

## EJERCICIO DE PROSPECTIVA TECNOLÓGICA EN CENTROS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO (CIyDT)

EUGENIO LÓPEZ-ORTEGA  
Instituto de Ingeniería, UNAM  
elopez@iingen.unam.mx

NADA CASTILLO-CAMARENA  
Instituto de Ingeniería - UNAM  
ncastilloc@iingen.unam.mx

### RESUMEN

Se presenta una propuesta metodológica para realizar un proceso de Prospectiva Tecnológica (PT) en un centro de investigación y desarrollo. La propuesta se sustenta en un análisis bibliométrico previo en el que se observa un dinámico crecimiento de los ejercicios de prospectiva tecnológica en los últimos 10 años. También se identificaron, entre otros aspectos, las principales técnicas utilizadas en buena parte de los ejercicios documentados de PT. Además de las técnicas de consulta a expertos para promover el análisis colectivo y la generación de conocimientos, y la de escenarios para presentar los resultados de los ejercicios, se observa la inserción de ejercicios de *technology mining*.

El trabajo propone tres etapas en la realización de ejercicios de PT: pre-prospectiva, prospectiva y post-prospectiva. Para cada etapa se reseñan las actividades a realizar para alcanzar los resultados parciales.

Se presentan los primeros resultados de la aplicación de la metodología propuesta en un centro de investigación y desarrollo tecnológico (CIyDT) universitario: el Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM). El tema de aplicación corresponde al análisis de los riesgos naturales en ingeniería civil que representa una de las mayores competencias de la organización.

Si bien la aplicación de la propuesta metodológica no se ha finalizado, en las primeras actividades realizadas se han alcanzado resultados positivos.

**Palabras clave:** prospectiva tecnológica, prospectiva corporativa, análisis bibliométrico, centros de investigación y desarrollo tecnológico.

### 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo al ILPES (Armijo, 2011), la planeación estratégica es una herramienta de gestión dirigida a apoyar las decisiones de las organizaciones con el fin de adecuar su desarrollo ante los cambios y demandas que le imponen su entorno.

Una de las principales fuentes de cambio en el entorno corresponde a la tecnología. (Roper et al, 2011). En el caso de los Centros de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CIyDT), el principal producto que generan se encuentra estrechamente ligado a la tecnología; de esta manera, para la adecuada conducción de su desarrollo resulta fundamental anticipar los cambios tecnológicos en sus áreas de interés. Además, la construcción de competencias en un CIyDT requiere de varios años en los que se deben formar e integrar recursos humanos altamente capacitados, desarrollar instalaciones y laboratorios experimentales competentes y acumular experiencia en la realización de proyectos exitosos en los temas tecnológicos a atender. Por consiguiente, un lugar idóneo para realizar este tipo de ejercicios son los CIyDT por dos razones:

- La necesidad de generar entendimiento sobre las tendencias tecnológicas con el fin de establecer los caminos a seguir en el mediano y largo plazos y,

- La capacidad con la que cuenta este tipo de organizaciones para emprender tales ejercicios: expertos en los temas de investigación de interés.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM) es un CIyDT universitario creado hace 60 años que forma parte de la Universidad Nacional Autónoma de México. El IIUNAM inició un proyecto dirigido a identificar los temas de investigación que resultaran estratégicos para su desarrollo o consolidación en el mediano y largo plazos. Este proyecto se denominó Temas Estratégicos de Investigación (TEI). Como parte de este proyecto se construyó una herramienta de cómputo que permite generar información bibliográfica para analizar el desarrollo de los conocimientos que se difunden en temas tecnológicos específicos. De acuerdo con Porter y Cunningham (2005) al proceso de compilar y analizar información bibliográfica contenida en bases de datos científicas y tecnológicas se le ha llamado minería tecnológica o *tech mining* por su nombre en inglés.

Como parte de la evolución del proyecto TEI, se consideró pertinente iniciar ejercicios de prospectiva tecnológica aprovechando la información que se genera a través de la herramienta desarrollada de minería tecnológica. En una organización, y en particular en un CIyDT, la prospectiva tecnológica facilita la formulación de estrategias y la identificación de áreas prioritarias (Öner & Göl, 2007) (Laliene & Liepe, 2015).

El trabajo presenta una revisión del tema de prospectiva tecnológica con el fin de sustentar el diseño de un proceso sistemático dentro de un CIyDT que genere conocimientos que apoyen la planeación de mediano y largo plazos. Con base en esta revisión se propone una metodología de la cual se ha iniciado su aplicación en un tema de interés para el IIUNAM.

## **2. ESTUDIO BIBLIOMÉTRICO SOBRE PROSPECTIVA TECNOLÓGICA**

### *2.1 Fuentes de información seleccionadas*

La primera actividad consistió en realizar una revisión bibliográfica del tema. Para ello se utilizó la herramienta desarrollada por el IIUNAM dirigida a facilitar la realización de análisis bibliométricos. Esta herramienta se le denomina Sistema de Cómputo para la Inteligencia Tecnológica (SCIT).

El SCIT consiste en una base de datos que toma información de bases académicas tales como *Scopus* o *Web of Knowledge*. En particular el SCIT procesa información contenida en *Scopus* y la carga a una base de datos que contiene información de las fuentes relevantes en las que se difunde el conocimiento relacionado con cada tema de interés para el IIUNAM.

Las fuentes de información que se consideran relevantes para cada tema de interés (revistas y congresos), son determinadas por los propios académicos involucrados en dichos temas. De esta manera, el SCIT contiene información bibliográfica de los artículos publicados en las fuentes de información señaladas por los académicos. La información que se captura es la siguiente:

- Título del artículo y palabras clave que lo identifican
- Autores e instituciones de adscripción así como el país al que pertenece cada institución
- Datos de publicación: nombre de revista o congreso, volumen, número y año.
- Referencias de los artículos, identificando año y fuente en la que se publicó.

