787	3.169	10	Inglaterra	549	3.320

Fuente: Elaboración propia con datos de WoS (2016).

Dado que las celdas de tercera generación no tienen como condición tener trayectoria tecnológica en la industria de semiconductores, se puede observar la presencia de China, que posee pocas patentes en la primera generación de paneles pero es el líder en la publicación de artículos científicos. También se observa el posicionamiento de Corea del Sur y de Taiwán dentro de los 10 países con mayor producción de artículos científicos. En la tercera generación de celdas solares, las celdas sensibilizadas por colorante son las más conocidas, las cuales emulan el proceso de fotosíntesis para la obtención de energía.

En la red de campos del conocimiento se puede ver que, aunque los elementos eléctricos básicos siguen conformando el vértice más grande de los IPCs de las celdas de tercera generación, la química inorgánica cobra relevancia, junto a la química de compuestos orgánicos macromoleculares (grafo 10). En las celdas sensibilizadas por colorante es de crucial importancia dominar la física de semiconductores, así como tener conocimiento en nanomateriales, en moléculas que absorben la luz solar y en electroquímica para comprender los procesos de transporte de carga. Por su parte, las celdas orgánicas se componen de semiconductores orgánicos o polímeros, que actúan de manera similar a los semiconductores con silicio o germanio.

Grafo 10. IPCs que conforman las celdas de tercera generación (2004-2016).



Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

La innovación es un proceso co-evolutivo que implica la red de agentes que interactúan mediados por instituciones en un área tecnológica específica para producir, difundir y utilizar conocimiento tecnológico dinámico (Laranja et al., 2008; Geels, 2004). En el caso del sector FV es evidente que el cambio de la PI no favoreció a los países que no han evolucionado en su trayectoria tecnológica. Son los agentes con perfiles de conocimiento (Shin & Kook, 2014) en tecnologías FV los que han evolucionado para adaptarse al cambio de la estructura del conocimiento. Las disparidades en los perfiles de conocimiento de los países generan que la distribución de conocimiento no sea sido uniforme a través de la red, por lo cual los países en desarrollo no se benefician. De hecho, son los países desarrollados los que se ven favorecidos con la escasa producción de conocimiento de los países en desarrollo, ya que éstos tienen capacidades de innovación para aplicar ese conocimiento.

El sector FV, visto desde la complejidad como un sistemas adaptativo complejo (Mitchell, 2014), muestra un cambio en sus estructuras de flujos de conocimiento, de producción de conocimiento y de colaboraciones cognitivas como resultado de la interacción de diferentes políticas de impulso al sector, cambios legislativos en la PI y las trayectorias de dependencia de los países involucrados. Así mismo, la dinámica de la red de conocimiento

ha cambiado demandando capacidades y nuevo conocimiento en áreas que posibiliten superar los desafíos técnicos. Estos cambios fueron gatillados por variaciones en un ambiente caracterizado por el calentamiento global, el agotamiento de los combustibles fósiles, la búsqueda de la sustentabilidad y la economía del conocimiento. Todo esto genera un comportamiento emergente a nivel de todo el sistema, donde las trayectorias de dependencia de los países actúan como ciclos de realimentación reforzando las disparidades cognitivas entre países.

Tabla 26. IPCs que conforman las celdas de tercera generación (2004-2016).

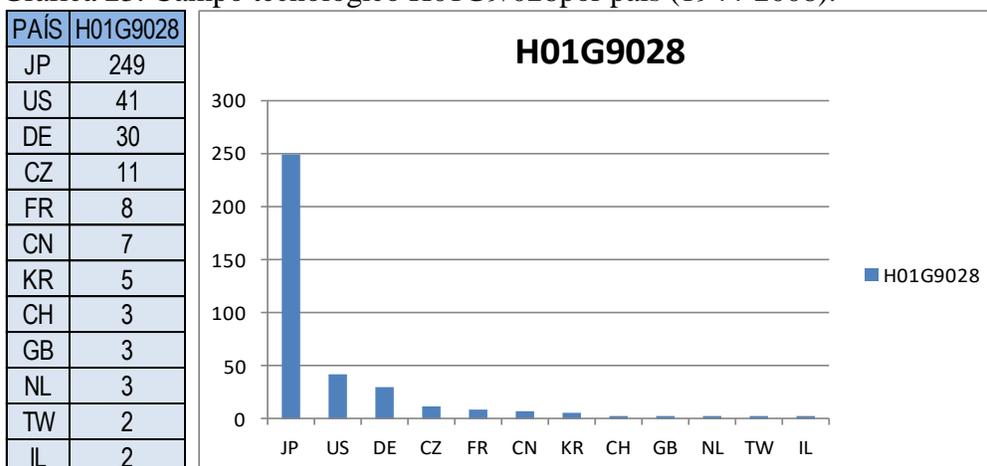
Rango	Vértice	Valor	Especialidad
1	79	328.506	Elementos eléctricos básicos
2	84	49.509	Tecnologías para la mitigación del cambio climático
3	85	30.620	Nuevos desarrollos tecnológicos con secciones transversales que abarcan varios IPC
4	9	28.586	Metalurgia de polvos y fundición
5	33	27.023	Producción química de compuestos orgánicos macromoleculares
6	34	25.864	Composiciones y aplicaciones diversas de materiales químicos (tintes, pinturas, adhesivos)
7	10	24.858	Productos integrados por varias capas
8	57	21.767	Mecanismos para producir energía del calor
9	81	20.397	Generación, conversión y distribución de energía eléctrica
10	40	19.613	Química inorgánica

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Aunque las redes de campos tecnológicos han evolucionado demandando conocimientos en nuevas áreas como la química orgánica e inorgánica, la base de todas las generaciones sigue siendo la eléctrica y la electrónica (tabla 28). De ahí que los países con trayectorias en esa área sean los que evolucionan y se adaptan. Respecto a la tercera generación tecnológica de celdas FV, uno de los IPC principales es el H01G9/028, que se refiere a electrolitos semiconductores orgánicos (gráfica 23).

Los países que figura son Japón, Estados Unidos y Alemania, que son los países con la mayor capacidad instalada y más capacidades tecnológicas. Aunque China tiene una alta producción en artículos científicos en esta generación de celdas, tiene pocas patentes. Esto podría deberse a que aun no ha logrado cerrar la brecha tecnológica y aun depende de la importación de materia prima y equipos de producción, por lo cual no puede competir en materiales clave con las compañías occidentales, las cuales tienen mayores capacidades tecnológicas (SolarPower Europe, 2014).

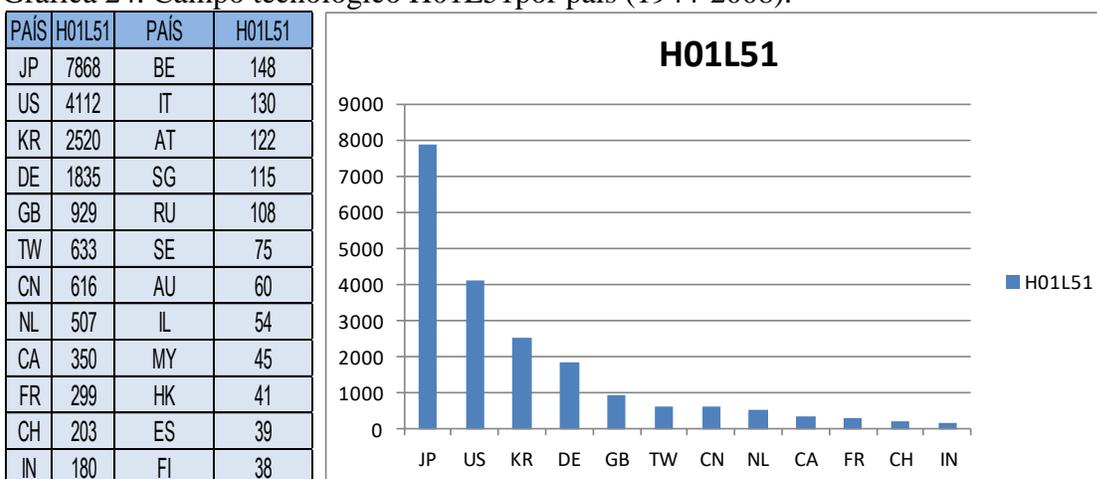
Gráfica 23. Campo tecnológico H01G9/028 por país (1944-2008).



Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

Las citas a patentes externas de Corea, Taiwán y China superan las citas a patentes internas, lo cual los coloca como países seguidores e indica un cambio de la vía de la imitación a la innovación. Aunque esto muestran su capacidad de absorción, también es un indicio de dependencia tecnológica (Wua & Mathews, 2012; Watanabe et al., 2000). El IPC H01L51 es para clasificar dispositivos de estado sólido que utilizan materiales orgánicos como parte activa o que utilizan una combinación de materiales orgánicos con otros materiales. Corea y Taiwán se encuentran mejor posicionados en este IPC (gráfica 24).

Gráfica 24. Campo tecnológico H01L51 por país (1944-2008).



Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

En las tres generaciones predominan los CPC/IPC referidos a elementos eléctricos básicos, lo cual indica que los países con trayectoria en la industria de semiconductores mantienen el liderazgo. La primera generación se caracteriza por la fuerte interacción de las tecnologías de semiconductores y la metalurgia. Aunque en la segunda generación esta interacción entre campos tecnológicos prevalece, aparece la interacción con la química inorgánica y la composición de materiales químicos. Esta mismas relaciones entre campos tecnológicos se da en la tercera generación, pero en las celdas 3G se posiciona la producción química de compuestos orgánicos macromoleculares. La evolución de las redes de los CPC y las posiciones de los países, en cuanto a la producción de artículos científicos y de patentes, muestra que los países más favorecidos por el ADPIC son los mismos que tienen capacidad de innovación en el sector: Estados Unidos, Alemania, Japón, China, Corea y Taiwán.

Desde el año 2000, el número de patentes en tecnología solar fotovoltaica creció un 400%, lo cual es notable en comparación con la tasa promedio de 60% en otros sectores (Xiao-Ping Lei et al., 2013). Estados Unidos, Japón y Alemania lideran la investigación y el registro de patentes, las cuales en su mayoría pertenecen al sector privado. Los estudios muestran que el número de patentes y el tamaño de mercado están altamente relacionados (Choe et al., 2016). De ahí que la extensión territorial para la protección de una patente se base en la localización de los principales mercados: Estados Unidos, Europa, Alemania, China, Corea del Sur y Taiwán (FRINNOV, 2009).

Las relaciones entre países por flujos de conocimiento o colaboraciones forman una estructura, cuyos patrones pueden ser descritos y analizados a través de su historia, pues no es posible hablar de un sistema social complejo en un punto determinado del espacio-tiempo. Aunque las redes que aquí se presentan son radiografías tomadas en determinados punto en el tiempo, las estructuras de las redes mapeadas abarcan dos periodos de tiempos que posibilitan un acercamiento a la dinámica evolutiva caracterizada por flujos de intercambio de información, que implican la adaptación continua a nuevo conocimiento. Este intercambio de información estuvo mediado por mecanismos de regulación basados en reglas, normas y un sistema legal para crear un marco de actuación y cierto orden a través

del ADPIC. Este marco ha fungido como una estrategia más eficiente de adaptación para los países desarrollados, lo cual no implica que en el largo plazo genere resultados favorables para todo el sistema global de innovación. Las propiedades emergentes (Flache, 2014) de este grupo de países desarrollados se generan como resultado de patrones de agrupamiento, que se basan en la homogeneidad de sus perfiles de conocimiento y a la vez en la diversidad a nivel general.

La evolución muestra que la capacidad competitiva, definida como la capacidad de adquirir recursos en competencia con los demás, es un determinante importante del éxito de los organismos. Sin embargo, una mayor inversión en la competitividad puede aumentar la probabilidad de adquirir un recurso de alta calidad, pero al mismo tiempo reducir la capacidad de explotar el recurso adquirido con la máxima eficiencia (Weissing, 2014; Hoogduin, 2014). Es necesario cuestionar si las estructuras actuales en el sector FV posibilitan explotar con la máxima eficiencia un recurso que depende de una situación geográfica.

Capítulo 5. Ejes estratégicos para una política pública de desarrollo del sector solar fotovoltaico

" La generación de energía podría ser mucho más eficientemente organizada como un procomún, en lugar de como una mercancía"

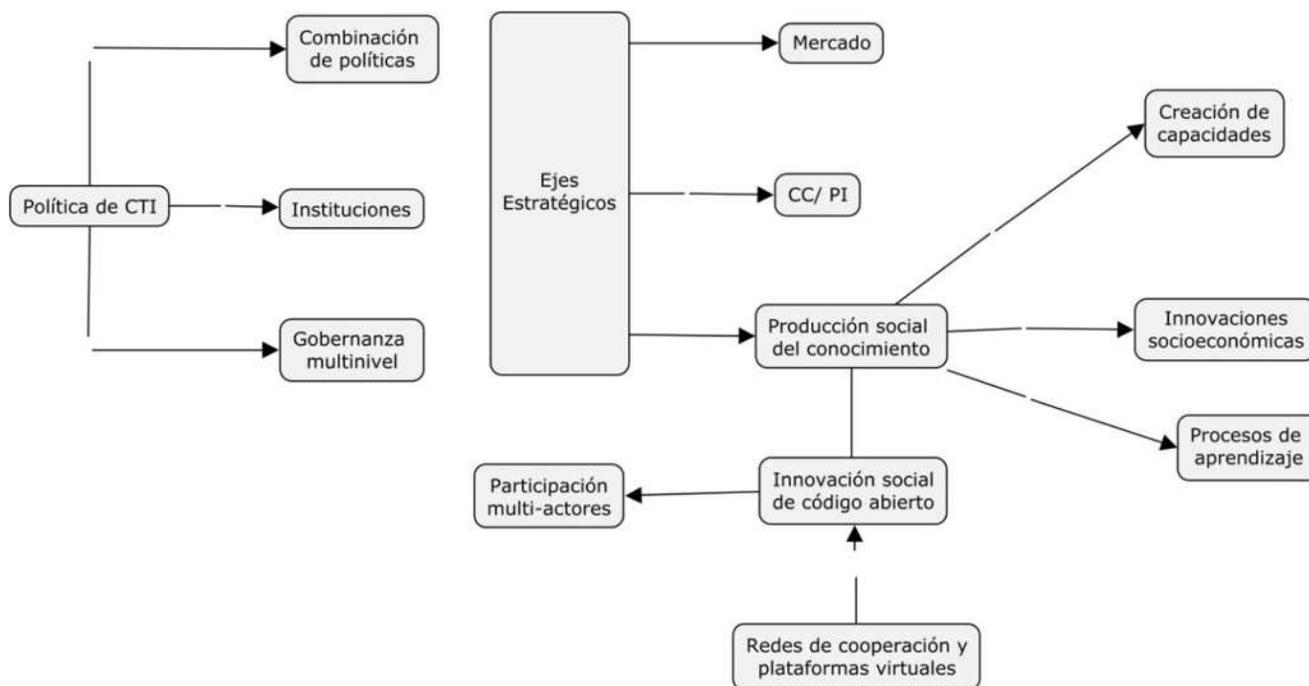
FLOK Society (2016)¹⁹

La transición hacia fuentes de energías renovables es apremiante para mitigar los efectos del cambio climático y reducir la pobreza energética. Sin embargo, este objetivo plantea desafíos de índole técnica, económica, política e institucional al sector fotovoltaico. Estos retos exigen incrementar la competitividad económica en cuanto al precio, mejorar el desempeño y expandir la capacidad de almacenamiento (Buitenhuis & Pearce, 2012). Recientemente se ha agregado a estos desafíos el problema de la comoditización de los paneles, que es provocado por un conflicto entre la innovación y el mercado. Dado que la lógica del mercado se orienta a buscar incrementos ganancias bajando el costo, las innovaciones tecnológicas dirigidas a mejorar la calidad pasan a segundo plano. Empero, las innovaciones son cruciales para generar impactos económicos, sociales y ambientales y lograr la transición hacia la sustentabilidad energética (Newfield, 2013).

