

# Pronóstico para el fortalecimiento del desarrollo tecnológico

## Forecasting for strengthening technological development

Aida Mayerly Fúquene Montañez<sup>1</sup>, Diana Cristina Ramírez Martínez<sup>2</sup> y Oscar Fernando Castellanos Domínguez<sup>3</sup>

### RESUMEN

En la actualidad la capacidad de generar innovaciones tecnológicas es una de las claves para ser más competitivos. Sin embargo, los sectores productivos se enfrentan a serios retos, dentro de los cuales se encuentra el análisis de la gran cantidad de información tecnológica y de mercado disponible del entorno, al momento de tomar decisiones estratégicas y tener la posibilidad de lanzarse al mercado con desarrollos tecnológicos que tengan la retribución económica deseada. En este sentido, son varias las herramientas de análisis de la información que surgen para reducir la incertidumbre de los cambios tecnológicos y de mercado. Este artículo brinda elementos conceptuales y reflexivos para que desde el pronóstico se fortalezca el desarrollo tecnológico (DT). Inicialmente se plantea el pronóstico como uno de los métodos de análisis de futuro de impacto significativo para la toma de decisiones, principalmente en el ámbito de las ciencias económicas, pero que puede ser extrapolado para su contribución al DT; posteriormente se describen las técnicas que han sido instrumento reciente del levantamiento de información para la generación de pronósticos, trabajados a través del concepto de vigilancia, y se describen los procesos empleados bajo el trabajo articulado de estos dos enfoques, permitiendo afirmar que son una excelente base para fortalecer el DT, brindando plataformas a nuevos o mejorados desarrollos en proceso o productos. La reflexión sobre estos aspectos brinda perspectivas para implementar el pronóstico tecnológico (PT) en los sistemas productivos con el fin de que a través de métodos determinísticos se obtengan resultados eficientes y concretos como insumo en la toma de decisiones en la variable tecnológica para su competitividad en el mediano y largo plazo.

**Palabras clave:** pronóstico tecnológico, vigilancia tecnológica, vigilancia comercial, desarrollo tecnológico.

### ABSTRACT

Producing technological innovation is currently one of the key items in being more competitive. However, production sectors are facing great challenges, including analysing a large amount of available technological and market information regarding the environment for strategic decision-making and being able to launch themselves onto the market with technological developments bringing the desired economic returns. Several tools for analysing information have emerged for reducing the uncertainty of technological and market changes. This article provides conceptual and reflective elements so that forecasting strengthens technological development (TD). Forecasting is initially proposed as being one of the future methods of analysis having a significant impact on decision-making, mainly within the field of economics but which could be extrapolated to making a contribution to TD. The techniques which have been the recent instrument for collecting information for producing forecasting are described, as is work about the concept of surveillance/monitoring and the processes used for coordinating such approaches. It can thus be stated that they provide an excellent basis for strengthening TD by providing platforms for new or improved developments in processes or products. Reflection about these aspects provides perspectives for implementing technological forecasting (TF) in production systems so that they obtain efficient and concrete results via deterministic methods as input in decision-making in technology regarding its middle- and long-term competitiveness.

**Keywords:** technological forecasting, technological monitoring/watching, market monitoring/watching, technology development.

Recibido: noviembre 28 de 2008

Aceptado: noviembre 3 de 2009

### Introducción

El desarrollo tecnológico (DT) ha desempeñado un importante papel en la competitividad y en el avance económico y social de varios sistemas productivos del mundo (Jairam y Weiss, 1979; Dahlgren, *et al.*, 1985); motivando a investigadores, en la mayoría de

países desarrollados, a centrarse en áreas específicas como la transferencia, adquisición y gestión de tecnología. En este último aspecto, se han generado herramientas enmarcadas dentro de lo que hoy se conoce como estudios de futuro o métodos para el análisis de futuros, como es el caso del pronóstico tecnológico (PT), el cual es considerado como el proceso de predecir las características posteriores de la tecnología y su duración (Wang, Z. *et al.*, 2007).