Para realizar el estudio bibliométrico sobre prospectiva tecnológica, en primer lugar se identificaron las revistas que contenían el mayor número de trabajos relacionados con las palabras clave *foresight* y *technology forecasting*. Se seleccionaron 20 revistas que contenían trabajos publicados durante el periodo 2005 a 2015 y relacionados con dichas palabras clave. La información de estas revistas fue importada al SCIT. Con base en el análisis de esta información fueron eliminadas siete fuentes de información que se consideraron no relevantes en la difusión de experiencias y conocimientos relacionados con el tema de prospectiva tecnológica.

Las 13 revistas con las que se continuó el análisis del tema fueron las siguientes:

1. Foresight,
2. Futures,
3. International Journal of forecasting,
4. International Journal of Foresight and Innovation Policy,
5. Journal of Future Studies,
6. Long Range Planning,
7. Research Policy,
8. Research Technology Management,
9. Science and Public Policy,
10. Scientometrics,
11. Technological Forecasting and Social Change,
12. Technology Analysis and Strategic Management
13. Technovation.

A partir de la información contenida en el SCIT de estas revistas, se obtuvieron los resultados que a continuación se señalan.

## 2.2. Resultados del estudio bibliométrico

Se identificaron 471 artículos relacionados con el tema de prospectiva tecnológica publicados durante el periodo 2005-2015 en las 13 revistas señaladas.

La tabla 1 muestra los países que registran mayor presencia en la difusión de trabajos en el tema de prospectiva tecnológica. Los 15 países señalados participaron con casi el 80% de los trabajos identificados.

*Tabla 1. Países con mayor producción de artículos sobre prospectiva tecnológica (2005-2015)*

No.	País	No. de documentos	% participación	% participación acumulada
1	UNITED STATES OF AMERICA	70	14.9%	14.9%
2	UNITED KINGDOM	64	13.6%	28.5%
3	GERMANY	45	9.6%	38.0%
4	AUSTRALIA	25	5.3%	43.3%
5	FINLAND	22	4.7%	48.0%
6	SPAIN	21	4.5%	52.4%
7	ITALY	20	4.2%	56.7%
8	TAIWAN	18	3.8%	60.5%
9	NETHERLANDS	18	3.8%	64.3%
10	FRANCE	15	3.2%	67.5%
11	SOUTH KOREA	13	2.8%	70.3%
12	DENMARK	12	2.5%	72.8%
13	TURKEY	11	2.3%	75.2%
14	JAPAN	11	2.3%	77.5%
15	NORWAY	7	1.5%	79.0%

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las instituciones más relevantes en la producción de trabajos relacionados con el tema de PT, la tabla 2 muestra a las primeras 15 en cuanto al número de artículos publicados; estas instituciones concentran casi el 40% del total en el periodo analizado.

*Tabla 2. Principales instituciones generadoras de artículos sobre PT (2005-2015)*

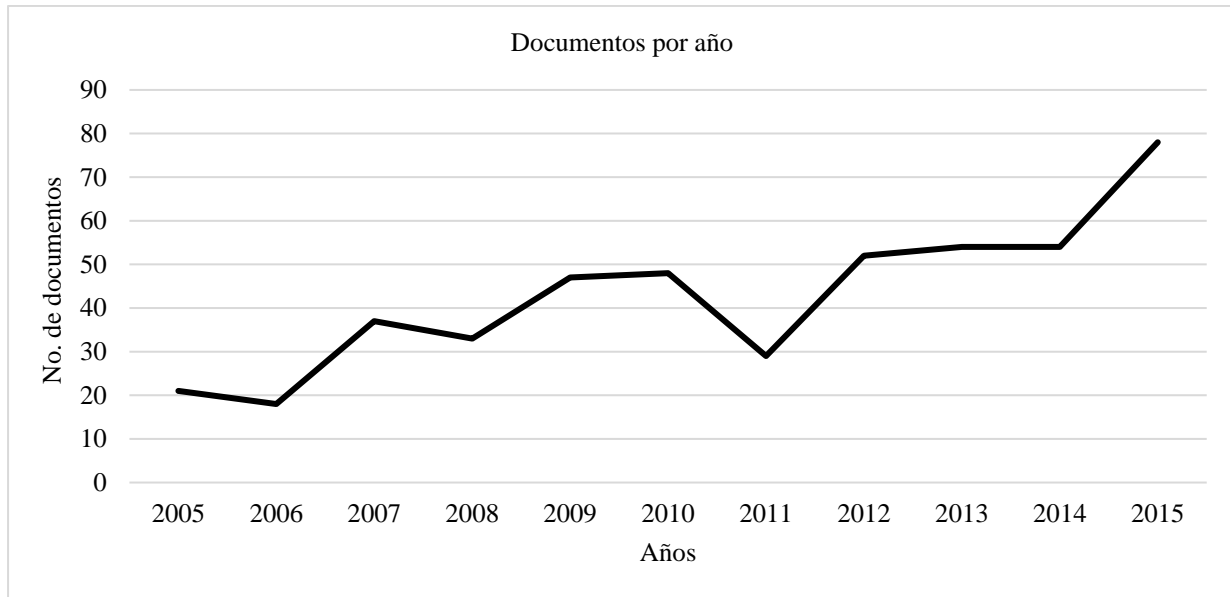
No.	Institución	País	% participación	% acumulado
1	UNIVERSITY OF MANCHESTER	UNITED KINGDOM	4.5%	4.5%
2	UNIVERSITY OF GYEONGJU	SOUTH KOREA	4.2%	8.7%
3	PORTLAND STATE UNIVERSITY	USA	3.8%	12.5%
4	VTT TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND	FINLAND	3.4%	15.8%
5	FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SYSTEMS AND INNOVATION RESEARCH	GERMANY	3.0%	18.9%
6	POLYTECHNIC OF MILANO	ITALY	3.0%	21.9%
7	HIGHER SCHOOL OF ECONOMICS NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY	RUSIA	2.6%	24.5%
8	NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY	TAIWAN	2.3%	26.8%
9	TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK	DENMARK	2.3%	29.1%
10	UNIVERSITY OF AARHUS	DENMARK	2.3%	31.3%
11	UNIVERSITY OF AALTO	FINLAND	1.9%	33.2%
12	UNIVERSITY OF TECHNOLOGY OF DELFT	NETHERLANDS	1.9%	35.1%
13	UNIVERSITY OF HOUSTON	USA	1.5%	36.6%
14	IMPERIAL COLLEGE LONDON	UNITED KINGDOM	1.5%	38.1%
15	NATIONAL CHENG KUNG UNIVERSITY	TAIWAN	1.5%	39.6%

Fuente: Elaboración propia

La figura 1 muestra un dinámico crecimiento en el número de trabajos relacionados con el tema de PT publicados por año durante el periodo 2005 al 2015. La tasa de crecimiento promedio anual de crecimiento durante el periodo fue del 14.0% anual.