El desarrollo de las tecnologías solares fotovoltaicas demanda cambios en múltiples aristas que atraviesan el sector. Por ello, es necesario visualizar algunos ejes estratégicos de una política pública de desarrollo (ver mapa 6.1). Los ejes que se abordarán a lo largo de este apartado tienen como fin constituir líneas maestras de intervención sistemática, para generar planes y programas de acción que atiendan los desafíos centrales. Estos ejes se consideran estratégicos porque tiene como fin aprovechar las oportunidades, neutralizar las amenazas, potenciar las fortalezas de los actores y superar sus debilidades. Las directrices que aquí se señalan pretenden responder a las exigencias de un entorno que cambia a un ritmo vertiginoso como resultado de una economía basada en el conocimiento.

¹⁹ FLOK (Free/Libre Open Knowledge Society), es un proyecto construido por investigadores de todo el mundo para cambiar la matriz productiva a partir de una Economía Social del Conocimiento. Sitio web: <http://flokociety.org/>

Mapa 2. Ejes estratégicos para una política pública de desarrollo del sector solar fotovoltaico.



Fuente: Elaboración propia en Cmaptools (2017).

Los ejes estratégicos enmarcados en el mapa conceptual no obedecen a una racionalidad específica (neoclásica o evolucionista) de las políticas de CTI, sino que combinan instrumentos de ambas, ya que en la práctica éstas son complementarias más que mutuamente excluyentes. Es necesario un conjunto diversificado de políticas que funja como un portafolio dinámico dirigido por los diferentes ejes estratégicos. Estos ejes deberán converger en su enfoque hacia los procesos de conocimiento e innovación, haciendo énfasis en la perspectiva regional, ya que la dinámica del conocimiento no está limitada a los espacios geográficamente establecidos. Esto implica que los cambios institucionales deberán desarrollarse en los diferentes niveles territoriales (Laranja et al., 2008).

Dado que la innovación se ha globalizado, deben concebirse los procesos integrando y coordinando los diferentes niveles de gobierno (local, nacional, regional, global), es decir, las políticas de CTI deben ser multinivel, de forma que los diferentes niveles administrativos interactúen. De esta manera, el diseño y la evaluación será un proceso de

abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo, abarcando los subsistema de instituciones, actores y agrupaciones. El fin es transitar hacia un pensamiento sistémico concibiendo la complejidad de la política de innovación desde al menos dos dimensiones: mezcla de políticas y gobernanza multinivel (Magro & Wilson, 2013).

En este marco, se propone diseñar una combinación de políticas de manera que se obtengan los resultados que persigue la perspectivas de libre mercado, que es identificada con el capitalismo emprendedor de las pequeñas empresas innovadoras, así como la del Estado de desarrollo que persigue el bienestar social, obteniendo así un "mercado social" (Dodgson et al., 2011). Hasta ahora, han imperado las políticas diseñadas desde las teorías schumpeterianas, cuyos modelos se basan en el mercado/sector privado y no en la acción colectiva/ innovación social. Debido a ello, el apoyo público se ha limitado a etapas tempranas de desarrollo tecnológico. Sin embargo, la fragilidad económica de las tecnologías emergentes requiere el apoyo de organismos gubernamentales y el fomento de las prácticas no mercantiles (Newfield, 2013; Singh, Alapatt, & Lakhtakia, 2013).

Basar los modelo de innovación exclusivamente en las ideas schumpeterianas implica privilegiar el papel de los agentes económicos de mercado e invisibilizar a otros actores y factores sociales. Así mismo, en esta lógica los mercados son el principal mecanismo de selección, por lo cual las tecnologías deben sobrevivir en el mercado sin apoyo de los gobiernos (incentivos fiscales, programas de adquisiciones, créditos para la producción, tarifas de alimentación, etc.) (Newfield, 2013). En este sentido, se debe dotar a la política de CTI de una racionalidad distinta a la de conseguir exclusivamente la competitividad, introduciendo una visión que reconozca el carácter social complejo de los procesos producción, difusión y aplicación del conocimiento (Albornoz, 1997).

La perspectiva de la complejidad resalta la heterogeneidad de los elementos, en este caso, de los subsistemas nacionales de innovación, por lo tanto, es menester enfatizar que no hay una vía única de innovación que todos los países en vías de desarrollo deban imitar. Más bien, la gran diversidad demanda el diseño de políticas desde el pensamiento sistémico para lograr las sinergia global, lo cual incluye considerar que los procesos de aprendizaje

dependen de los contextos socioeconómicos y políticos. Construir un modelo distinto de innovación implica reconocer que las brechas científico-tecnológicas y las grandes diferencias en las capacidades no se cerrarán siguiendo los modelos de políticas de los países desarrollados. Considerar que se debe invertir en I+D para innovar equivale a caer en una concepción lineal y limitada del conocimiento, cuya dinámica es compleja.

La gran mayoría de las economías latinoamericanas son impulsadas por factor y la innovación de procesos se basa en la compra de equipamiento producido en otros sectores. En cambio, los países desarrollados tienen economías impulsadas por la innovación basada en la I+D (Veenstra, 2014). Por ellos, podría ser más conveniente para América Latina centrarse en el desarrollo y fortalecimiento de capacidades para la innovación y en los procesos de aprendizaje, ambos desde la innovación social. Este desarrollo implica superar la falta de TIC, la formación precaria que impide la absorción y aplicación del conocimiento, las restricciones que impone la propiedad intelectual y la competencia por fondos de investigación que impide la colaboración científica (Forero, 2005).

Considerar las desventajas y las brechas de los países en desarrollo permitirá conseguir en el mediano plazo las ventajas dinámicas que ofrece el conocimiento como producto de un proceso social global. Las vinculaciones nacionales e internacionales para la cooperación deben ser uno de los principales objetivos de la política de CTI. Esto posibilitará transitar del enfoque de fallos de mercado al pensamiento de los sistemas evolutivos complejos, lo cual no implica negar que los mercados fallan, sino abordar la complejidad de los sistemas de innovación, cuyo éxito depende del grado de conectividad de las redes, de sus instituciones, de su capacidad de organización y adaptación, así como de su habilidad para transformar el nuevo conocimiento en innovaciones que mejoren el sistema económico y social (Dodgson et al., 2011).

Aunque la complejidad hace énfasis en la dinámica auto-organizada de los sistemas, cuyo resultado escapa a toda intervención humana, una gobernanza global de conocimiento puede generar las condiciones para que el orden que emerja favorezca la innovación colaborativa. La innovación colaborativa debe partir de considerar la heterogeneidad en las

capacidades de los actores para recibir, absorber y aplicar conocimiento en términos técnicos y materiales. La tecnología tiene como prerequisite para su difusión conocimientos técnicos y, dado que la producción de nuevo conocimiento es de carácter colectivo, es necesario procurar los conocimientos previos necesarios a los actores implicados. Como bien señala Merges (2004), la política de CTI que es viable en un país depende del conocimiento y capacidades que ya tienen.

La naturaleza acumulativa, no-excluyente y no-rival del conocimiento sugiere soluciones que no estén basadas exclusivamente en el mercado, lo cual permitirá lograr la eficiencia social. La innovación es resultado de los cambios en el conocimiento humano y de la interacción de una gran variedad de procesos que no se reducen a los mecanismos de mercado (Dodgson et al., 2011). Por ello, son necesarias las políticas que reconozcan esta diversidad de mecanismos y fomenten la interconectividad entre los diferentes elementos del sistema de innovación con un enfoque flexible multi-escala (Laranja et al., 2008). Estos ejes básicamente proponen estrategias de innovación abierta partiendo de la propuesta de Chesbrough (2003) y enriqueciéndola con algunos elementos empíricos de países que han explorado vías de innovación alternativas.

La propuesta de innovación abierta ha sido potenciada desde el enfoque de la triple hélice, que enfatiza los mecanismos emergentes de coordinación de la producción de conocimiento. Así mismo, señala que el mercado y las instituciones políticas no son los únicos mecanismos de coordinación y selección, sino que el mercado contiene relaciones de retroalimentación con las capacidades tecnológicas, que ocasionan perturbaciones del equilibrio. Dado que no existe el equilibrio, se habla de transiciones y desarrollo dependientes de las trayectorias tecnológicas, las cuales transforman endógenamente las relaciones institucionales. Los límites al crecimiento del sistema están dados por la capacidad de una red: número de nodos y sus comunicaciones. La manera de aumentar su capacidad es a través de mejorar la infraestructura de las comunicaciones, tanto en canales como en diferenciación (Leydesdorff & Ivanova, 2016).

La innovación abierta plantea ir más allá de los límites internos de las firmas a través de la cooperación con actores externos para combinar el conocimiento interno con el externo de manera estratégica y obtener las ventajas que ofrece la inteligencia colectiva. Esto implica pasar de la innovación cerrada, que se vale únicamente de los recursos tangibles e intangibles de la firma, a proyectos conjuntos que incorporen fases intermedias del proceso de innovación (Chesbrough, 2003). Si esta colaboración se piensa a nivel internacional aumentan de manera significativa las posibilidades de reducir riesgos. Así mismo, incrementa la transferencia de conocimiento tácito y la formación de canales de comunicación, reduciendo el aislamiento tecnológico y las divergencias tecnológicas (Montobbio, Primi, & Sterzi, 2015).

La innovación conjunta entre universidad-industria-gobierno ya ha sido contemplada como una forma de incrementar las capacidades de los actores y resolver problemas de manera eficiente (Sugandhavanija et al., 2011). Sin embargo, los países con mayor capacidad instalada muestran que no se deben dejar de lado otros actores. Tal es el caso de Alemania, que no sólo ha desarrollado prácticas basadas en la inversión pública debido a que el sector fotovoltaico crea incalculable valor social, también ha generado mecanismo embrionarios de posmercado. Estos procesos mezclan la formación de mercados con una amplia participación igualitaria de todos los actores para implementar y mejorar la tecnología (partidos políticos, ONGs, prosumidores, científicos y emprendedores). La transición tecnológica se considera posible sólo bajo un esquema de amplia participación en las innovaciones, porque el desarrollo está embebido en las prácticas de consumo de energía renovable local y los proyectos integradores municipales que promueven la adopción (Newfield, 2013).

La propuesta de redes multi-actores implica ir más allá de la triada industria, universidad y gobierno. La formación de nuevos mercados y los cambios en la cultura de consumo contemplan el rol de las organizaciones no gubernamentales o el tercer sector, que funcionan como actores de intermediación entre los actores públicos, privadas y académicos, haciendo circular recursos tangibles e intangibles, generando alianzas estratégicas y haciendo innovación social. La llamada cuádruple hélice explica la innovación como resultado de la

interacción entre el gobierno, las universidades, la industria y la sociedad civil (Trousset, 2014). Las redes de colaboración funcionan como redes de aprendizaje y facilitan un rápido desarrollo tecnológico a través de la innovación abierta y la democratización de la innovación (Martin, 2012).

A este tipo de redes, otros aportes empíricos derivados del desarrollo de energías renovables como la Wind Empowerment Association y la Red de Biodigestores para América Latina y el Caribe, agregan hacer énfasis en la conexión de todas las organizaciones implicadas en el desarrollo a nivel mundial para promover la I+D colaborativa, compartir experiencias y estrategias de implementación, así como el intercambio de información para superar barreras técnicas, económicas, sociales y ambientales. Estos organismos funcionan como una plataforma para el intercambio de conocimiento y la promoción de acciones políticas para el desarrollo e implementación de la tecnología a través del uso de sistemas de producción compartidos y de la propiedad colectiva. A través de los llamados "proyectos de energía distribuida", basados en el amplio uso de las tecnologías de código abierto, posibilitan que la comunidad participe en el diseño y desarrollo, mejorando rápidamente el rendimiento y reduciendo costos de producción (Dafermos, 2015).

Este tipo de innovación es posible a nivel global a través de la gestión de contenidos en línea a través de una red de organización virtual del conocimiento común, que facilite sobrepasar los límites organizacionales. Las organizaciones virtuales de conocimiento (OVC) generan mecanismos eficientes de búsqueda y acceso al conocimiento, facilitando el proceso de transferencia. Una OVC hace factible la co-creación de solicitantes y proveedores de conocimiento, dotándolos de espacios de interacción y almacenamiento de datos de patrimonio común, ofreciendo recursos de conocimiento para la solución de problemas en forma descentralizada²⁰. Dado que los investigadores se enfrentan a desafíos planteados por los límites de su conocimiento específico, una OVC puede integrar diversas áreas del

²⁰ Un ejemplo de OVC es la "Red de Redes (N2)", una iniciativa nacional canadiense que integra 29 organizaciones virtuales existentes, para mejorar la capacidad y habilidad de investigación de enfermedades en Canadá (Shin & Kook, 2014), cuyos sitios web están equipados con funciones de intercambio de conocimientos: <http://n2canada.ca/>

conocimiento distribuida en dominios (Shin & Kook, 2014). Este tipo de plataformas de código abierto tienen ventajas que ya han sido demostradas por el éxito de la industria del software libre, donde la cultura del don de la comunidad hacker ha impulsado el desarrollo del sistema. La participación del usuario como desarrollador, posibilita adecuar la tecnología a las necesidades de contextos específicos, la red de innovadores con información distinta se amplía, los costos en I+D decrecen, se acelera la adopción de la tecnología, aumenta la velocidad de las innovaciones y bajan las barreras de entrada al mercado. Esto implica re-conceptualizar la innovación, los espacios, los mecanismos de intercambio y los roles de los actores, de manera que todos los sectores se involucren²¹ (Buitenhuis & Pearce, 2012).

Para garantizar la alimentación de la plataforma, se puede seguir una política similar a la del acceso abierto mundial que requiere el depósito en repositorios de todos los artículos de investigación producidos con fondos públicos. De esta forma los beneficios socioeconómicos de la producción del conocimiento se hacen extensivos a toda la sociedad y se fomenta la transferencia de tecnología. Con este fin las leyes de ciencia y tecnología deben legislar sobre la difusión en acceso abierto, impulsando el desarrollo de una plataforma con repositorios compartidos conectados a nivel internacional (Bernal, 2012), los cuales contendrían tanto publicaciones científicas como el diseño de modelos de hardware abierto, o sea, diseños, especificaciones, materiales y conocimiento técnico (Buitenhuis & Pearce, 2012).

Este tipo de innovación alternativa ya existe de manera embrionaria en Atenas y se basa en la lógica de la energía distribuida a través del hardware de código abierto²², la cual se relaciona con el diseño, generación, desarrollo y fabricación a pequeña escala de energías

²¹ Un ejemplo es <http://openresearch.org> que ha sido fundada por varios actores.

²² El grupo de investigación en electrificación rural (RurERG), que es parte de la unidad de investigación en redes inteligentes (Smart Rue) de la Universidad Nacional de Atenas (NTUA), ha evaluado el uso de los manuales de diseño del aerogenerador Hugh Piggot fabricados localmente, en el marco de un proceso de validación del uso de hardware abierto (Open Source Hardware, OSHW) y energías renovables para la electrificación rural (Dafermos, 2015): <https://openFV.nrel.gov/index>; <http://www.opensource-solar.org/>; <http://openenergymonitor.org/emon/>; <http://www.appropedia.org/Category:MOST>; <https://www.youtube.com/watch?v=doDQh6SScvY>; http://www.mouser.es/publicrelations_techarticle_howopenisoshw_2015final/; <http://www.oshwa.org/sharing-best-practices/buenas-practicas-para-el-hardware-de-fuentes-abiertas/>

renovables para la electrificación rural, próxima al consumidor y a través de redes inteligentes de investigación. La tendencia mundial de "hágalo usted mismo" ha convertido en un éxito los manuales de diseño del aerogenerador Hugh Piggot, posibilitando su fabricación para la electrificación rural en países en vías de desarrollo (Dafermos, 2015). Para hacer factible a nivel global un modelo de esta naturaleza, los ejes estratégicos de una política pública deben tener como visión la construcción e integración de infraestructuras, información, incentivos económicos, reglamentación, canales de comunicación, difusión y alineación de las organizaciones con poder decisorio prestación de servicios, así como los fondos dedicados a financiar el proyecto (Abadal, 2012).

El quehacer de un proyecto de esta índole no se puede dejar a cargo sólo de los gobiernos, quienes se enfrentan a la racionalidad y recursos limitados. La transformación del sistema de innovación requiere la reconfiguración de la estructura de una amplia gama de instituciones y actores, así como la experimentación y el aprendizaje de nuevas políticas incluyentes. Esto permitirá la formulación y selección de instrumentos de política apropiados para coordinar las interacciones dinámicas entre los diversos componentes del sistema (Laranja et al., 2008). Sin duda esto implica revisar la dimensión política del conocimiento como recurso clave de la economía, analizando las instituciones implicadas en su gestión, para no reducir los instrumentos al logro del crecimiento económico y la competitividad, en detrimento de otras dimensiones de carácter social (Albornoz, 1997).

La dimensión política de los instrumentos de gestión del conocimiento implica moldear las instituciones de manera que éste deje de ser visto como una mera externalidad, haciendo énfasis en los procesos de aprendizaje a través de la cooperación (Laranja et al., 2008). Esto no se traduce en la desaparición de los derechos de propiedad intelectual, sino en la determinación del nivel de fortalecimiento adecuado a la capacidad de innovación de cada territorio, la conformación de los mercados internos y la posición estructural de cada país en el mercado global. Por lo tanto, en los países en desarrollo, que se ven afectados negativamente con el fortalecimiento de los DPI, los gobiernos deben favorecer el debilitamiento y considerar otros esquemas para facilitar la reducción de la brecha tecnológica (Kyungchul et al., 2015). Esta reconfiguración del régimen de propiedad

intelectual requiere de leyes y acuerdos contruidos con pericia técnica, comercial y legal para reducir la incertidumbre y el riesgo, llegando a instrumentos legales justos (Sugandhavanija et al., 2011). El hecho de que los DPI más fuertes hayan mostrado ser desfavorables para los países en desarrollo sugiere la exploración de otros regímenes combinados, para disponer de manera paralela de un sistema de patente y de un sistema de licencias de código abierto, dotando de flexibilidad a los DPI (Merges, 2004). El fin último de analizar la dimensión política del conocimiento desde la reconfiguración del régimen de los DPI es instrumentar a las políticas de CTI para que consideren la intersección de capacidades, oportunidades y restricciones en la gestión del conocimiento (Albornoz, 1997).

No es posible diseñar un sistema de DPI universal debido a las brechas tecnológicas y a las diferencias entre industrias, ya que los DPI más fuertes pueden favorecer algunos países y actores por el uso estratégico que les dan y afectar a otros (Kyungchul et al., 2015). Sin embargo, los países menos favorecidos pueden seguir la vía de la colaboración a través de plataformas de código abierto para fortalecer sus capacidades, fomentar la innovación, evitar las demandas por infracción de patentes y evitar la invasión de los mercados nacionales de energía. Se trata de adoptar una estrategia de innovación y de adquisición de capacidades tecnológicas distinta a la de los países desarrollados, fomentando el acceso y uso del conocimiento por parte de una población diversa, usando los ingresos fiscales de carbono para promover sistemas distribuidos de pequeña escala (Dafermos et al., 2015).

Más que cuestionar teorías y paradigmas existentes, se trata de aumentar el conjunto de entornos de experimentación para explorar vías de innovación alternativas de acuerdo a las especificidades geográficas y sociales de los países en desarrollo, superando el aislamiento a través de redes internacionales de colaboración intensiva (Forero-Pineda & Jaramillo-Salazar, 2002). De esta manera se articularán mercados sociales que hagan factible la transición energética y superen las restricciones impuestas por las patentes poseídas por las empresas multinacionales. Las metodologías de acceso abierto ofrecen una vía factible para resolver los conflictos energéticos. Esta vía ya ha sido planteada por los teóricos de la economía social del conocimiento, quienes argumentan que el crecimiento económico debe

considera los límites biofísicos como premisa y reorientar los objetivos de la economía para incluir a la sociedad y la naturaleza (Dafermos et al., 2015). Esta propuesta difiere del modelo de innovación abierta que conserva los DPI intactos y sólo plantea la transferencia tecnológica a través de "licencing-in o technology-in" y "licencing-out o technology-out" (Chesbrough, 2003). Se trata más bien de ofrecer mecanismos de regulación de bienes intelectuales comunes basados en modelos de licencias abiertas para la gestión colectiva en los entornos digitales. Esto desembocará en la formación de nuevos mercados, que serán producto de eliminar las distorsiones generadas por los monopolios del conocimiento y de una autogestión comercial orientada a agregar otros acuerdos, licencias o nuevas condiciones para la negociación directa de los derechos patrimoniales. La estructura regulativa-tecnológica emergente facilitará el desarrollo de redes distribuidas incluyentes, democratizando los medios de producción y favoreciendo la gestión comunitaria (Merges, 2004).

La propuesta tiene su referente en las licencias de Creative Commons, que ofrece simultáneamente una nueva estructura jurídico-política basada en lo público-privado y un entorno tecnológico orientado a los usuarios finales (Vercelli, 2009; Alperin, 2014). Los ejes se orientan principalmente a coadyuvar a que emerjan nuevas instituciones del conocimiento, las cuales sean el resultado de innovaciones sociales para ayudar a alinear intereses y a cooperar sin una coordinación central (Berg, 2014; Hoogduin, 2014). Aunque la propuesta no favorece a las empresas que ya están posicionadas en el sector FV, este problema se podría resolver delimitando el mercado geográficamente y considerando las ventajas de la ubicación basada en criterios de la cantidad de radiación solar del área geográfica en cuestión (Buitenhuis & Pearce, 2012).

Incluso las empresas que ya gozan de una posición privilegiada en el mercado global podrían verse beneficiadas si los productos que no están relacionados directamente con sus operaciones se liberan en código abierto. Al insertar a consumidores, gobiernos, universidades, proveedores clave y manufactureros en una cadena de investigación y colaboración crecería la capacidad de absorción, innovación y consumo de los participantes redundando en mercados de gran escala (Buitenhuis & Pearce, 2012).

Conclusiones y recomendaciones

El campo de la PI cuenta con numerosos estudios tendientes a demostrar sus costos y beneficios para los países desarrollados y en desarrollo, así como para algunos sectores tecnológicos. Pese a que en la actualidad se sabe que su efecto difiere entre países y sectores tecnológicos, aun faltan estudios que atiendan las especificidades de cada sector. Por ello, la presente investigación se enfocó en un sector poco analizado en materia de PI, el cual es de suma importancia para el desarrollo socioeconómicos internacional y la sustentabilidad. Los resultados muestran que el sector FV se vio favorecido por este régimen institucional sólo en los países con trayectorias tecnológicas en la industria de los semiconductores y con alto grado de desarrollo.

Los estudios que existen hasta el momento se enfocan en algún país, territorio o grupo de países en particular y se deja de lado la dinámica global del conocimiento en FV, mediada por la PI como institución relevante de la política de CTI. En un mundo complejo y globalizado, cuyo orden emerge como resultado de la interacción del todo, son necesarios análisis que ofrezcan un panorama mundial, ya que las capacidades y divergencias tecnológicas deben ser observadas desde una mirada estructural, para hacer visibles las formas de relacionarse de todos los actores mediados por el esquema de gobernanza global que es el ADPIC. En este sentido, la presente investigación se enfocó en un análisis estructural internacional haciendo evidentes las relaciones de dependencia del conocimiento entre países, las capacidades de absorción y las posiciones estructurales, así como la centralidad de Estados Unidos en el control del recurso.

El análisis también hizo notorio que los países en desarrollo no se beneficiaron de la transferencia de tecnología vía IED, que se esperaba con el ADPIC por el grado de formalización de los acuerdos de transferencia. Esto se debe a una falta de capacidad de absorción e innovación de los países en desarrollo y a que la PI coadyuva a acrecentar las brechas del conocimiento, así como a aumentar los costos de los procesos de aprendizaje. La observación de las propiedades de la estructura, desde el grado de entrada y salida de

conocimiento de los países, permitió detectar aquellos que se han visto favorecidos con el sistema de revelación de patentes, dejando al descubierto que las derramas de conocimiento sólo beneficiaron a los países que tienen capacidades tecnológicas en el sector.

Las tensiones jurídico-políticas y socio-económicas que plantea la PI entorno a una tecnología son fenómenos complejos y auto-organizados. Por ello, se hizo uso de la perspectiva de la complejidad, específicamente del ARS, con el fin de determinar el orden que emerge como resultado de los flujos de conocimiento internacionales, así como de las colaboraciones cognitivas. Aunado a la aplicación de bibliometría clásica, se pudieron obtener indicadores orientados a identificar regularidades en el flujo de conocimiento que revelaron el orden que se da a partir de un cambio legislativo. El fin último de las variables analizadas en esta investigación fue proporcionar datos que pueden ser utilizados para examinar las implicaciones socio-tecnológicas del ADPIC.

Los resultados obtenidos en general podrían ser un indicio de que la innovación, que está fuertemente ligada a los flujos de conocimiento y a las colaboraciones, no está directamente relacionada con la PI, aunque ésta sí tiene un impacto negativo para los países que carecen de capacidades tecnológicas y de innovación. Si bien es cierto que la PI es un marco legal favorable para los países desarrollados y con capacidades tecnológicas en FV, la evidencia empírica hace irrefutable que el desarrollo del sector se debió a una mezcla de políticas de apoyo a las energías renovables, donde la PI es sólo parte de un conjunto de instrumentos y medidas de política de CTI. En otras palabras, la PI por sí misma no es suficiente para incentivar la innovación, sólo es una de varias instituciones ampliamente utilizada de manera efectiva en países con economías del conocimiento y con entornos altamente competitivos.

La combinación de marcos teóricos sistémico-evolucionistas y de neoclásicos, desde una perspectiva incluyente, permitió observar el fenómeno como resultado de la praxis de las políticas de CTI, así como proponer líneas estratégicas mixtas e integrales. El hecho de observar la innovación en FV como un proceso co-evolutivo, que implica la red de agentes que interactúan mediados por la PI como principal institución reguladora de los procesos de

difusión, producción y utilización conocimiento tecnológico, hizo visible que ésta no favoreció a los países que no han evolucionado en su trayectoria tecnológica. Este resultado demuestra que el fortalecimiento y aplicación homogénea de los DPI a nivel mundial sin considerar las diferencias tecnológicas y socioeconómicas entre países, ni el tipo de tecnología en cuestión, fue una mala decisión en materia de CTI.

Esto no quiere decir que deban desaparecer los DPI por completo, sino que más bien el régimen debe ser reconsiderado observando la crítica a su fortalecimiento y aplicación homogénea para incentivar la innovación, ya que los países enfrentan diferentes costos y beneficios económicos dependiendo de su nivel de desarrollo industrial, económico y tecnológico. Debido a que la inmensa mayoría de la PI se crea en los países industrializados, el ADPIC creó reglas de juego globales en favor de esos países. Este resultado invita a repensar la importancia potencial de los DPI para los países en desarrollo de acuerdo a la intensidad relativa de su actividad tecnológica y a reconsiderar unos DPI más laxos para promover el aprendizaje y la difusión de conocimiento.

El declive global en las citas y producción de conocimiento a partir de las políticas de mercado es un indicio de que lo que realmente incentivó la innovación en FV fueron otras políticas de estímulo para el desarrollo del sector. Aunque es un hecho que el sistema de revelación de patentes hace disponible el conocimiento global, esto no ha resultado en el aumento de las capacidades de innovación de los países en desarrollo. De hecho, la difusión del conocimiento a través del sistema de patentes sólo benefició a los países desarrollados, los cuales son capaces de absorber más conocimiento y aumentar su aprendizaje. Es decir, sólo ocurre el aprendizaje y la absorción entre países con igualdad de capacidades, lo cual redundará en disparidades tecnológicas entre países y perpetúa las brechas de conocimiento.

La PI exagera la relación inversa entre apropiación y difusión del conocimiento, haciendo notorio que "los propietarios del conocimiento" son los que se benefician de tal institución. Para sobrepasar esta dicotomía del conocimiento es menester superar el bloqueo cognitivo o inercia que ha producido la institución de la PI, basada en el capitalismo o la propiedad privada, lo cual no permite lidiar con la naturaleza compleja del conocimiento, ni

contemplar otros esquemas institucionales para la gestión del conocimiento. Existen fenómenos embrionarios que demuestran que el código abierto, el acceso libre y la propiedad intelectual pueden ser combinados para lograr aprovechar los recursos con mayor eficiencia.

Finalmente, aunque la metodología utilizada permitió observar los flujos de conocimiento a nivel internacional, las colaboraciones y la producción de patentes de forma cuantitativa y visual, se requiere aplicar métodos más robusto para observar si ocurrió un cambio estructural en el comportamiento de las variables a través del tiempo como consecuencia de un cambio legislativo. Así mismo, esta investigación se basa en otros estudios para clasificar a los países como desarrollados o en desarrollo, pero queda pendiente abordar la correlación de los indicadores de desarrollo económico de los países con los flujos de conocimiento, los niveles de producción de las patentes y las colaboraciones cognitivas. Dado que tampoco se contrastan los indicadores de la economía basada en el conocimiento de los países con los flujos de conocimiento y la capacidad de absorción, ni se hace un análisis comparativo de los indicadores mundiales de propiedad intelectual, se recomiendan éstas como futuras líneas de investigación.

Los objetivos planteado en esta investigación se cumplieron mostrando que el ADPIC si tuvo un efecto positivo en las variables sólo para los países desarrollados, por lo cual no se propone desaparecer la PI, sino construir mecanismos de desarrollo e innovación que permitan resolver problemas en los países en desarrollo, sin desconocer el régimen global de PI, sino más bien complementarlo creando otro tipo de derechos y política para los países más desfavorecidos. Empero, para reforzar esta idea es necesario aplicar el marco teórico-metodológico a varios sectores tecnológicos en futuras líneas de investigación, así como aplicar indicadores rigurosos para determinar las diferencias tecnológicas y desarrollo entre países.