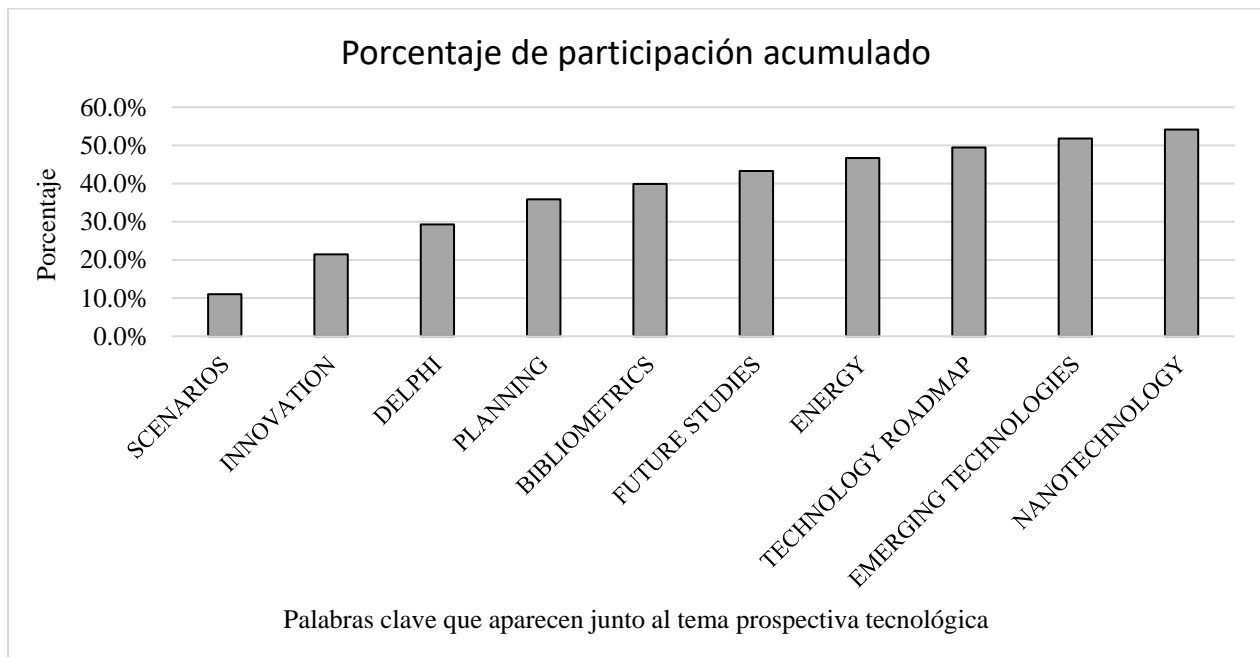
La figura 2 muestra las palabras clave que más frecuentemente aparecen en los artículos relacionados con el tema de prospectiva tecnológica. Las 10 palabras clave que aparecen en la figura son señaladas en el 55% de los artículos.

Figura 1. Tendencia en el número de documentos publicados sobre PT (2005-2015)



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Palabras clave más frecuentes asociadas al tema de PT (2005-2015)



Fuente: Elaboración propia

Las 10 palabras clave que se muestran en la figura 2 comprenden todas sus posibles variantes; es decir, la palabra clave Delphi comprende las diversas formas en las que se señala esta técnica en los artículos analizados: Delphi, Delphi method(s), Delphi technique(s), etc. Estas 10 palabras aparecen en el 55% de los documentos relacionados con prospectiva tecnológica.

De las 10 palabras clave, cuatro expresan técnicas utilizadas en los ejercicios de PT como es el caso de Escenarios, método Delphi, Bibliometría y Mapas de desarrollo tecnológico (*Technology roadmap*). El método Delphi es utilizado para realizar consultas estructuradas a expertos en los

temas tecnológicos a analizar. Los análisis bibliométricos son utilizados como información de referencia con el fin de presentar un estado del arte a los expertos al iniciar las consultas.

Las técnicas de escenarios y mapas de desarrollo tecnológico (*technology roadmaps*) se refieren a las técnicas utilizadas para presentar los resultados obtenidos en los ejercicios de prospectiva tecnológica.

Otras tres palabras clave de las 10 mostradas en la figura 2 expresan el tema del que han sido objeto los ejercicios documentados relacionados con prospectiva tecnológica. Es el caso de Energía, Nanotecnología y Tecnologías emergentes, que corresponden a las áreas de mayor interés reciente en los estudios de PT.

Las tres palabras clave restantes se refieren al objetivo de los trabajos de PT; es decir, los trabajos tienen como fin servir a la Planeación, para analizar los futuros más probables (*Future studies*) o para orientar las acciones dirigidas a la Innovación.

Con base en los resultados mostrados, se analizaron diversos trabajos con el fin de identificar la manera en que se combinaban las técnicas utilizadas en el desarrollo de ejercicios de PT. Este análisis permitió desarrollar la propuesta metodológica para realizar ejercicios de PT en CIyDT, la que se presenta en la siguiente sección.