Bibliografía

- Abadal, E. (2012). Acceso abierto a la ciencia. Barcelona: Editorial UOC. (Colección El profesional de la información).
- Alcácer, J. & Gittelman, M. (2006). Patent citations as a measure of knowledge flows: the influence of examiner citations. *The Review of Economics and Statistics*, November 2006, 88(4): 774–779
- Albornoz, M. (1997). La política científica y tecnológica en América Latina frente al desafío del pensamiento único. *Redes*, vol. 4, núm. 10, octubre, pp. 95-115, Universidad Nacional de Quilmes, Argentina.
- Alic, J. (2008). A weakness in diffusion: US technology and science policy after World War II. *Technology in Society* 30, pp. 17–29
- Alperin, J. P., Babini, D. and Fischman, G. (Editors) (2014). *Open Access Indicators and Scholarly Communications in Latin America*. 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : CLACSO; Buenos Aires: Unesco.
- Arrow, K. (1962). "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention". A chapter in *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*, pp 609-626 from National Bureau of Economic Research, Inc.
- Arthur, B. (1989) Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events, *The Economic Journal*, 99, pp. 116–131.
- Arthur, B. (1997). *The Economy as an Evolving Complex System II*. Edited (with S. Durlauf and D. Lane), Addison-Wesley.
- Azagra-Caro, J. & Consoli, D. (2014). Knowledge flows, the influence of national R&D structure and the moderating role of public–private cooperation. *Journal of Technology Transfer*
- Bahrami, A., Mohammadnejad, S., & Soleimaninezhad, S. (2013). Photovoltaic cells technology: Principles and recent developments. *Optical and Quantum Electronics* (Vol. 45). <http://doi.org/10.1007/s11082-012-9613-9>
- Barberá, D., Jiménez, F. & Castelló, I. (2011). Mapping the importance of the real world: The validity of connectivity analysis of patent citations networks. *Research Policy* 40 (2011) 473–486

- Barro, R. (1991). 'Economic growth in a cross section of countries'. *Quarterly Journal of Economics*, 106, 407-43.
- Bernal, I. (2012). Políticas de acceso abierto y nuevos modelos de medición, impacto y evaluación de la producción científica. CSIC-SEDIC. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10261/58008>
- Bernardelli, F. (2010). Energía solar termodinámica en América Latina. Los casos del Brasil, Chile y México. (Informe ITA/10/002) De CEPAL-COOPERAZIONE ITALIANA: Naciones Unidas.
- Bhat, M. (1996). Trade-related intellectual property rights to biological resources: Socioeconomic implications for developing countries. *Ecological Economics*, Vol 19, pp. 205-217
- Berger, P. & Luckmann, T. (1967). *The Social Construction of Reality*. Anchor books, New York.
- Berg, P. (2014). *Decision Making in a Complex and Uncertain World*. Online Course, September-October, University of Groningen, Netherlands.
- Bessen, J. & Maskin, E. (2000). 'Sequential innovation, patents, and imitation'. Working Paper No. 00-01, Department of Economics, MIT, Cambridge, MA.
- Beyme, K. (1994). *Teoría política del siglo XX. De la modernidad a la posmodernidad*. Madrid, Alianza Universidad.
- Bourdieu, P. (1980). The production of belief; contribution to an economic of symbolic goods. *Media, Culture & Society*, 2, 261-293
- Bozeman, B. (2000). Technology transfer and public policy: a review of research and theory. *Research Policy* 29 (2000) 627-655. Elsevier Science.
- Bozeman, B. & Gaughan, M. (2007). Impacts of grants and contracts on academic researchers' interactions with industry. *Research Policy* 29 (2000) 627-655. Elsevier Science.
- Büchner, J. (2005). Aportaciones a un debate: la apropiación privada de la innovación social. *Mientras Tanto*, No. 96, pp. 117-122
- Buitenhuis, A. & Pearce, J. (2012). Open-source development of solar photovoltaic technology. *Energy for Sustainable Development* 16, pp. 379–388
- Campbell, D. (1990). "Levels of organization, downward causation, and the selection-theory approach to evolutionary epistemology". In: G. Greenberg and E. Tobach (Eds.), *Theories of the evolution of knowing*, pp. 1–17. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Carayannis, E.G. & Campbell, D. F. J. (2012). *Mode 3 Knowledge Production in Quadruple Helix Innovation Systems*. SpringerBriefs in Business 7.

- Castonguay, S. (2009). Tecnología fotovoltaica – Buen tiempo y soleado. REVISTA DE LA OMPI. Documento disponible en: http://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2009/03/article_0001.html
- Chesbrough, H. W. (2003): Open Innovation. The New Imperative for Creating and Profiting from Technology, Boston: Harvard Business School Press
- Chin, J. & Grossman, G. (1990). 'Intellectual property rights and North-South trade'. In R.W. Jones & A.O. Krueger (eds). The Political Economy of International Trade: Essays in Honor of Robert E. Baldwin, Basil Blackwell, Cambridge.
- Choe, H., Duk Hee Lee, Hee Dae Kim, Il Won Seo (2016). Structural properties and inter-organizational knowledge flows of patent citation network: The case of organic solar cells. Renewable and Sustainable Energy Reviews 55. pp. 361–370
- Coupé, T. (2003). Science Is Golden: Academic R&D and University Patents. Journal of Technology Transfer, 28, pp. 31–46.
- Couture, T. D., Cory, K., & Williams, E. (2010). A Policymaker's Guide to Feed-in Tariff Policy Design. NREL Technical Reports, (July), 144. <http://doi.org/NREL/TP-6A2-44849>
- Crane, D. (1989). This Week's Citation Classic, CC/Number 42, October 16.
- Dafermos, G., Kotsampopoulos, P., Latoufis, K., Margaris, I., Rivela, B., Washima, F.P., Ariza-Montobbio & P., López, J. (2015). Energía: conocimientos libres, energía distribuida y empoderamiento social para un cambio de matriz energética (v.1.0). En Vila-Viñas, D. & Barandiaran, X.E. (Eds.) Buen Conocer – FLOK Society. Modelos sostenibles y políticas públicas para una economía social del conocimiento común y abierto en el Ecuador. Quito, Ecuador: IAEN-CIESPAL, <http://book.floksociety.org/ec/2/2-4-energia-conocimientos-libres-y-empoderamiento-social-para-uncambio-de-matriz-energetica>.
- Dautrey, P. (2012). La economía del conocimiento en América Latina ¿ hacia la irrelevancia? Cuadernos Geográficos, 50, pp. 169–185.
- David, P. A., & Foray, D. (2002). An introduction to the economy of the knowledge society.
- Deardorff, A. (1992). 'Welfare effects of global patent protection'. *Economica*, 59, 35-52.
- De Nooy, W. (2002). “Una perspectiva institucional sobre la relación micromacro”. *Redes- Revista Hispana para el Análisis de Redes Sociales*. Vol. 3 No. 5, septiembre-noviembre. En línea: <http://revista-redes.rediris.es>

- De Nooy, W., Mrvar, A. & Batagelj, V. (2005). *Exploratory Social Network Analysis with Pajek*. Nueva York: Cambridge University Press.
- De Solla Price, D (1963). *Little Science, Big Science*. Columbia University Press, New York.
- Dodgson, M., Hughes, A., Foster, J. & Metcalfe, S. (2011). Systems thinking, market failure, and the development of innovation policy: The case of Australia. *Research Policy* 40, pp. 1145–1156
- Drahos, P. & Braithwaite, J. (2002). *Information Feudalism: Who Owns the Knowledge Economy?*, Earthscan Publications Ltd, London, p. 192
- Drahos, P. (2003). *Access to Medicines: After Doha*. Commonwealth Trade Hot Topics, Issue 20, Economic Affairs Division of the Commonwealth Secretariat, London p. 2
- Drahos, P. (2009). Derechos globales de propiedad sobre la información: La historia del TRIPS en el GATT. *Mientras Tanto*, No. 113, invierno, pp. 35-54
- Elzinga, A. & Jamison, A. (1996). El cambio de las agendas políticas en ciencia y tecnología. *Zona Abierta-Ciencia y Estado*, No. 75/76, Madrid.
- Epstein, J. (2014). *Agent_Zero: Toward Neurocognitive Foundations for Generative Social Science* (Princeton Studies in Complexity) Hardcover – February 23.
- Epstein, J. (2014). *Decision Making in a Complex and Uncertain World*. Online Course, September-October, University of Groningen, Netherlands.
- Evenson, R. (1990). 'Survey of empirical studies'. In W.E. Siebeck (ed.) 'Strengthening Protection of Intellectual Property in Developing Countries: A Survey of the Literature', World Bank Discussion Paper 112, The World Bank, Washington, DC.
- Fernández-Esquinas, M., Pinto, H., Pérez, M. & Santo, T. (2015). Tracing the flows of knowledge transfer: Latent dimensions and determinants of university-industry interactions in peripheral innovation system. *Technological Forecasting & Social Change*.
- Flache, A. (2014). *Decision Making in a Complex and Uncertain World*. Online Course, September-October, University of Groningen, Netherlands.
- Forero-Pineda, C., & Jaramillo-Salazar, H. (2002). The access of researchers from developing countries to international science and technology. *International Social Science Journal*, 54(1), 129–+. <http://doi.org/10.1111/1468-2451.00364>
- Forero-Pineda, C. (2005). Baldíos y cercamientos en la aldea global de la ciencia. *Revista de Estudios Sociales* no. 22, diciembre, 81-87.

- Forero-Pineda, C. (2006). The impact of stronger intellectual property rights on science and technology in developing countries. *Research Policy*, 35(6), 808–824. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2006.04.003>
- Freeman, C. (1987). *Technology, policy, and economic performance: lessons from Japan*. London, Pinter Publishers.
- Freeman, C. (1995). The National System of Innovation in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*, 19, pp. 5-24.
- French, D. (1990). Ventajas comparativas dinámicas: un planteamiento neoestructuralista. *Cuadernos de la CEPAL*, NO. 63.
- FRINNOV. (2009). Photovoltaic Thin Film Cells. Retrieved from: http://www.wipo.int/export/sites/www/patentscope/en/programs/patent_landscapes/documents/ip_overview_FV_thin_film_cells_2009xp_com.pdf
- Gallini, N. & Scotchmer, S. (2002). Intellectual Property: When Is It the Best Incentive System? *Innovation Policy and the Economy*, Vol. 2, pp. 51-77
- Garfield, E. (1955). Citation Indexes for Science: A New Dimension in Documentation through Association of Ideas. *Science* 15 Jul 1955: Vol. 122, Issue 3159, pp. 108-111. DOI: 10.1126/science.122.3159.108
- Garg & Srivastava (2016). Knowledge Structure of IPR as Reflected by the Content Analysis of Papers Published in Journal of Intellectual Property Rights. *JIPR Vol.21(3)*. May 2016
- Geels, F. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems. Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research policy*, Elsevier. *Department of Technology Management, Eindhoven University*.
- Geels, F. & Raven, R. (2007). Socio-cognitive evolution and co-evolution in competing technical trajectories: Biogas development in Denmark (1970–2002). *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* 14, 63–77. *Department of Technology Management, Eindhoven University of Technology*.
- Geels, F. & Schot, J. (2007). Typology of socio-technical transition pathways. *Eindhoven University of Technology, IPO 2.10, P.O. Box 513, 5600 MB Eindhoven, The Netherlands. Research Policy* 36 (2007) 399–417.
- Geels, F. (2010). Towards a co-evolutionary theory of industrial change: Technology, markets, civil society and polity. *Research Policy*.

- Geels, F. & Turnheim, B. (2010). The destabilisation of existing regimes in socio-technical transitions: A multi-dimensional framework and case study of the British coal industry (1913-1970). *SPRU, University of Sussex, Brighton. United Kingdom.*
- Gerken, J., Moehrle, M. & Walter, L. (2014). One year ahead. Investigating the time lag between patent publication and market launch: insights from a longitudinal study in the automotive industry. RADMA and John Wiley & Sons Ltd.
- Giddens, A. (1998). La constitución de la sociedad. Bases para la teoría de la estructuración. Amorrortu editores.
- Gordon, L. (2015). Planning the future of renewables - storage legal issues to consider. Renewable energy focus.
- Granovetter, M. (2005). Structural Analysis in the Social Science. En: De Nooy, W., Mrvar, A. & Batagelj, V. (2005). Exploratory Social Network Analysis with Pajek. Nueva York: Cambridge University Press.
- Guaran, I. (2009). Intellectual Property Rights: How the Developing World is Disadvantaged by Global Government Approaches to Scientific Innovation and Intellectual Property Rights. *Australian Quarterly*, Vol. 81, No. 5 (SEPTEMBER-OCTOBER), pp. 10-16, 39
- Guo, Y., Xu, C., Huang, L., & Porter, A. (2012). Empirically informing a technology delivery system model for an emerging technology: Illustrated for dye-sensitized solar cells. *R and D Management*, 42(2), 133–149. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2012.00674.x>
- Gustafsson, R. & Autio, E. (2011). A failure trichotomy in knowledge exploration and exploitation. *Research Policy*, Vol. 40, pp.819-831. Elsevier.
- Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. Vol. 162, Issue 3859, pp. 1243-1248. DOI: 10.1126/science.162.3859.1243
- Hausman, J., Hall, B. and Griliches, Z. (1984). Econometric Models for Count Data with an Application to the Patents-R & D Relationship. Vol. 52, No. 4, pp. 909-938. The Econometric Society. DOI: 10.2307/1911191
- Harris, R. G. (2001). The knowledge-based economy: intellectual origins and new economic perspectives, 3(1), 21–40.
- Hayek, F. (1967). *Studies in Philosophy, Politics and Economics*. ISBN 978-0-226-32085-4
- Heller, M. & Eisenberg, R. (1998). Can Patents Deter Innovation? The Anticommons in Biomedical Research. *Science*, Vol. 280, No. 5364, pp. 698 - 701

- Hilaire, B. (1912). *The Servile State*.
- Hodgson, G.M. (1998). The approach of institutional economics. *Journal of Economic Literature* 36, 166–192.
- Hoogduin, L. (2014). *Decision Making in a Complex and Uncertain World*. Online Course, September-October, University of Groningen, Netherlands.
- Jackson, B. (2003). Innovation and Intellectual Property: The Case of Genomic Patenting. *Journal of Policy Analysis and Management*, Vol. 22, No. 1. Winter, pp. 5-25
- Jager, W. (2014). *Decision Making in a Complex and Uncertain World*. Online Course, September-October, University of Groningen, Netherlands.
- Jalife, M. (2012). *Comentarios a la ley de la propiedad industrial*. México. Editorial Porrúa.
- Jin-hua, L. (2007). Relation between Network Structure and Knowledge Flow: A Perspective of Complex Network Theory.
- Jordan, J. (2014). *Decision Making in a Complex and Uncertain World*. Online Course, September-October, University of Groningen, Netherlands.
- Kapczynski, A. (2008). The Access to Knowledge Mobilisation and the New Politics of Intellectual Property. *The Yale Law Journal*, 117(5), 804–885.
- Kanwar, S. & Evenson, R. (2003). Does Intellectual Property Protection Spur Technological Change? *Oxford Economic Papers*, Vol. 55, No. 2, April , pp. 235-264
- Kinsella, S. (2001). Against intellectual property. *Journal of Libertarian Studies*. Volume 15, no. 2 (Spring 2001): 1–53. Ludwig von Mises. Institute www.mises.org
- Klein, a, Pfluger, B., Held, a, Ragwitz, M., Resch, G., & Faber, T. (2008). Evaluation of Different Feed-in Tariff Design Options: Best Practice Paper for the International Feed-in Cooperation. Energy Economics Group & Fraunhofer Institute Systems and Innovation Research, Germany, (October). Retrieved from:
http://www.renewwisconsin.org/policy/ARTS/MISC/Docs/best_practice_paper_2nd_edition_final.pdf
- Kyungchul, C., Changseok, K. and Juneseuk, S. (2015). Differential effects of intellectual property rights on innovation and economic performance: A cross-industry investigation. *Science and Public Policy* 42, pp. 827–840
- Lai, E. (1998). 'International intellectual property rights protection and the rate of product innovation'. *Journal of Development Economics*, 55, 133-53.