### **3. DISEÑO DE UN PROCESO DE PROSPECTIVA TECNOLÓGICA**

#### *3.1 Bases para el diseño*

La figura 3 presenta un esquema de la propuesta para la realización de ejercicios de PT en CIyDT. En primer lugar se adoptó la idea relativa a que los ejercicios de PT pasan por tres etapas:

- Pre-prospectiva. Preparación del ejercicio, que incluye acuerdos con la dirección del CIyDT, determinación de temas de interés, identificación de fuentes de información relevantes, etc.
- Prospectiva. Desarrollo del ejercicio en el que se generan nuevos conocimientos
- Post-prospectiva. En donde se utilizan los resultados del ejercicio para aplicarlos a diferentes fines relacionados con la planeación institucional.

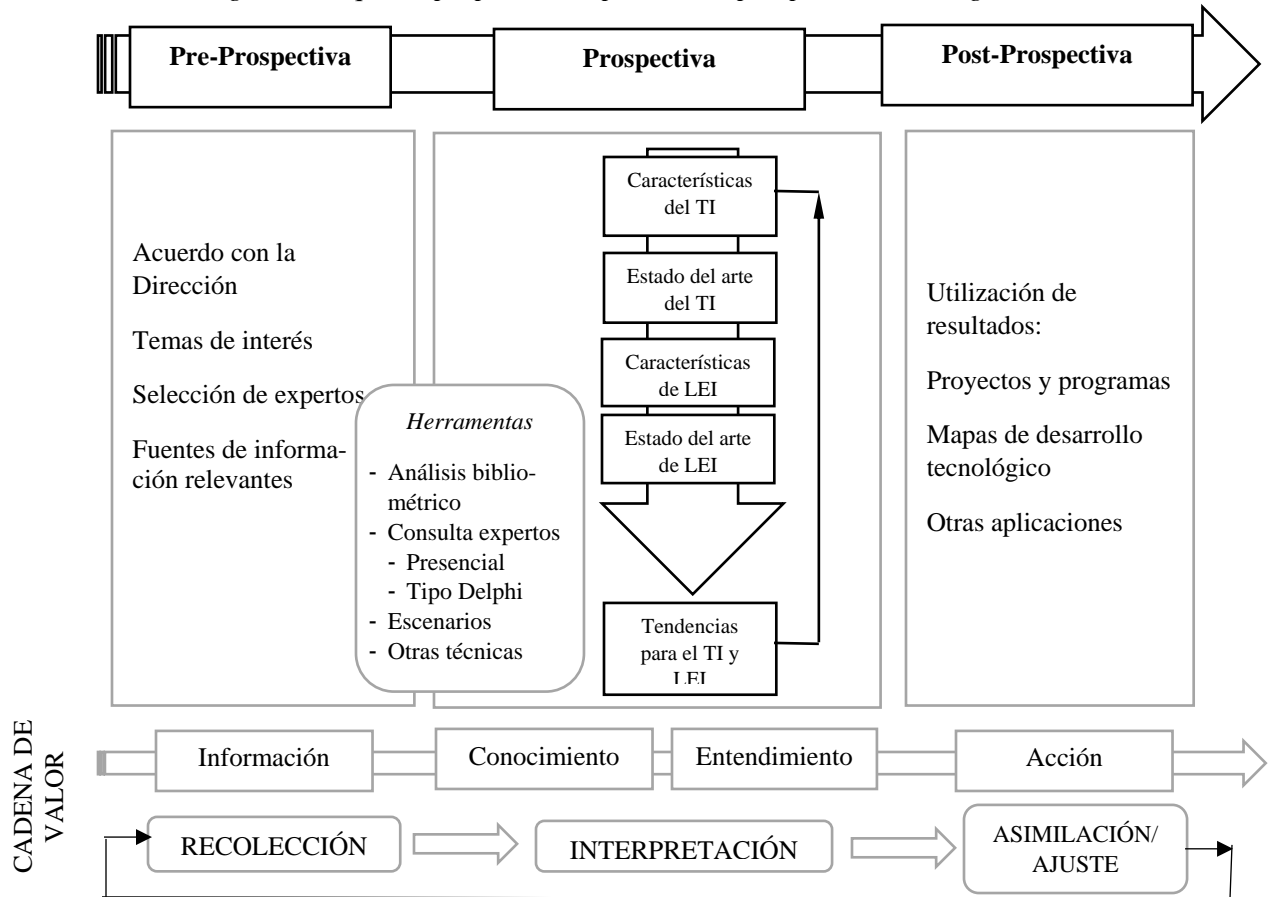
Asimismo, en la etapa de prospectiva resulta pertinente iniciar con el análisis de un Tema de Investigación (TI) que resulte de interés para el CIyDT y, posteriormente, identificar y analizar las Líneas Específicas de Investigación (LEI) que la organización cultiva o pretende cultivar. Estas LEI estarán comprendidas dentro del tema de investigación con el que se inició el ejercicio de PT.

Otro punto a destacar es la idea de aplicación sistemática del ejercicio de PT en la organización. Esta idea se expresa a través de la retroalimentación señalada en la parte baja de la figura 3. Al término de un ciclo del proceso, se asimilan los nuevos conocimientos y se realizan los ajustes pertinentes a las acciones definidas a partir de los resultados del ejercicio previo de PT. Posteriormente se repite el ejercicio con el fin de actualizar, de manera sistemática, los resultados del proceso de PT.

En un nuevo ciclo del proceso, la etapa de Pre-prospectiva es una oportunidad para consolidar los acuerdos con la dirección con base en los resultados logrados; para integrar nuevos expertos que permitan enriquecer las discusiones colectivas; y para revisar y actualizar las fuentes de información que se consideren relevantes en el tema general y en los temas específicos.

A continuación se comentan brevemente cada una de las etapas propuestas para la realización de ejercicios de PT en CIyDT.

Figura 3. Esquema propuesto del proceso de prospectiva tecnológica



Adaptado de: (Laliene & Liepe, 2015) (Labeledzka, 2011) (Öner & Göl, 2007)

### 3.2 Etapa de Pre-prospectiva

Esta primera etapa se considera muy importante para una adecuada preparación del ejercicio de prospectiva y, de esta manera, asegurar los mejores resultados posibles. Se contemplan las siguientes actividades.