- Lall, S. (2003). Indicators of the relative importance of IPRs in developing countries. *Research Policy*, 1657–1680
- Laranja, M., Uyarra, E., & Flanagan, K. (2008). Policies for science, technology and innovation: Translating rationales into regional policies in a multi-level setting. *Research Policy*, 37(5), 823–835. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2008.03.006>
- Larédo, P. & Mustar, P. (2001). *Research and Innovation Policies in the New Global Economy: An International Comparative Analysis*. Edward Elgar Publishing, Nov 28, 2001 - 524 pages
- Latour, B (1996). *Aramis, or the Love of Technology*. Harvard University Press.
- Lei, Xiao-Ping, Zhi-Yun Zhao, Xu Zhang, Dar-Zen Chen, Mu-Hsuan Huang, Jia Zheng, Run-Sheng Liu, Jing Zhang & Yun-Hua Zhao (2013). Technological collaboration patterns in solar cell industry based on patent inventors and assignees analysis. *Scientometrics* 96:427–441.
- Lester, J. & Stewart, J. (2007). *Public Policy: An Evolutionary Approach*. Wadsworth. Thomson Learning.
- Leydesdorff, L. (2000). The triple helix: an evolutionary model of innovations. *Research Policy* 29 (2000). 243–255. Elsevier.
- Leydesdorff, L., Alkemade, F., Heimeriks, G., & Hoekstra, R. (2015). Patents as instruments for exploring innovation dynamics: geographic and technological perspectives on “photovoltaic cells”. *Scientometrics*.
- Leydesdorff, L., & Bornmann, L. (2012). Mapping (USPTO) patent data using overlays to Google maps. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(7), 1442–1458. <http://doi.org/10.1002/asi.22666>
- Leydesdorff, L., & Ivanova, I. (2016). “Open innovation” and “triple helix” models of innovation: Can synergy in innovation systems be measured? *Social Science Electronic Publishing*, 1–23. <http://doi.org/10.1186/s40852-016-0039-7>
- Leydesdorff, L. & Rafols, I. (2011). *Local Emergence and Global Diffusion of Research Technologies: An Exploration of Patterns of Network Formation*. ASIS&T.
- Lundvall, B. (1998). Why study national systems and national styles of innovation? *Revista Technology analysis & strategic management*. Volumen 10, Número 4, pp. 403-422
- Magro, E. & Wilson, J. (2013). Complex innovation policy systems: Towards an evaluation mix. *Research Policy* 42, pp. 1647– 1656

- Majone, G. (1997). Evidencia, argumentación y persuasión en la formulación de políticas, Traducción de Eduardo L. Suarez, México, Colegio Nacional de Ciencias Políticas y Administración Pública, A.C. -Fondo de Cultura Económica. 240 pp
- Malerba, F. & Orsenigo, L. (2000). Knowledge, innovative activities and industrial evolution. *Industrial and Corporate Change. CESPRI- Bocconi University, Vol. 9 No.2, Milan, Italy.*
- Martin, B. (2012). The evolution of science policy and innovation studies. *Research Policy* 41, pp. 1219– 1239
- Martin, R. (1999). The new “geographical turn” in economics: Some critical reflections. *Cambridge Journal of Economics*, 23(May 1998), 65–91. <http://doi.org/10.1093/cje/23.1.65>
- Mazzucato, M. (2013). *The Entrepreneurial State*. Ford Foundation & Institute for New Economic Thinking.
- McNamar, J. & Weissing, F. (2010). Evolutionary game theory. *Social Behaviour: Genes, Ecology and Evolution*, ed. Tamás Székely, Allen J. Moore and Jan Komdeur. Published by Cambridge University Press.
- Merges, R. (2004). A New Dynamism in the Public Domain. *The University of Chicago Law Review*, Vol. 71, No. 1, pp. 183-203
- Mitchell, M. (2014). *Introduction to complexity*. Online Course, spring, Santa Fe Institute, New Mexico, United States.
- Montobbio, F. (2013). The Globalization of Technology in Emerging Markets : A Gravity Model on the Determinants of International Patent Collaborations. *World Development*, 44, 281– 299. <http://doi.org/10.1016/j.worlddev.2012.11.017>
- Montobbio, F., Primi, A., & Sterzi, V. (2015). IPRS and international knowledge flows: evidence from six large emerging countries. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 106(2), 187–204. <http://doi.org/10.1111/tesg.12131>
- Mowery, D. & Ziedonis, A. (2002). Academic patent quality and quantity before and after the Bayh–Dole act in the United States. *Research Policy* 31, pp. 399–418
- Navarro, J. C. L. (2011). *Epistemología y metodología*. México: Patria.
- Nelson, R. (1959). The simple economics of basic scientific research. *Journal of Political Economy* 67, 297-306.
- Nelson, R. and Phelps, E. (1966). Investment in humans, technological diffusion, and economic growth. *American Economic Review: Papers and Proceedings*, 61, 69-75.

- Nelson, R. & Winter, S. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press.
- Newfield, C. (2013). Does Solar Energy Need a New Innovation Model ? The Case of Germany.
- Nicolau-Juliá, D., Expósito-Langa, M., & Tomás-Miquel, J.-V. (2015). Exploración y explotación de conocimiento en el ámbito empresarial. Validación de escalas en un sector industrial de bajo perfil tecnológico. *Investigaciones Europeas de Dirección Y Economía de La Empresa*, 21(3), 139–147. <http://doi.org/10.1016/j.iedee.2014.07.001>
- Niinikoski , M. & Moisander, J. (2014). Serial and comparative analysis of innovation policy change. *Technological Forecasting & Social Change* 85, pp 69–80
- North, D. (1990). *Institutions, Institutional Change, and Economic Performance*. Cambridge University Press.
- Nuvolari, A. (2004). *The Making of Steam Power Technology: A Study of Technical Change during the British Industrial Revolution*. PhD Dissertation, Eindhoven University of Technology.
- Okediji, R. (2004). The Institutions of Intellectual Property: New Trends in an Old Debate. *Proceedings of the Annual Meeting (American Society of International Law)*, Vol. 98(MARCH 31-APRIL 3), pp. 219-222
- Ong, A. (2010). Study on the photovoltaic (FV) industry, part one: introduction to FV. INVEST-PENAN.
- Ordóñez, S. (2011). Fundamentos teóricos y ubicación histórica de la economía y sociedad del conocimiento. En: Wolf, G. y Miranda, A. (coordinadores) (2011). *Construcción Colaborativa del Conocimiento*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Económicas.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (1996). *The knowledge-based economy*, (96).
- Ostrom, E. (1990). *GOVERNING the COMMONS. The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press.
- Oszlak, O. & O'Donnell, G.(1995). Estado y políticas estatales en América Latina: hacia una estrategia de investigación. Centro de Estudios de Estado y Sociedad (CEDES), Buenos Aires, doc. G. E. CLACSO/4, reproducido en REDES, NO. 4, Buenos Aires, Argentina.

- Palacios-Núñez, G., Vélez-Cuartas, G. & Botero, J.D. (2016). Explorando colegios invisibles en la producción sobre propiedad intelectual en artículos de Web of Science. Ponencia presentada el 3 de noviembre de 2016, en la convención de Innovación, Ciencia y Tecnología, INFO´2016.
- Parida, B., Iniyán, S., & Goic, R. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1625–1636. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.032>
- Pavitt, K. (1984). Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory. *Research Policy*, No. 13.
- Pizarro, N. (1998). *Tratado de Metodología de las Ciencias Sociales*. Madrid: Siglo XXI.
- Poincaré, H. (1902). *La Science et l'hypothèse*, París, Flammarion. Trad. La ciencia y la hipótesis, Madrid, Espasa, 2002.
- Powell, W. W., & Snellman, K. (2017). The Knowledge Economy. *Annual Reviews of Sociology*, Vol.30, 199–220. <http://doi.org/10.1146/annurev.soc.29.010202.100037>
- Rocket, K. (2010). Property rights and invention. *Handbook in Economics of innovation*, Volume 1. Chapter 7 pp.315-380
- Razykov, T. M., Ferekides, C. S., Morel, D., Stefanakos, E., Ullal, H. S., & Upadhyaya, H. M. (2011). Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects. *Solar Energy*, 85(8), 1580–1608. <http://doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.002>
- Rodríguez, J. C., & Gómez, M. (2011). Innovation trends in NAFTA countries: An econometric analysis of patent applications. *Journal of Technology Management and Innovation*, 6(3), 116–125. <http://doi.org/10.4067/S0718-27242011000300009>
- Rodríguez, C. & Navarro, J., (2014). STI policy to sustain agricultural biotechnology in merging economies: the case of Mexico.
- Romer, P. (1990). 'Endogenous technological change'. *Journal of Political Economy*, 98, S71-102.
- Rosvall, M. (2006). Information horizons in a complex world. Department of Physics Umeå University.
- Schmitz, C. (2009). Propiedad intelectual, dominio público y equilibrio de intereses. *Revista Chilena de Derecho*, Vol. 36, No. 2 (Mayo - Agosto), pp. 343-367. Pontificia Universidad Católica de Chile.

- Schumpeter, J. (1911). *The Theory of Economic Development: An inquiry into profits, capital, credit, interest and the business cycle.*
- Shapiro, C. (2001). *Navigating the Patent Thicket: Cross Licenses, Patent Pools, and Standard-Setting.* In Jaffe, Adam B.; et al.. *Innovation Policy and the Economy I.* Cambridge: MIT Press. pp. 119–150. ISBN 0-262-60041-2.
- Shin, S. & Kook, W. (2014). Can knowledge be more accessible in a virtual network?: Collective dynamics of knowledge transfer in a virtual knowledge organization network. *Decision Support Systems* 59 . pp 180–189
- Singh, R., Alapatt, G. F., & Lakhtakia, A. (2013). Making solar cells a reality in every home: Opportunities and challenges for photovoltaic device design. *IEEE Journal of the Electron Devices Society*, 1(6), 129–144. <http://doi.org/10.1109/JEDS.2013.2280887>
- Smith, A. (1776). *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations.*
- Smith, A. & Stirling, A. (2008). Social-ecological resilience and socio-technical transitions: critical issues for sustainability governance. *STEPS centre, University of Sussex.*
- SolarPower Europe. (2014). *Global Market Outlook for Solar Power 2015-2019. Global Market Outlook*, 32. http://doi.org/10.1787/key_energ_stat-2014-en
- Solow, R. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 70, No. 1, pp. 65–94.
- Stallman, R. (2002). *GNU Emacs Manual.* Boston, Massachusetts: GNU Press. ISBN 1-882114-85-X.
- Stallman, Richard M (2010). *Free Software, Free Society: Selected Essays of Richard M. Stallman (PDF) (Second ed.).* Boston, Massachusetts: GNU Press. ISBN 978-0-9831592-0-9.
- Stezano, F. & Velez-Cuartas, G. (2007) (Compiladores). *Propuestas Interpretativas para una Economía Basada en el Conocimiento.* Editorial: Miño y Davila
- Stezano, F. (2011). *Redes ciencia-industria para la transferencia en México , Estados Unidos y Canadá . Regímenes institucionales y tecnológicos y mecanismos de intermediación.*
- Stiglitz, J. (2010). *Declaration in the United State District Court for The Southern District of New York.* Document 224. Filed 1-20-2010.
- Stoker, J. (2014). *Decision Making in a Complex and Uncertain World.* Online Course, September-October, University of Groningen, Netherlands.

- Suber, P. (2005). Open access, impact, and demand: Why some authors self archive their articles. *BMJ : British Medical Journal*, 330(7500), 1097–1098.
- Sugandhavanija, P., Sukchai, S., Ketjoy, N. & Klongboonjit, S. (2011). Determination of effective university-industry joint research for photovoltaic technology transfer (UIJRPTT) in Thailand. *Renewable Energy* 36.
- Swart, J. & Powell, J. (2012). An analytical theory of knowledge behaviour in networks. *European Journal of Operational Research* 223. pp. 807–817.
- Teixeira, A. A. C. (2011). Mapping the (in)visible college(s) in the field of entrepreneurship. *Scientometrics*, 89(1), 1–36. <http://doi.org/10.1007/s11192-011-0445-3>
- Thurow, L. C. (2000). Globalization: The Product of a Knowledge-Based Economy. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, Vol. 570, Dimensions of Globalization, pp. 19-31.
- Trosow, S.; McNally, M.; Briggs, L.; Hoffman, C.; Ball, C.; Jacobs, A. & Moran, B. (2012). "Technology Transfer and Innovation Policy at Canadian Universities: Opportunities and Social Costs". *FIMS Library and Information Science Publication*. Paper 23. <http://ir.lib.uwo.ca/fimspub/23>
- Trousset, S. (2014). Current Trends in Science and Technology Policy Research: An Examination of Published Works from 2010–2012. *The Policy Studies Journal*, Vol. 42, No. S1.
- Turnheim, B. & Geels, F. (2011). The destabilisation of existing regimes in socio-technical transitions: Confronting a multi-dimensional framework with a case study of the British coal industry (1914-1970). *SPRU*, University of Sussex, Brighton, United Kingdom
- Vélez, G. (2011). Las redes de sentido de las redes sociales: Un estudio cuantitativo. Tesis para optar por el título de Doctor en Ciencias Sociales y Políticas. Universidad Iberoamericana Santa Fe. México.
- Veenstra, J. (2014) *Decision Making in a Complex and Uncertain World*. Online Course, September-October, University of Groningen, Netherlands.
- Vercelli, A. (2009). Repensando los bienes intelectuales comunes análisis socio-técnico sobre el proceso de co-construcción entre las regulaciones de derecho de autor y derecho de copia y las tecnologías digitales para su gestión. Tesis de doctorado con mención en Ciencias Sociales y Humanas. Universidad Nacional de Quilmes. Ciudad Autónoma de Buenos Aires Argentina.

- Wang, X., Li, R., Ren, S., Zhu, D., Huang, M. & Qiu, P. (2014). Collaboration network and pattern analysis: case study of dye-sensitized solar cells. *Scientometrics* 98:1745–1762
- Watanabe, C., Wakabayashi, K., & Miyazawa, T. (2000). Industrial dynamism and the creation of a 'virtuous cycle' between R&D, market growth and price reduction. The case of photovoltaic power generation (PV) development in Japan. *Technovation*, 20(6), 299–312. [http://doi.org/10.1016/S0166-4972\(99\)00146-7](http://doi.org/10.1016/S0166-4972(99)00146-7)
- Weissing, F. (2014) *Decision Making in a Complex and Uncertain World*. Online Course, September-October, University of Groningen, Netherlands.
- Wellman, B. (1999). "El análisis estructural: del método y la metáfora a la teoría y la sustancia". Monográfico: Análisis de Redes Sociales: la consolidación de un paradigma interdisciplinar. Madrid, 22 de junio (número 33), p. 3 En línea: <http://www.ucm.es/info/pecar/Docu.htm>
- Werner, M., Bornmann, L., Barth, A. & Leydesdorff, L. (2013). Detecting the Historical Roots of Research Fields by Reference Publication Year Spectroscopy (RPYS). *ASIS&T* • Published online 21 November 2013 in Wiley Online Library.
- Wolf, G. y Miranda, A. (coordinadores) (2011). *Construcción Colaborativa del Conocimiento*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Económicas.
- World Bank Institute (2004). *Benchmarking countries in the knowledge economy: presentation of the knowledge assessment methodology (KAM) knowledge for development program*. Disponible en: www.worldbank.org/kam
- Wua, Ching-Yan & Mathews, J. (2012). Knowledge flows in the solar photovoltaic industry: Insights from patenting by Taiwan, Korea, and China. *Research Policy* 41, pp. 524– 54

Sitios Web consultados

- Creative Commons (2016). Recuperado de <https://creativecommons.org/>
- Derwent Innovations Index de Thomson Reuters (2016). Recuperado de [http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2164/Search.do?product=DIIDW & SID = 2DBfHP iwrpc Z7bEKDG t & search_mode = GeneralSearch&prID = 555bbc5d - ef06 - 4dc7 -b99e - 34cf0f042674](http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2164/Search.do?product=DIIDW&SID=2DBfHPiwrpcZ7bEKDGt&search_mode=GeneralSearch&prID=555bbc5d-ef06-4dc7-b99e-34cf0f042674)

EPO - PATSTAT. Worldwide Patent Statistical Database (2016). Recuperado de <https://www.epo.org/searching-for-patents/business/patstat.html#tab1>

The world bank (2017). Recuperado de <http://data.worldbank.org/topic/science-and-technology?>

USPTO- United States Patent and Trademark Office (2016). Recuperado de <http://appft1.uspto.gov/netahtml/PTO/search-adv.html>

Web of Science (2016). Recuperado de http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2164/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&SID=2DBfHPiwrpcZ7bEKDGt&search_mode=GeneralSearch

Anexos

Anexos 1. Ranking del total de citas entre e intra países para todo el periodo (1976-2016)²³.

Rango	Vértices	Valor	Países	Rango	Vértices	Valor	Países
1	2.2	2.007.000.000	US.US	51	32.2	4.700.000	DD.US
2	4.2	842.700.000	JP.US	52	4.18	4.500.000	JP.CH
3	4.4	547.900.000	JP.JP	53	1.1	4.200.000	FR.FR
4	2.4	253.400.000	US.JP	54	8.10	4.200.000	DE.TW
5	8.2	148.500.000	DE.US	55	2.7	4.100.000	US.IE
6	2.8	60.700.000	US.DE	56	2.26	3.600.000	US.SG
7	2.17	44.700.000	US.IL	57	4.11	3.600.000	JP.NL
8	1.2	38.400.000	FR.US	58	4.22	3.400.000	JP.IT
9	4.3	36.200.000	JP.KR	59	6.6	3.100.000	GB.GB
10	19.2	35.500.000	CA.US	60	9.4	3.100.000	AU.JP
11	2.10	35.200.000	US.TW	61	4.9	3.000.000	JP.AU
12	4.8	34.000.000	JP.DE	62	4.13	3.000.000	JP.AT
13	2.19	32.000.000	US.CA	63	2.20	2.900.000	US.SE
14	2.3	31.700.000	US.KR	64	8.19	2.800.000	DE.CA
15	9.2	27.900.000	AU.US	65	29.2	2.700.000	HK.US
16	8.4	26.900.000	DE.JP	66	8.12	2.700.000	DE.CN
17	11.2	25.900.000	NL.US	67	3.3	2.700.000	KR.KR
18	2.1	24.800.000	US.FR	68	2.43	2.700.000	US.NO
19	4.10	24.400.000	JP.TW	69	1.3	2.700.000	FR.KR
20	8.8	22.400.000	DE.DE	70	8.3	2.700.000	DE.KR
21	3.2	22.300.000	KR.US	71	22.2	2.600.000	IT.US
22	6.2	21.200.000	GB.US	72	23.2	2.600.000	ES.US
23	4.17	19.700.000	JP.IL	73	8.1	2.600.000	DE.FR
24	2.6	15.300.000	US.GB	74	11.8	2.500.000	NL.DE
25	5.2	15.200.000	BE.US	75	4.20	2.200.000	JP.SE
26	4.19	14.600.000	JP.CA	76	17.2	2.200.000	IL.US
27	10.2	14.000.000	TW.US	77	3.4	2.200.000	KR.JP
28	4.1	13.600.000	JP.FR	78	6.8	2.100.000	GB.DE
29	2.9	13.400.000	US.AU	79	1.8	1.900.000	FR.DE
30	18.2	10.700.000	CH.US	80	19.19	1.900.000	CA.CA
31	2.5	10.600.000	US.BE	81	1.10	1.900.000	FR.TW
32	2.18	10.400.000	US.CH	82	18.4	1.900.000	CH.JP
33	2.12	10.400.000	US.CN	83	2.16	1.900.000	US.RU
34	1.4	9.400.000	FR.JP	84	8.6	1.800.000	DE.GB
35	13.2	9.100.000	AT.US	85	1.17	1.800.000	FR.IL
36	2.11	8.300.000	US.NL	86	8.5	1.700.000	DE.BE
37	4.6	8.100.000	JP.GB	87	2.25	1.600.000	US.FI
38	10.4	6.800.000	TW.JP	88	3.10	1.600.000	KR.TW
39	6.4	6.500.000	GB.JP	89	33.2	1.600.000	JA.US
40	13.4	6.300.000	AT.JP	90	12.2	1.500.000	CN.US
41	10.10	5.800.000	TW.TW	91	11.11	1.400.000	NL.NL
42	19.4	5.600.000	CA.JP	92	34.2	1.400.000	DT.US
43	31.2	5.500.000	SU.US	93	2.30	1.400.000	US.DK
44	2.22	5.300.000	US.IT	94	2.15	1.400.000	US.SA
45	4.5	5.200.000	JP.BE	95	5.4	1.400.000	BE.JP
46	8.17	5.200.000	DE.IL	96	2.23	1.400.000	US.ES
47	20.2	5.000.000	SE.US	97	13.8	1.300.000	AT.DE
48	2.13	5.000.000	US.AT	98	9.8	1.300.000	AU.DE
49	4.12	4.700.000	JP.CN	99	19.8	1.300.000	CA.DE
50	11.4	4.700.000	NL.JP	100	6.1	1.300.000	GB.FR

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

²³ El valor del vector se lee eliminando los primeros 4 ceros de derecha a izquierda.

Anexo 2. Ranking del total de citas entre e intra países antes del ADPIC (1976-1996).

Rango	Vértices	Valor	Países	Rango	Vértices	Valor	Países
1	2.2	193.500.000	US.US	37	2.5	700.000	US.BE
2	4.4	100.800.000	JP.JP	38	6.1	700.000	GB.FR
3	2.4	88.000.000	US.JP	39	19.2	600.000	CA.US
4	4.2	42.400.000	JP.US	40	18.4	500.000	CH.JP
5	2.8	14.000.000	US.DE	41	2.17	500.000	US.IL
6	8.2	11.700.000	DE.US	42	34.2	500.000	DT.US
7	1.2	10.000.000	FR.US	43	33.2	400.000	JA.US
8	6.2	6.000.000	GB.US	44	4.10	400.000	JP.TW
9	8.4	5.700.000	DE.JP	45	22.4	400.000	IT.JP
10	2.1	5.500.000	US.FR	46	2.22	400.000	US.IT
11	2.19	4.800.000	US.CA	47	9.4	300.000	AU.JP
12	2.6	4.600.000	US.GB	48	1.6	300.000	FR.GB
13	4.8	4.000.000	JP.DE	49	13.4	300.000	AT.JP
14	4.19	3.700.000	JP.CA	50	22.8	300.000	IT.DE
15	1.4	3.700.000	FR.JP	51	8.1	300.000	DE.FR
16	8.8	3.300.000	DE.DE	52	2.3	300.000	US.KR
17	4.1	2.400.000	JP.FR	53	22.2	300.000	IT.US
18	2.9	2.300.000	US.AU	54	33.4	300.000	JA.JP
19	6.4	2.200.000	GB.JP	55	10.2	300.000	TW.US
20	1.1	1.600.000	FR.FR	56	8.19	300.000	DE.CA
21	10.4	1.500.000	TW.JP	57	18.6	300.000	CH.GB
22	2.18	1.400.000	US.CH	58	2.13	200.000	US.AT
23	6.6	1.400.000	GB.GB	59	2.28	200.000	US.LI
24	4.6	1.200.000	JP.GB	60	11.1	200.000	NL.FR
25	11.2	1.100.000	NL.US	61	4.5	200.000	JP.BE
26	1.8	1.100.000	FR.DE	62	11.8	200.000	NL.DE
27	6.8	1.100.000	GB.DE	63	4.17	200.000	JP.IL
28	18.2	900.000	CH.US	64	4.16	200.000	JP.RU
29	2.10	900.000	US.TW	65	8.5	200.000	DE.BE
30	2.11	800.000	US.NL	66	6.11	200.000	GB.NL
31	5.2	800.000	BE.US	67	31.8	200.000	SU.DE
32	4.3	800.000	JP.KR	68	19.19	200.000	CA.CA
33	4.11	800.000	JP.NL	69	4.18	200.000	JP.CH
34	9.2	700.000	AU.US	70	1.10	200.000	FR.TW
35	11.4	700.000	NL.JP	71	6.19	200.000	GB.CA
36	31.2	700.000	SU.US	72	8.6	200.000	DE.GB

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Anexo 3. Ranking del grado de entrada (izquierda) y de salida (derecha) de citas entre países antes del ADPIC (1976-1996).

Rango	Vértice	Valor	País
1	2	26.990.000	US
2	4	20.470.000	JP
3	8	2.460.000	DE
4	1	1.070.000	FR
5	19	940.000	CA
6	6	810.000	GB
7	9	260.000	AU
8	11	210.000	NL
9	18	170.000	CH
10	10	160.000	TW
11	3	130.000	KR
12	5	130.000	BE
13	17	110.000	IL
14	22	50.000	IT
15	20	30.000	SE
16	16	30.000	RU
17	31	20.000	SU
18	30	20.000	DK
19	28	20.000	LI
20	13	20.000	AT

Rango	Vértice	Valor	País
1	2	31.900.000	US
2	4	15.800.000	JP
3	8	2.190.000	DE
4	1	1.710.000	FR
5	6	1.200.000	GB
6	11	260.000	NL
7	10	200.000	TW
8	18	200.000	CH
9	5	120.000	BE
10	22	110.000	IT
11	9	110.000	AU
12	31	100.000	SU
13	19	90.000	CA
14	33	80.000	JA
15	34	70.000	DT
16	13	30.000	AT
17	44	0.0000	CL

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Anexo 4. Ranking del total de citas entre países después del ADPIC (1996-2016).

Rango	Vértices	Valor	Países	Rango	Vértices	Valor	Países
1	2.2	1.813.500.000	US.US	41	10.4	5.300.000	TW.JP
2	4.2	800.300.000	JP.US	42	8.17	5.100.000	DE.IL
3	4.4	447.100.000	JP.JP	43	20.2	5.000.000	SE.US
4	2.4	165.400.000	US.JP	44	4.5	5.000.000	JP.BE
5	8.2	136.800.000	DE.US	45	2.22	4.900.000	US.IT
6	2.8	46.700.000	US.DE	46	2.13	4.800.000	US.AT
7	2.17	44.200.000	US.IL	47	31.2	4.800.000	SU.US
8	4.3	35.400.000	JP.KR	48	32.2	4.700.000	DD.US
9	19.2	34.900.000	CA.US	49	4.12	4.700.000	JP.CN
10	2.10	34.300.000	US.TW	50	4.18	4.300.000	JP.CH
11	2.3	31.400.000	US.KR	51	6.4	4.300.000	GB.JP
12	4.8	30.000.000	JP.DE	52	8.10	4.200.000	DE.TW
13	1.2	28.400.000	FR.US	53	2.7	4.100.000	US.IE
14	2.19	27.200.000	US.CA	54	11.4	4.000.000	NL.JP
15	9.2	27.200.000	AU.US	55	2.26	3.600.000	US.SG
16	11.2	24.800.000	NL.US	56	4.22	3.400.000	JP.IT
17	4.10	24.000.000	JP.TW	57	4.13	3.000.000	JP.AT
18	3.2	22.300.000	KR.US	58	4.9	2.900.000	JP.AU
19	8.4	21.200.000	DE.JP	59	9.4	2.800.000	AU.JP
20	4.17	19.500.000	JP.IL	60	4.11	2.800.000	JP.NL
21	2.1	19.300.000	US.FR	61	29.2	2.700.000	HK.US
22	8.8	19.100.000	DE.DE	62	2.20	2.700.000	US.SE
23	6.2	15.200.000	GB.US	63	8.12	2.700.000	DE.CN
24	5.2	14.400.000	BE.US	64	3.3	2.700.000	KR.KR
25	10.2	13.700.000	TW.US	65	1.3	2.700.000	FR.KR
26	4.1	11.200.000	JP.FR	66	8.3	2.700.000	DE.KR
27	2.9	11.100.000	US.AU	67	2.43	2.700.000	US.NO
28	4.19	10.900.000	JP.CA	68	23.2	2.600.000	ES.US
29	2.6	10.700.000	US.GB	69	1.1	2.600.000	FR.FR
30	2.12	10.400.000	US.CN	70	8.19	2.500.000	DE.CA
31	2.5	9.900.000	US.BE	71	11.8	2.300.000	NL.DE
32	18.2	9.800.000	CH.US	72	22.2	2.300.000	IT.US
33	13.2	9.100.000	AT.US	73	8.1	2.300.000	DE.FR
34	2.18	9.000.000	US.CH	74	3.4	2.200.000	KR.JP
35	2.11	7.500.000	US.NL	75	17.2	2.200.000	IL.US
36	4.6	6.900.000	JP.GB	76	4.20	2.100.000	JP.SE
37	13.4	6.000.000	AT.JP	77	2.16	1.800.000	US.RU
38	10.10	5.700.000	TW.TW	78	6.6	1.700.000	GB.GB
39	1.4	5.700.000	FR.JP	79	19.19	1.700.000	CA.CA
40	19.4	5.500.000	CA.JP	80	1.17	1.700.000	FR.IL

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Rango	Vértices	Valor	Países
81	1.10	1.700.000	FR.TW
82	3.10	1.600.000	KR.TW
83	8.6	1.600.000	DE.GB
84	2.25	1.600.000	US.FI
85	8.5	1.500.000	DE.BE
86	12.2	1.500.000	CN.US
87	18.4	1.400.000	CH.JP
88	2.15	1.400.000	US.SA
89	2.23	1.400.000	US.ES
90	5.4	1.300.000	BE.JP
91	13.8	1.300.000	AT.DE
92	19.8	1.300.000	CA.DE
93	9.8	1.300.000	AU.DE
94	8.11	1.200.000	DE.NL
95	11.11	1.200.000	NL.NL
96	2.30	1.200.000	US.DK
97	33.2	1.200.000	JA.US
98	7.7	1.100.000	IE.IE
99	4.43	1.100.000	JP.NO
100	2.37	1.000.000	US.PT
101	4.21	1.000.000	JP.IN
102	17.17	1.000.000	IL.IL
103	4.26	1.000.000	JP.SG
104	13.13	1.000.000	AT.AT
105	6.8	1.000.000	GB.DE
106	2.35	1.000.000	US.KW
107	4.28	1.000.000	JP.LI
108	4.25	900.000	JP.FI
109	2.40	900.000	US.PH
110	10.8	900.000	TW.DE
111	10.3	900.000	TW.KR
112	34.2	900.000	DT.US
113	5.8	800.000	BE.DE
114	26.2	800.000	SG.US
115	6.10	800.000	GB.TW
116	1.5	800.000	FR.BE
117	1.8	800.000	FR.DE
118	5.10	800.000	BE.TW
119	8.9	800.000	DE.AU
120	2.29	800.000	US.HK