#### 3.2.1 Acuerdo con la Dirección

La etapa de preparación se inicia con el acuerdo de la Dirección del CIyDT. El principal promotor del proceso de prospectiva tecnológica debe de ser el cuerpo directivo del centro. Asimismo, es necesario definir a un Grupo Responsable (GR) del ejercicio quien asumirá la coordinación del proceso.

El resultado de esta sub-etapa debe de ser una visión clara, por parte de los involucrados (directivos y GR), de los objetivos a alcanzar y los requerimientos en tiempo y recursos que se deben asignar. Es importante también tener una idea de los resultados y productos que se esperan del proceso. Sin embargo, durante el primer ciclo del ejercicio generalmente las ideas acerca de estos puntos varían entre los involucrados; es por eso que el GR debe acordar con la Dirección una meta alcanzable en términos de los resultados. De esta manera se evitará que los intereses particulares de algún participante influyan en el proceso (Martin, 1995). A partir de los ciclos subsecuentes del proceso de PT será más fácil acotar y definir los resultados y productos a alcanzar/mejorar con base en lo logrados en el ciclo inicial.

### *3.2.2 Identificación del tema relevante*

Uno de los puntos importantes a acordar con la Dirección se refiere a los temas relevantes que serán objeto de análisis en el ejercicio de prospectiva tecnológica. Es recomendable realizar el primer ciclo del ejercicio de PT considerando un solo tema de interés para el CIyDT y en el cual se tenga las mayores competencias.

Asimismo, dentro del tema inicial de análisis serán identificadas Líneas Específicas de Investigación (LEI) en las que el Centro tenga interés de consolidar o desarrollar. De esta manera, los resultados que se logren en el ejercicio de PT serán más específicos lo que facilitará su incorporación a las decisiones estratégicas del CIyDT.

### *3.2.3 Selección/inducción de participantes*

Con base en el tema de investigación a analizar, el GR propondrá a los expertos que participarán en el ejercicio quienes deberán ser conocedores de dicho tema. El

Se convocará y realizará una reunión de inducción con los expertos seleccionados para participar en el ejercicio. Esta reunión será convocada por la Dirección del CIyDT. En esta reunión se explicará a los participantes de la reunión el proceso de prospectiva y lo que se requiere de ellos, principalmente en tiempo de participación. Se señalarán los factores de éxito del ejercicio los cuales están relacionados con la participación colaborativa de los expertos. También en esta reunión inicial se solicitará a los participantes que señalen las principales medios (revistas y congresos) en los que se difunde el conocimiento relacionado con el tema.

Se considera conveniente integrar un grupo de participantes que puede variar entre 8 y 15 expertos en el tema a analizar.

### *3.2.4 Preparación del ejercicio*

Esta última actividad de la primera etapa consiste fundamentalmente en desarrollar un análisis bibliométrico del tema a partir de la información de las fuentes relevantes de información sugeridas por los participantes.

Para ello, primeramente se afina la lista de las fuentes relevantes de información proporcionada por los participantes en la actividad previa. Esto se realiza a través de una consulta tipo Delphi dirigida a delimitar las fuentes de información relevantes en el tema. Para ello, el GR genera un listado consolidado y lo envía a los participantes solicitándoles dos acciones:

- Que califiquen la relevancia de la revista/congreso en el tema
- Que incorporen las fuentes relevantes de información que no estén listadas y que consideran relevantes. En las nuevas fuentes de información sugeridas por algún experto se solicitará que también establezca la calificación de su relevancia en el tema.

Las respuestas de los participantes serán nuevamente procesadas por el GR y reenviadas solicitando la revisión de su evaluación previa con base en los promedios obtenidos por cada una de dichas fuentes. Los resultados de esta segunda iteración con los expertos generará el listado de fuentes de información con el que se realizará el primer estudio bibliométrico. La bibliometría es un método basado en el análisis cuantitativo y estadístico de publicaciones en un campo del conocimiento específico (Popper R., 2008). Linstone (2011) identifica a la bibliometría como una herramienta útil que surgió en la cuarta ola de la prospectiva y con la cual se puede realizar un escaneo del entorno para identificar necesidades emergentes.

Con base en este estudio bibliométrico se genera un reporte que se enviará a los expertos para sentar una base de conocimiento homogénea entre los mismos para iniciar el ejercicio de prospectiva.



### *3.3 Etapa de Prospectiva*

Esta etapa corresponde a la principal del ejercicio en la que se genera el conocimiento referente a las tendencias en el tema de investigación y las LEI analizadas. Se sustenta en diversas consultas y procesos de discusión con el grupo de expertos participantes. A continuación se señalan las principales actividades que conforman esta etapa.

#### *3.3.1 Primera reunión de análisis*

Esta etapa consiste en la realización de un panel con el grupo de expertos participantes. Los paneles se organizan con el fin de reunir conocimientos y generar nuevas ideas en torno al objetivo de la reunión (Popper R., 2008).

Tras unos días después del envío del primer análisis bibliométrico, tiempo en que los expertos podrán revisarlo, se convocará a una reunión con la siguiente agenda:

- Presentación del SCIT y del reporte bibliométrico enviado
- Comentarios de los participantes al reporte bibliométrico
- Propuesta de estructura del tema con base en las áreas del conocimiento involucradas
- Acuerdos de la reunión

El primer punto de la agenda de la reunión corresponde a la explicación de la manera en que se realizó el reporte bibliométrico. Este punto de la agenda también comprende una breve presentación de los resultados del reporte bibliométrico.

El siguiente punto de la agenda corresponde a la discusión relativa a la estructura del tema la cual consiste en establecer los diferentes subtemas de investigación que conforman el tema y, en consecuencia, las áreas de conocimientos que resultan relevantes para su desarrollo. La estructura del tema es un aspecto relevante dado que con base en ella se identificarán posteriormente las LEI de interés para la organización. En la reunión se establecerá una primera versión de la estructura del tema de investigación en estudio la cual será ajustada en la siguiente etapa del ejercicio.

Finalmente la reunión concluirá con el establecimiento puntual de los acuerdos referentes al estudio bibliométrico como pueden ser ajuste en las fuentes de información y en la estructura propuesta del tema.

#### *3.3.2 Cumplimiento de acuerdos y validación de la estructura del tema*

En este punto el GR realiza todos los acuerdos establecidos en la actividad anterior. Con base en ellos se ajusta el reporte bibliométrico y se hacen los ajustes a la estructura de conocimientos relacionados con el tema analizado.

Una vez realizados los acuerdos, el GR envía el nuevo reporte bibliométrico y los ajustes a la estructura del tema. También solicita a cada uno de los participantes ubique sus competencias/intereses de investigación en cada parte de la estructura del tema. Es decir, cada participante deberá señalar en cuáles partes de la estructura del tema realiza su actividad de investigación y desarrollo tecnológico. Para ello, se envía un cuestionario que incluye, entre otras, las siguientes preguntas:

- Establezcan las partes de la propuesta de estructura de conocimientos del tema en las que tienen sugerencias para su adecuación.
- ¿En cuáles partes de la estructura de conocimientos establecida desarrollan o han desarrollado su actividad de investigación

Las respuestas de los expertos participantes serán nuevamente procesadas por el GR y reenviadas para su conocimiento y en preparación de la siguiente reunión del grupo participante.

### 3.3.3 Segunda reunión de análisis

Se convoca a una nueva reunión de análisis después de unos días del envío de la información de la etapa previa. Se solicita a los expertos participantes que revisen los ajustes a la estructura del tema enviada previamente. La reunión se desarrollará con la siguiente agenda:

- Comentarios al nuevo reporte bibliométrico
- Presentación de la estructura del tema
- Presentación de los intereses/competencias de investigación de cada participante con base en la estructura del tema
- Discusión sobre Líneas Específicas de Investigación (LEI) en cada sub-tema dentro de la estructura de conocimientos acordada
- Acuerdos de la reunión

El primer punto de la agenda de la reunión corresponde a una breve discusión de los resultados del nuevo reporte bibliométrico. Posteriormente se presenta la estructura del tema tecnológico objeto del ejercicio de prospectiva y con base en los comentarios y sugerencias de los participantes.

En el tercer punto de la agenda se presentan, por parte del GR y de manera simplificada, las áreas de interés/competencias de investigación señaladas por cada participante. Con base en esta información se abre la discusión dirigida a identificar las líneas de investigación específicas que propone cada participante.

### 3.3.4 Cumplimiento de acuerdos y consulta sobre LEI

En este punto, además de que el GR realiza todos los acuerdos de la reunión, también envía una nueva consulta tipo Delphi relacionada con las LEI propuestas en la reunión anterior. Se solicita que cada participante señale sus puntos de vista sobre la pertinencia de desarrollar/consolidar cada una de las LEI. Las respuestas son procesadas por el GR y reenviadas en segunda vuelta a los participantes con el fin de que cada uno conozca las razones en pro y en contra señaladas por los demás (de manera anónima) y, de considerar conveniente, ajusten sus comentarios previos.

Las nuevas respuestas de los participantes son procesadas por el GR con el fin de preparar la siguiente reunión de discusión.

En este punto, otra tarea del GR consiste en solicitar a los participantes el establecimiento de las palabras clave asociadas a cada LEI propuestas con el fin de realizar reportes bibliométricos específicos para cada línea.

Los resultados de la consulta y de los nuevos reportes bibliométricos específicos son enviados a los participantes en preparación de la siguiente reunión de análisis.

### 3.3.5 Tercera reunión de análisis

La tercera reunión de análisis tiene por objeto discutir cada una de las LEI propuestas. Dependiendo del número de LEI, se podrá priorizar la discusión considerando en primera instancia aquellas que la Dirección considera más relevantes.

La agenda de esta reunión es la siguiente:

- Análisis de los reportes bibliométricos específicos por LEI
- Discusión sobre las instituciones líderes y tendencias tecnológicas en cada LEI
- Futuros posibles de desarrollo tecnológico en cada LEI y elaboración de escenarios
- Acuerdos de la reunión

Los reportes bibliométricos específicos dan la pauta para iniciar el análisis de las tendencias tecnológicas que se pueden observar en las LEI. La posición de las instituciones líderes en cada línea también representa información para sustentar el análisis.

Con base en esta información y a la discusión de los participantes conocedores de cada línea de investigación, se busca establecer los futuros tecnológicos más probables en el mediano y largo plazos con horizontes de 5 y 10 años.

Un resultado de esta reunión consiste en la elaboración de escenarios para cada LEI estableciendo al menos dos representativos: tendencial y de cambio radical.

Finalmente se establecerán los principales acuerdos de la reunión-

### *3.3.6 Cumplimiento de acuerdos y validación de escenarios*

El GR tendrá a su cargo la ejecución de los acuerdos así como la realización de una consulta tipo Delphi dirigida a validar los escenarios propuestos durante la reunión anterior. Para ello se procesa la información generada en la tercera reunión para enviarse a todos los participantes solicitando sus comentarios y observaciones sobre los escenarios propuestos.

El GR revisa los escenarios con base en las respuestas obtenidas y reenvía una propuesta solicitando a los participantes que señalen el nivel de pertinencia de cada escenario así como la probabilidad de cumplimiento con respecto a los demás escenarios. Los escenarios deben ser claros y, en la medida de lo posible, excluyentes entre ellos (Amer, Daim, & Jetter, 2013).

Finalmente, el GR procesa las respuestas y envía un informe final de este ciclo del proceso de PT a todos los participantes y a la Dirección del CIyDT.

### *3.4 Etapa de Post-prospectiva*

Esta etapa corresponde a la utilización práctica de los resultados del proceso de PT. Los resultados del proceso deben ser útiles para la planeación y toma de decisiones institucional del CIyDT. Si bien esta etapa queda fuera del alcance del presente trabajo, representa un aspecto fundamental para la evaluación de la propuesta metodológica que se presenta.