Rango	Vértices	Valor	Países
121	8.18	700.000	DE.CH
122	4.16	700.000	JP.RU
123	8.13	700.000	DE.AT
124	9.9	700.000	AU.AU
125	8.22	700.000	DE.IT
126	11.12	700.000	NL.CN
127	19.10	700.000	CA.TW
128	2.38	700.000	US.MY
129	30.2	700.000	DK.US
130	19.3	600.000	CA.KR
131	4.30	600.000	JP.DK
132	1.22	600.000	FR.IT
133	19.1	600.000	CA.FR
134	8.43	600.000	DE.NO
135	6.1	600.000	GB.FR
136	18.3	600.000	CH.KR
137	20.3	500.000	SE.KR
138	8.29	500.000	DE.HK
139	2.21	500.000	US.IN
140	11.5	500.000	NL.BE
141	9.3	500.000	AU.KR
142	9.10	500.000	AU.TW
143	6.3	500.000	GB.KR
144	2.42	500.000	US.TR
145	17.25	500.000	IL.FI
146	2.44	400.000	US.CL
147	28.2	400.000	LI.US
148	31.4	400.000	SU.JP
149	9.12	400.000	AU.CN
150	22.22	400.000	IT.IT
151	31.19	400.000	SU.CA
152	11.6	400.000	NL.GB
153	10.17	400.000	TW.IL
154	1.6	400.000	FR.GB
155	2.14	400.000	US.JE
156	10.12	400.000	TW.CN
157	19.22	400.000	CA.IT
158	2.27	400.000	US.ZA
159	9.6	400.000	AU.GB
160	1.19	400.000	FR.CA

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Anexo 5. Ranking del grado de entrada de citas entre países después del ADPIC (1996-2016).

Rango	Vértice	Valor	País
1	2	298.060.000	US
2	4	67.330.000	JP
3	8	10.720.000	DE
4	3	7.950.000	KR
5	10	7.540.000	TW
6	17	7.280.000	IL
7	19	4.490.000	CA
8	1	3.780.000	FR
9	6	2.320.000	GB
10	12	2.030.000	CN
11	5	1.870.000	BE
12	9	1.620.000	AU
13	18	1.500.000	CH
14	11	1.390.000	NL
15	22	1.100.000	IT
16	13	980.000	AT
17	7	570.000	IE
18	26	560.000	SG
19	20	560.000	SE
20	43	510.000	NO
21	16	350.000	RU
22	25	330.000	FI
23	30	260.000	DK
24	23	220.000	ES
25	15	160.000	SA
26	29	160.000	HK
27	21	150.000	IN
28	37	110.000	PT
29	28	100.000	LI
30	40	100.000	PH

Rango	Vértice	Valor	País
31	35	100.000	KW
32	38	90.000	MY
33	27	80.000	ZA
34	14	50.000	JE
35	42	50.000	TR
36	50	40.000	TT
37	44	40.000	CL
38	46	30.000	CZ
39	45	20.000	TH
40	36	20.000	BY
41	24	20.000	BG
42	48	20.000	MX
43	41	20.000	GE
44	54	20.000	GR
45	55	10.000	PL
46	56	10.000	UZ
47	53	10.000	AR
48	47	10.000	KY
49	51	10.000	LU
50	52	10.000	SI

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Anexo 6. Ranking del grado de salida de citas entre países después del ADPIC (1996-2016).

Rango	Vértice	Valor	País
1	2	227.910.000	US
2	4	142.140.000	JP
3	8	20.650.000	DE
4	1	4.690.000	FR
5	19	4.650.000	CA
6	9	3.550.000	AU
7	11	3.540.000	NL
8	3	3.100.000	KR
9	10	2.830.000	TW
10	6	2.540.000	GB
11	13	1.920.000	AT
12	5	1.890.000	BE
13	18	1.300.000	CH
14	20	680.000	SE
15	31	590.000	SU
16	32	500.000	DD
17	17	380.000	IL
18	23	360.000	ES
19	29	340.000	HK
20	22	300.000	IT
21	12	190.000	CN
22	7	150.000	IE
23	33	130.000	JA
24	26	110.000	SG
25	30	90.000	DK
26	34	90.000	DT
27	28	40.000	LI
28	16	40.000	RU
29	14	20.000	JE
30	24	20.000	BG
31	21	20.000	IN
32	15	10.000	SA
33	27	10.000	ZA
34	25	10.000	FI
35	53	0.0000	AR

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Anexo 7. Ranking del total de colaboraciones cognitivas entre y dentro de los países antes del ADPIC (1976-1996).

Rango	Vértices	Valor	Países
1	29-29	383.400.000	JP-JP
2	49-49	203.600.000	US-US
3	11-nov	30.200.000	DE-DE
4	44-44	19.500.000	SU-SU
5	17-17	15.000.000	FR-FR
6	18-18	7.300.000	GB-GB
7	35-35	2.900.000	NL-NL
8	06-jun	1.400.000	CA-CA
9	07-jul	1.400.000	CH-CH
10	27-27	1.100.000	JA-JA
11	02-feb	1.100.000	AU-AU
12	03-mar	1.000.000	BE-BE
13	26-26	900.000	IT-IT
14	47-47	800.000	TW-TW
15	29-49	600.000	JP-US
16	mar-49	400.000	BE-US
17	30-30	400.000	KR-KR
18	18-49	400.000	GB-US
19	29-33	300.000	JP-MX
20	41-41	300.000	SE-SE
21	26-49	200.000	IT-US
22	ago-49	200.000	CN-US
23	01-ene	200.000	AT-AT
24	10-oct	100.000	DD-DD
25	33-33	100.000	MX-MX
26	33-49	100.000	MX-US
27	13-13	100.000	DT-DT
28	08-ago	100.000	CN-CN

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Anexo 8. Ranking del total de colaboraciones cognitivas entre y dentro de los países después del ADPIC (1996-2016).

Rango	Vértices	Valor	Países
1	49-49	1.284.800.000	US-US
2	29-29	834.500.000	JP-JP
3	30-30	206.900.000	KR-KR
4	11-nov	158.600.000	DE-DE
5	47-47	132.500.000	TW-TW
6	08-ago	52.800.000	CN-CN
7	17-17	46.000.000	FR-FR
8	18-18	31.100.000	GB-GB
9	35-35	22.000.000	NL-NL
10	23-23	20.900.000	IL-IL
11	06-jun	19.800.000	CA-CA
12	02-feb	19.000.000	AU-AU
13	26-26	17.700.000	IT-IT
14	22-22	15.200.000	IE-IE
15	nov-49	14.500.000	DE-US
16	18-49	9.900.000	GB-US
17	15-15	8.200.000	ES-ES
18	20-20	8.000.000	HK-HK
19	03-mar	7.200.000	BE-BE
20	07-jul	6.500.000	CH-CH
21	01-ene	4.900.000	AT-AT
22	42-42	4.700.000	SG-SG
23	ago-49	4.500.000	CN-US
24	jun-49	4.400.000	CA-US
25	17-49	4.200.000	FR-US
26	29-49	3.900.000	JP-US
27	mar-49	3.200.000	BE-US
28	41-41	2.800.000	SE-SE
29	33-33	2.700.000	MX-MX
30	nov-17	2.600.000	DE-FR
31	21-21	2.400.000	HU-HU
32	35-49	2.400.000	NL-US
33	02-ago	2.400.000	AU-CN
34	50-50	2.100.000	ZA-ZA
35	18-29	2.000.000	GB-JP
36	36-36	1.900.000	NO-NO
37	47-49	1.900.000	TW-US
38	18-47	1.800.000	GB-TW
39	nov-35	1.800.000	DE-NL
40	nov-46	1.800.000	DE-TR

Rango	Vértices	Valor	Países
41	42-49	1.800.000	SG-US
42	34-34	1.700.000	MY-MY
43	23-49	1.600.000	IL-US
44	24-24	1.600.000	IN-IN
45	30-49	1.500.000	KR-US
46	03-nov	1.500.000	BE-DE
47	21-49	1.400.000	HU-US
48	16-49	1.400.000	FI-US
49	40-40	1.300.000	SA-SA
50	40-49	1.200.000	SA-US
51	29-47	1.100.000	JP-TW
52	nov-47	1.100.000	DE-TW
53	37-49	1.100.000	PH-US
54	39-39	1.100.000	RU-RU
55	16-16	1.100.000	FI-FI
56	37-37	1.100.000	PH-PH
57	15-49	1.000.000	ES-US
58	12-dic	1.000.000	DK-DK
59	14-14	1.000.000	EE-EE
60	43-43	1.000.000	SK-SK
61	nov-29	900.000	DE-JP
62	15-35	900.000	ES-NL
63	mar-29	800.000	BE-JP
64	24-49	700.000	IN-US
65	jul-49	700.000	CH-US
66	mar-17	700.000	BE-FR
67	07-nov	700.000	CH-DE
68	28-28	600.000	JE-JE
69	jun-15	600.000	CA-ES
70	32-32	600.000	LU-LU
71	46-46	600.000	TR-TR
72	08-nov	600.000	CN-DE
73	sep-29	500.000	CZ-JP
74	15-22	500.000	ES-IE
75	39-49	500.000	RU-US
76	ago-47	500.000	CN-TW
77	04-abr	400.000	BG-BG
78	ene-14	400.000	AT-EE
79	nov-36	400.000	DE-NO
80	03-abr	400.000	BE-BG

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Rango	Vértices	Valor	Países
81	nov-43	400.000	DE-SK
82	ene-35	400.000	AT-NL
83	35-41	400.000	NL-SE
84	dic-41	400.000	DK-SE
85	17-23	400.000	FR-IL
86	01-nov	400.000	AT-DE
87	19-19	300.000	GE-GE
88	nov-32	300.000	DE-LU
89	may-49	300.000	BR-US
90	25-49	300.000	IR-US
91	nov-41	300.000	DE-SE
92	29-30	300.000	JP-KR
93	45-49	300.000	TH-US
94	17-26	300.000	FR-IT
95	18-35	200.000	GB-NL
96	19-49	200.000	GE-US
97	26-49	200.000	IT-US
98	nov-48	200.000	DE-UA
99	dic-35	200.000	DK-NL
100	38-38	200.000	PT-PT
101	39-42	200.000	RU-SG
102	41-49	200.000	SE-US
103	16-29	200.000	FI-JP
104	48-48	200.000	UA-UA
105	09-sep	100.000	CZ-CZ
106	20-47	100.000	HK-TW
107	02-nov	100.000	AU-DE
108	20-49	100.000	HK-US
109	05-may	100.000	BR-BR
110	25-25	100.000	IR-IR
111	31-31	100.000	LI-LI
112	jun-20	100.000	CA-HK
113	jun-37	100.000	CA-PH
114	03-jul	100.000	BE-CH
115	01-jul	100.000	AT-CH
116	36-41	100.000	NO-SE
117	45-45	100.000	TH-TH
118	48-49	100.000	UA-US
119	17-18	100.000	FR-GB
120	ago-24	100.000	CN-IN

Fuente: Elaboración propia con datos de patentes de la USPTO y el software Pajek (2016).

Anexo 9. Citas históricas por año y países más citados (1944-2011).

Año	Total citas por año	Citas por país										
		US	JP	DE	KR	TW	NL	GB	FR	CN	CA	CH
1944	98	21		5			1	45				26
1945	22	3										19
1946	33	1					5	2				23
1947	46	4					18	9				9
1948	46	30		2					8			6
1949	415	359		18				19				19
1950	234	73		94			4	24	3			13
1951	666	446		181			3	10	1			24
1952	464	206		109			15	5				114
1953	561	145		103			2	92	126			88
1954	690	188		314			62	57	9		11	36
1955	888	542		151			167	6				22
1956	516	188		90			61	71	47			52
1957	502	191		77			116	36	10			28
1958	617	306		203			59	22	2			19
1959	812	421	2	185			53	19	30			42
1960	1112	556		354			87	20	13			59
1961	1122	530	8	353			54	33	29		20	73
1962	801	483		164			52	34	17			36
1963	1124	579		305			106	25	26			42
1964	1564	852	9	313			116	136	32			21
1965	2068	1260		313			156	106	32			43
1966	3153	1877		283			266	382	94			57
1967	4279	2597	195	380			417	354	197		1	58
1968	4632	2606	345	458	3		312	549	99		32	66
1969	4612	2440	420	650			367	217	113		51	92
1970	3430	1871	365	475			286	101	123		1	100
1971	5741	2790	360	543			617	245	260		69	319
1972	7813	4359	835	802			593	168	510		88	66
1973	10751	5833	1576	982			570	523	634		33	133
1974	15333	9816	1930	1060			418	422	643		148	199
1975	20462	12887	3407	1374			558	643	735		72	283
1976	20407	12051	3407	1710			680	418	978		231	251
1977	22401	13607	3703	1562		22	714	356	1151		159	456
1978	24600	14925	4341	2070			565	448	824		143	233
1979	28040	14049	7118	2860			545	464	1232		191	274
1980	31535	17288	7663	2345	1		869	885	1070		114	366
1981	33421	16853	9013	2493	10		813	1013	1089	70	224	427
1982	35869	17400	10850	2180	30		1054	810	1053	22	845	332
1983	36893	18773	10951	2359	7	16	883	1346	1089	7	230	330
1984	41748	21563	11728	2287	6	276	839	1123	1087	7	311	762
1985	42989	21896	12664	2417	54	22	955	1111	1230	57	365	798
1986	49347	25660	14519	3209	63	57	827	1222	1373	149	239	542
1987	57895	28902	18184	3986	291	126	1315	1137	1275	233	253	336
1988	63211	29998	21658	3447	603	90	1488	1155	1595	74	411	761
1989	68237	33423	21664	3901	656	196	1239	2307	1535	221	387	675
1990	85729	41160	26678	4044	1109	533	2546	2385	1707	498	688	515
1991	94980	46007	33840	4207	2513	764	1270	1023	1816	90	260	700
1992	104334	51901	34530	4547	2795	1249	1423	1527	1428	261	723	943
1993	107509	50717	39534	4236	3607	1387	675	1472	1317	95	1003	551
1994	122129	56445	42290	5141	3709	4391	1266	1362	1337	359	756	561
1995	128767	59576	41611	6097	6137	4485	1105	1005	1543	948	1017	813
1996	146500	65718	43099	6779	8677	6720	1319	1881	1808	1110	1035	1290
1997	172220	75818	49304	7281	7601	9813	1880	2791	1819	1721	1143	910
1998	176330	76121	45961	9267	8300	11770	2675	3543	2060	2931	799	970
1999	178609	73796	47663	8792	8968	11125	3810	3004	2369	2760	1086	852
2000	181265	65854	57041	9956	9810	7171	3730	4768	2353	2411	1548	1085
2001	194971	72138	60814	9840	12445	8068	4414	4405	2230	2954	2186	957
2002	181091	67293	52868	10009	11068	8842	3002	3856	1854	4653	1859	1350
2003	175118	59177	49836	9021	13315	7993	6622	3260	2344	5522	1874	790
2004	140443	43631	40402	8812	12974	6337	5187	2892	2124	4010	1459	938
2005	102379	31289	28864	6847	10642	4029	2502	1988	1557	3644	1272	538
2006	72871	20253	19652	5447	8146	3144	1818	1438	1164	2707	1022	539
2007	46749	13202	12059	3841	5053	1948	762	1020	876	2065	784	316
2008	26815	7206	7187	2706	2519	971	395	564	479	1163	374	262
2009	11289	3065	3065	1164	767	447	225	203	200	513	174	107
2010	2388	664	688	157	137	110	43	49	38	169	51	25
2011	141	49	46	11	8	7	1	2		2	3	1
Total general	3,103,827	1,321,928	904,028	175,369	142,024	102,109	64,997	62,608	52,797	41,426	25,745	23,743
	100%	43%	29%	6%	5%	3%	2%	2%	2%	1%	1%	1%

Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

Anexo 10. Total de citas por país históricamente (1944-2011).