## **4. AVANCES EN LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA**

En esta sección se presentan los avances que se han conseguido en el ejercicio de prospectiva que se ha iniciado en el IIUNAM.

### *4.1 Etapa de Pre-prospectiva*

Como se señaló, el ejercicio de PT en el caso del IIUNAM surge como derivación del proyecto Temas Estratégicos de Investigación (TEI) cuyo objetivo es la identificación de los temas de investigación que resultan relevantes para la actividad de la organización. El grupo responsable (GR) del ejercicio de PT es el mismo que ha guiado los trabajos del proyecto TEI.

Para iniciar el ejercicio de PT se seleccionó uno de los temas que se consideraron prioritarios en el proyecto TEI. Este tema corresponde al llamado Riesgos Naturales en Ingeniería Civil (RNIC) que consiste en el análisis de los fenómenos naturales que generan riesgos en gran parte de la infraestructura básica de una región, así como el conocimiento de la manera de disminuir la posibilidad de su colapso o afectación.

La experiencia previa del proyecto TEI facilitó la ejecución de la etapa de Pre-prospectiva. Se realizaron los acuerdos con la Dirección y se identificaron a los posibles participantes en el ejercicio de prospectiva. Asimismo, se realizó la actividad de inducción y se identificaron las principales fuentes de información relacionadas con el tema RNIC. Las 26 revistas inicialmente señaladas por los participantes como relevantes en el tema se muestran en la tabla 3. A partir de estas revistas se elaboró el primer reporte que se envió a los participantes con el fin de iniciar la etapa de *Prospectiva*.

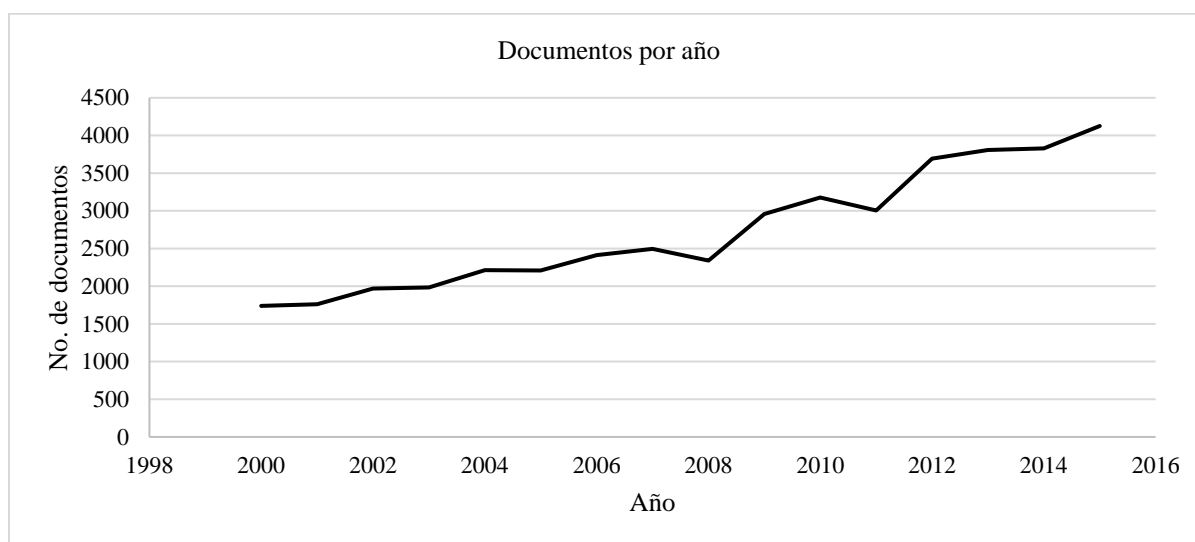
La figura 4 presenta la tendencia en el número de documentos publicados en las revistas señaladas en la tabla 3. Se observa que durante el periodo 2000 al 2016 se pasó de 1,739 a 4,126 documentos publicados anualmente. Estas cifras representan un crecimiento promedio del 5.55% anual.

Tabla 3. Fuentes de información identificadas para el tema RNIC

1	Geophysical Journal International	14	Earthquake Spectra
2	Engineering Structures	15	Journal of the International Association for Bridge and Structural Engineering IABSE
3	Natural Hazards	16	Wave Motion
4	Bulletin of the Seismological Society of America	17	Bulletin of Earthquake Engineering
5	Tectonophysics	18	Journal of Seismology
6	Journal of Structural Engineering	19	Disaster Advances
7	Soil Dynamics Earthquake Engineering	20	Steel and Composite Structures
8	Canadian Journal of Civil Engineering	21	Disasters
9	Earthquake Engineering and Structural Dynamics	22	Journal of Earthquake Engineering
10	ACI Structural Journal	23	Structural Safety
11	Journal of Bridge Engineering	24	Geofísica Internacional
12	International Journal of Geographical Information Science	25	Journal of Infrastructure Systems
13	Soils and Foundations	26	Earthquakes and Structures

Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Documentos publicados sobre el tema RNIC por año (2000-2016)



Fuente: Elaboración propia

A través del reporte bibliométrico también se identificaron a las instituciones con el mayor número de documentos publicados en las revistas seleccionadas. La tabla 4 muestra las 10 instituciones con

el mayor número de documentos. En tercer lugar aparece la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) a la que pertenece el IIUNAM.

*Tabla 4. Instituciones con mayor producción (2000-2016)*

Institución	País	No. Doctos	Institución	País	No. doctos
University of California	USA	776	University of Tongji	China	387
Geological Survey of USA	USA	607	Swiss Federal Institute of Technology Zurich	Switzerland	383
National Autonomous University of Mexico	Mexico	424	University of Kyoto	Japan	351
Civil and Environmental Engineering Colorado School of Mines	USA	416	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	Italy	334
Chinese Academy of Sciences	China	409	University of Tokyo	Japan	334

Fuente: Elaboración propia

El reporte bibliométrico fue enviado a los académicos del IIUNAM seleccionados para participar en el ejercicio de PT en el tema RNIC.

#### *4.2 Etapa de Prospectiva*

Dentro de esta etapa se han realizado la primera y la segunda reuniones de análisis. Han participado 15 académicos que trabajan en el IIUNAM en el tema RNIC.

Uno de los principales resultados obtenidos corresponde a la estructura de conocimientos relacionados con el desarrollo de investigaciones en el tema. La figura 5 muestra dicha estructura en la que se aprecian tres grandes bloques de conocimientos.

El primer bloque corresponde a conocimientos relacionados con los diversos tipos de amenazas que afectan a las obras de infraestructura. Comprende aspectos tales como intensidades máximas, periodos de retorno, factores causales, transmisión por diversos medios, entre otros.

El segundo bloque representa conocimientos relacionados con el comportamiento de las estructuras ante las diferentes amenazas: movimientos sísmicos, vientos, lluvias, mareas, etc.

El tercer bloque corresponde a conocimientos relacionados con la evaluación del riesgo al que están sometida la infraestructura ya construida y la manera de mantenerla operativa ante diferentes amenazas naturales.

Figura 5. Estructura de conocimientos relacionados con el tema de investigación RNIC.



Fuente: Elaboración propia

En estas reuniones también se identificaron las competencias e intereses de investigación de los académicos participantes en el proceso de PT con base en la estructura mostrada en la figura 5.

A la fecha se trabaja en la preparación de la tercera reunión de análisis dirigida a definir las LEI más relevantes a analizar dentro del proceso de PT.

## 5. CONCLUSIONES

Los estudios de prospectiva tecnológica son cada vez más frecuentes; en particular la llamada prospectiva tecnológica corporativa la cual se dirige a identificar las tendencias tecnológicas en las áreas de interés de las organizaciones que los promueven.

Como paso previo a la propuesta para realizar un proceso de PT en CIyDT, se realizó un análisis bibliométrico. Se identificaron a las instituciones que con mayor frecuencia reportan trabajos relacionados con el tema. Asimismo, se identificaron las técnicas mayormente utilizadas en ejercicios de prospectiva tecnológica: consultas Delphi, análisis bibliométricos, escenarios, entre otros.

Se observó que gran parte de los ejercicios de PT reportados en la literatura combinan diversas técnicas y se sustentan fundamentalmente en la consulta a expertos en los temas tecnológicos

analizados. También se identificó la cada vez más frecuente utilización de estudios bibliométricos (*technology mining*) como fuente de información primaria para emprender las consultas a expertos. Con base en el análisis de documentos relacionados con el tema de PT se propone una metodología para realizar este tipo de ejercicios. Se busca que esta metodología, al aplicarse en CIyDT se convierta en un esfuerzo institucional sistemático cuyos resultados apoyen la planeación de mediano y largo plazos.

La aplicación de esta metodología se ha iniciado en un CIyDT en México; esta experiencia servirá para probar y ajustar la metodología, reforzar las actividades previas de inteligencia tecnológica y producir resultados útiles para la toma de decisiones institucional.

## REFERENCIAS

1. Alcántara-Concepción, T. (2014). Sistema de inteligencia tecnológica en centros de investigación y desarrollo tecnológico. *Tesis de Doctorado en Ingeniería. PMDI-UNAM*. Recuperado en <http://132.248.9.195/ptd2014/marzo/086233723/Index.html>
2. Amer, M., Daim, T. & Jetter, A. (2013). A review of scenario planning. *Futures*, 46, 23-40. DOI:10.1016/j.futures.2012.10.003
3. Andersen, P. & Rasmussen, B. (2014). *Introduction to foresight and foresight process in practice*. Technical University of Denmark, Lyngby Denmark: DTU. Recuperado en [http://orbit.dtu.dk/files/96941116/Introduction\\_to\\_foresight.pdf](http://orbit.dtu.dk/files/96941116/Introduction_to_foresight.pdf)
4. Armijo, M. (2011). Planificación estratégica e indicadores de desempeño en el sector público. ILPES/CEPAL. Santiago, Chile. Recuperado en: [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5509/1/S2011156\\_es.pdf](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5509/1/S2011156_es.pdf).
5. DOF. (2002). Ley Orgánica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado en <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/243.pdf> (9 de mayo de 2016)
6. Kostoff, R. N., Toothman, D. R., Eberhart, H. J. & Humenik, J. A. (2001). Text mining using database tomography and bibliometrics: A review. *Technological Forecasting and Social Change*, 68 (3), 223-253. DOI:10.1016/S0040-1625(01)00133-0
7. Labedzka, J. (2011). Integrated Methodology Combining Qualitative and Quantitative Approach within Technology Foresight System. *The 4th International Seville Conference on Future Oriented Technology Analysis (FTA)*. Seville.
8. Laliene, R., & Liepe, Z. (2015). R&D Planning System Approach at Organizational Level. *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, 812-816.
9. Lario, F., Rodríguez, A., García, J. & Escudero, L. (2001). Análisis y definición de escenarios en programación estocástica para la gestión de la cadena de suministro en el sector automotriz. *Memorias del IV Congreso de Ingeniería de Organización*. Sevilla.
10. Linstone, H. (2011). Three eras of Foresight. *Technovation*, 31(2-3), 69-76. DOI:10.1016/j.technovation.2010.10.001
11. Martin, B. (1995). Foresight in Science and Technology. *Technology Analysis & Strategic Management*, 7(2), 139-168. DOI: 10.1080/09537329508524202
12. Öner, M., & Göl, S. (2007). Pitfalls in and success factors of corporate foresight projects. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 447-471.
13. Popper, R. (2008). Foresight Methodology. En L. C. Georghiou, *The Handbook of Technology Foresight*, 44-88. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
14. Porter, A. y Cunningham, S. (2005). *Tech mining. Exploiting new technologies for competitive advantage*. John Wiley & Sons, Inc.
15. Roper, A., Cunningham, S., Porter, A., Mason, T., Rossini, F. y Banks, J. (2011). *Forecasting and management of technology*. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc.
16. Voros, J. (2003). A generic foresight process framework. *Foresight*, 10-21.