N	P	C	N	P	C	N	P	C	N	P	C	N	P	C	N	P	C	N	P	C
1	US	1,321,928	26	KY	3255	51	BR	487	76	LK	141	101	AE	52	126	BN	23	151	JE	9
2	JP	904,028	27	ES	2262	52	BY	484	77	SK	141	102	EP	49	127	AP	23	152	SH	9
3	DE	175,369	28	PH	2256	53	BG	479	78	PA	137	103	ZW	44	128	CM	22	153	TZ	9
4	KR	142,024	29	SU	2030	54	TH	473	79	MA	123	104	SV	42	129	BA	20	154	QA	8
5	TW	102,109	30	DK	1939	55	BD	463	80	GI	122	105	KZ	42	130	CF	19	155	GY	8
6	NL	64,997	31	PL	1878	56	CZ	461	81	HR	122	106	KN	40	131	UY	18	156	UG	8
7	GB	62,608	32	AN	1777	57	BM	456	82	SI	121	107	DO	40	132	EC	18	157	IQ	7
8	FR	52,797	33	IR	1658	58	JO	425	83	CY	108	108	VE	38	133	BU	16	158	GM	7
9	CN	41,426	34	GR	1539	59	TN	396	84	LB	108	109	MC	35	134	KO	16	159	DM	5
10	CA	25,745	35	NO	1484	60	AR	345	85	GE	102	110	BS	34	135	AL	15	160	UZ	5
11	CH	23,743	36	UA	1393	61	PK	336	86	EE	101	111	TC	34	136	SN	15	161	GG	5
12	IN	22716	37	DD	1279	62	BB	314	87	SA	101	112	ST	32	137	BW	15	162	GD	4
13	SG	20761	38	VG	1197	63	CO	303	88	GT	87	113	LR	31	138	IM	15	163	AF	4
14	IT	14176	39	TR	1092	64	IS	265	89	LT	86	114	SC	31	139	BO	15	164	DJ	4
15	SE	13551	40	NG	1075	65	NP	246	90	CR	85	115	RW	31	140	CI	14	165	KH	4
16	IL	12632	41	ZA	1041	66	MU	243	91	CL	79	116	BZ	30	141	MN	14	166	ML	4
17	BE	12500	42	ID	947	67	VN	242	92	OT	72	117	MT	30	142	KW	14	167	AX	3
18	AT	9526	43	EG	889	68	JM	202	93	CS	72	118	AM	29	143	SW	12	168	SZ	3
19	AU	6925	44	PT	778	69	PE	201	94	LV	70	119	MS	27	144	FJ	12	169	HN	2
20	RU	6447	45	HU	725	70	KP	198	95	TT	68	120	MM	27	145	MK	11	170	MD	2
21	FI	6156	46	YU	716	71	DZ	154	96	NI	64	121	GA	27	146	AS	11	171	CG	1
22	LI	4751	47	RO	703	72	NE	148	97	CU	60	122	UK	26	147	GC	10	172	NY	1
23	IE	4097	48	LU	662	73	KE	147	98	RS	59	123	PR	26	148	NA	10	173	WS	1
24	MY	3884	49	NZ	529	74	un	146	99	GH	58	124	SD	25	149	AZ	10	174	CK	1
25	HK	3882	50	MX	507	75	ET	144	100	LA	56	125	TK	24	150	MG	9			

Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

Anexo 11. Citas por año y número de patentes (1955-2008).

Año	No. Patentes	Citas por año	Año	No. Patentes	Citas por año
1955	47	15,57894737	1982	2229	1195,633333
1956	52	9,214285714	1983	2361	1272,172414
1957	65	9,127272727	1984	2726	1491
1958	98	11,42592593	1985	2862	1592,185185
1959	123	15,32075472	1986	3040	1897,961538
1960	143	21,38461538	1987	3555	2315,8
1961	154	22	1988	3978	2633,791667
1962	104	16,02	1989	4260	2966,826087
1963	172	22,93877551	1990	5017	3896,772727
1964	172	32,58333333	1991	5564	4522,857143
1965	231	44	1992	5732	5216,7
1966	344	68,54347826	1993	6012	5658,368421
1967	464	95,08888889	1994	6314	6784,944444
1968	545	105,2727273	1995	7765	7574,529412
1969	548	107,255814	1996	9587	9156,25
1970	445	81,66666667	1997	11551	11481,33333
1971	519	140,0243902	1998	13670	12595
1972	677	195,325	1999	15919	13739,15385
1973	838	275,6666667	2000	17208	15105,41667
1974	1111	403,5	2001	19924	17724,63636
1975	1403	553,027027	2002	20079	18109,1
1976	1422	566,8611111	2003	22419	19457,55556
1977	1498	640,0285714	2004	23551	17555,375
1978	1567	723,5294118	2005	22450	14625,57143
1979	1782	849,6969697	2006	20826	12145,16667
1980	1984	985,46875	2007	16874	9349,8
1981	2139	1078,096774	2008	12306	6703,75

Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

Anexo 12. Número de patentes antes y después de TRIPS (1944-2011).

País	Patentes antes de TRIPS	Patentes después de TRIPS	País	Patentes antes de TRIPS	Patentes después de TRIPS
US	32145	64061	RO	3	94
JP	24234	67732	ID	5	91
KR	2062	27038	IR	14	81
DE	8184	16565	CZ	11	74
TW	702	13786	LU	24	59
FR	3000	3773	BG	18	51
NL	1960	4332	NZ	6	61
GB	2123	3942	HU	20	44
CN	143	5642	MX	11	49
CH	1075	1491	BR	11	48
SG	55	2466	TH	5	49
CA	545	1800	BY	5	47
IN	55	1927	PT	5	43
IT	675	1120	BB		47
BE	210	1314	YU	2	42
AT	301	1078	AR	8	34
SE	340	880	NG		42
IL	133	817	TN		39
RU	111	652	VN		36
AU	162	496	BD	1	33
MY	18	540	EG	3	29
LI	281	170	IS	1	29
DD	428	17	AN	4	22
FI	86	345	KP	5	20
KY	7	406	SI	3	20
SU	392	7	LK		22
HK	24	335	CO	3	19
IE	45	308	PK	4	17
ES	62	279	SK		21
DK	100	235	NP		21
PH	3	192	CY	2	18
NO	30	140	MU		20
PL	8	137	JO	1	18
VG	20	110	DZ	1	18
UA	20	109	MA	4	14
BM	4	125	LB		17
ZA	46	69	GE		16
TR	8	100	CS	10	6
GR	14	85	Total general	80,062	226,364

Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

Anexo 13. Número de patentes por sector (1955-2008).

Año	Company	Individual	University	Government
1955	43	4	0	0
1956	40	1	0	2
1957	55	6	0	1
1958	86	8	0	0
1959	107	12	0	0
1960	125	9	0	1
1961	126	15	1	0
1962	93	11	0	2
1963	146	25	0	1
1964	144	26	0	4
1965	200	24	0	5
1966	312	28	0	8
1967	400	39	0	8
1968	482	29	0	18
1969	488	43	0	15
1970	388	37	0	8
1971	410	42	0	15
1972	565	42	3	17
1973	714	50	2	26
1974	932	65	8	59
1975	1148	106	12	59
1976	1147	119	14	70
1977	1183	156	11	88
1978	1247	159	21	97
1979	1404	216	31	93
1980	1594	214	40	94
1981	1783	231	20	93
1982	1847	228	28	115
1983	2018	250	28	113
1984	2319	381	51	121
1985	2450	419	40	130
1986	2643	463	41	115
1987	3080	696	69	133
1988	3414	814	108	156
1989	3635	942	100	163
1990	4391	999	81	174
1991	4818	1184	94	176
1992	4938	1116	115	195
1993	5119	1580	137	191
1994	5393	1890	130	247
1995	6717	2427	152	294
1996	8246	2865	170	310
1997	9816	3405	194	352
1998	11326	4640	218	336
1999	13301	5876	296	359
2000	14151	6812	311	349
2001	16105	8014	415	412
2002	16297	7673	474	466
2003	17632	9542	568	533
2004	18390	11239	633	555
2005	17371	10791	780	494
2006	15587	10386	784	532
2007	12408	8852	682	472
2008	8832	6702	531	338
Total general	247,606	111,903	7,393	8,615

Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

Anexo 14. Número de referencias a patentes y a otra literatura (1944-2008).

Año	Ref_pat	Ref_npl
1955	178	5
1956	215	7
1957	350	8
1958	460	4
1959	652	13
1960	794	5
1961	776	5
1962	403	9
1963	609	16
1964	593	21
1965	684	32
1966	1037	30
1967	1133	79
1968	1057	143
1969	1453	405
1970	1144	552
1971	1443	541
1972	2063	655
1973	2220	630
1974	3523	695
1975	7585	1286
1976	8002	1594
1977	8963	2072
1978	10730	2453
1979	12685	3206
1980	12759	3509
1981	12135	3217
1982	13769	3670
1983	15493	3855
1984	21952	5500
1985	23849	6095
1986	26298	7267
1987	29467	8426
1988	29971	9675
1989	32629	9126
1990	42012	15803
1991	53123	14919
1992	57828	18026
1993	59385	16578
1994	62119	17156
1995	77521	19833
1996	113498	29814
1997	139139	38361
1998	163149	45241
1999	167574	44743
2000	218660	56616
2001	250425	78200
2002	259757	98580
2003	309356	96836
2004	343100	114799
2005	301081	96224
2006	248588	80702
2007	210653	61536
2008	129779	36544
Total	3,493,821	1,055,317

Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

Anexo 15. Número de referencias a patentes por país (1944-2008).

País	No. Ref. Patent.								
US	1432634	BM	1580	HR	190	MM	48	CK	14
JP	957237	LU	1347	TT	174	DO	45	CG	11
DE	219000	NP	1267	SD	166	GY	40	QA	10
KR	195456	ZA	1226	GE	164	UK	40	EP	7
TW	118269	TH	1175	ET	150	UY	38	BU	7
NL	83367	BB	1131	MA	136	GA	38	KH	6
CN	75713	BG	1094	AE	135	GC	37	CI	4
GB	72757	AN	1092	AL	134	IM	37	KO	4
FR	62162	HU	1051	GH	129	MG	34	WS	3
SG	41372	SU	1035	CL	125	AP	33	BW	3
CA	40785	TN	1022	KE	125	EE	33	MS	3
IN	39744	NG	999	JM	124	NA	33	GM	3
CH	24607	BY	970	GI	123	PR	32	NY	3
IT	18865	MX	937	un	117	SC	32	TK	2
IL	18743	YU	808	NE	117	SH	32	MD	1
BE	18542	NZ	792	MT	114	AS	31	UG	0
AT	14000	BR	672	PA	111	TC	27	AF	0
SE	13868	PT	621	LV	111	CF	27	DM	0
RU	11761	VN	613	SV	105	SZ	27		
AU	10355	AR	557	BN	97	BZ	26		
KY	7306	BD	522	BO	96	GD	25		
IE	6927	MU	497	JE	90	RW	25		
MY	6750	DD	494	CS	86	MN	22		
FI	6543	IS	463	AM	84	OT	22		
HK	6278	DZ	434	VE	80	KW	22		
LI	4236	JO	428	LR	77	ML	21		
ES	3926	LB	366	KZ	68	ST	21		
PH	3924	CY	342	GT	67	BA	20		
DK	3492	EG	341	TZ	65	SN	20		
PL	3079	CO	328	MC	64	UZ	19		
UA	2388	RS	318	SA	63	AZ	19		
TR	2011	KP	299	CR	61	DJ	19		
IR	1908	PK	297	EC	61	GG	18		
RO	1854	NI	292	KN	60	IQ	18		
VG	1798	SK	290	LA	56	AX	17		
NO	1686	LK	263	CU	55	HN	17		
ID	1682	PE	200	FJ	52	SW	16		
CZ	1670	SI	196	MK	51	CM	16		
GR	1621	LT	195	ZW	50	BS	15		

Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).

Anexo 16. Número de referencias a otra literatura por país (1944-2008).

País	No. Ref. LnP								
US	552441	NP	748	LK	153	BO	19	MK	4
JP	182616	PH	686	AE	150	SA	19	MC	4
DE	60757	GR	664	PT	117	SV	18	TK	4
KR	30629	AL	655	un	109	KO	18	MM	4
GB	29670	LI	653	CO	98	GE	17	MN	3
CN	27739	VG	604	DZ	95	GI	17	DO	3
TW	25881	CZ	603	MT	83	ET	17	UZ	3
FR	23924	BB	568	NI	76	GH	16	CM	3
NL	23774	NO	519	MU	72	LA	16	SZ	2
CA	15507	BY	484	LT	67	BS	15	AS	2
IN	15191	BG	481	SI	64	SN	15	BZ	2
CH	8694	NZ	431	MA	57	KE	14	PR	2
SG	7747	JO	376	TT	57	DJ	13	SC	2
IL	6835	MX	373	DD	54	PA	13	GG	1
IT	6480	ID	330	AP	53	EC	12	MS	1
BE	5739	SU	314	JM	43	JE	11	NA	1
SE	5510	LB	295	RS	42	GY	10	MD	1
RU	4517	YU	263	SK	41	ZW	10	ML	1
AT	3883	TN	255	IM	39	CR	10	BN	1
IE	3669	BD	254	EE	32	BW	9	AF	1
AU	3418	LU	226	SD	32	HN	8	KH	1
FI	2977	BM	224	TZ	29	BA	8	GM	0
ES	2906	AR	211	HR	27	CK	8	OT	0
KY	2594	KZ	210	GT	27	GA	7	QA	0
PL	2211	HU	201	AM	26	IQ	7	NY	0
HK	1687	VN	190	PE	25	KW	7	BU	0
UA	1275	EG	189	CL	25	AZ	6	GD	0
AN	1230	BR	188	VE	25	LR	6	CI	0
MY	1210	TH	186	NE	24	CF	6	UG	0
IR	1162	IS	179	LV	23	MG	5	SW	0
TR	890	KP	178	SH	22	ST	5	EP	0
ZA	850	PK	175	CS	21	UK	5	TC	0
DK	794	CY	166	GC	21	RW	4	AX	0
RO	782	NG	162	FJ	21	UY	4	KN	0

Fuente: Elaboración propia con datos de PATSTAT (2015).