<sup>1</sup> Ingeniera industrial y @M.Sc., en Ingeniería Industrial, Universidad Nacional de Colombia. Investigadora y coordinadora de Proyectos, grupo de Investigación y Desarrollo en Gestión, Productividad y Competitividad - BioGestión, Universidad Nacional de Colombia. amfuquenem@unal.edu.co

<sup>2</sup> Ingeniera química y @M.Sc., en Ingeniería Industrial, Universidad Nacional de Colombia. Investigadora y coordinadora de Proyectos, grupo de Investigación y Desarrollo en Gestión, Productividad y Competitividad - BioGestión y Docente Ocasional, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Colombia. dcramirez@unal.edu.co

<sup>3</sup> Ingeniero químico. M.Sc., en Ciencias Técnicas. Magíster en Administración. Ph.D, en Química, Universidad Estatal de Moscú, Rusia. Estudios posdoctorales, en Biotecnología de enzimas. Coordinador, Grupo de Investigación y Desarrollo en Gestión Productividad y Competitividad, BioGestión. Profesor asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. ofcastellanosd@unal.edu.co

El PT ha sido desarrollado desde hace más de cuarenta años, enfocándose no sólo al DT interno (endógeno), que se refiere, según Quintanilla (1991), a la mejora de la eficiencia de un proceso; la fiabilidad de los artefactos, dispositivos, partes, etcétera; o al funcionamiento en términos generales de la maquinaria como mecanismo eficiente; sino incluyendo aspectos del DT externo (exógeno) que apela a la implantación, uso y consumo de la tecnología, pero incluyendo al usuario, y abarcando factores sociológicos, económicos, culturales, sociales y hasta demográficos.

En los países con economías emergentes se ha transferido el uso de las metodologías de análisis de futuro de la variable tecnológica; sin embargo éstas se han centrado en aspectos relacionados con el contexto de la tecnología, obviando para la mayoría de casos los de direccionamiento estratégico (DT interno, mencionado anteriormente), lo que conlleva a introducir el concepto de PT con énfasis en elementos ligados al ámbito ingenieril que se enfocan en el manejo de datos e información estructurada y que según Kostoff (1997) ha atraído la atención de investigadores dado el advenimiento de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) y el análisis de documentos científicos (artículos de investigación y patentes, entre otros). Dicha afirmación coincide con los planteamientos de Snarch (1998), citado por Castellanos (2007), quien comenta que el manejo adecuado de la información permite argumentar inteligentemente los procesos y cambios tecnológicos hasta la nueva idea que se lleva a un uso productivo, relacionando así el PT con herramientas como la vigilancia, trabajadas ampliamente en el contexto latinoamericano, que permite administrar la información y evidenciar tendencias o proyecciones de desarrollo teniendo en cuenta información del pasado, presente y el futuro del sistema para argumentar los procesos de toma de decisiones y el desarrollo de ideas innovadoras (Nosella et al., 2008).

La presente revisión da a conocer elementos conceptuales del pronóstico y de la perspectiva de especificación de las técnicas empleadas para la identificación de tendencias tecnológicas y comerciales conocidas bajo el concepto de vigilancia, que se analizan e integran para evidenciar los avances y las tendencias de desarrollo y perspectivas de uso. Inicialmente se describe el método de análisis futuro del cambio tecnológico centrandolo la atención en el PT y en sus más recientes técnicas enfocadas en información de ciencia y tecnología; posteriormente se describen algunas herramientas que se han empleado para el procesamiento de dicha información, y finalmente, se explican los enfoques que han articulado la perspectiva del presente y el futuro permitiendo a través de implementación de modelos generar mayores avances en desarrollo de tecnologías.

## Método de análisis futuro del cambio tecnológico

Con el fin de identificar formas objetivas, técnicas y científicas de planificar y evaluar el futuro, la industria, el Estado y la Academia emprendieron a principios de la década de los sesenta la aplicación de variados métodos y técnicas contempladas dentro del concepto de PT para explorar los límites de lo técnicamente factible y delinear futuros avances de la tecnología (Jantsch, 1969). A través de una recopilación acerca del uso de estos métodos en los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico – OCDE<sup>4</sup>, se evidenció que éstos han sido ampliamente usados en países desarrollados, quienes los han implementado con resultados de alto impacto (OCDE, 1967).

Actualmente se evidencia en la literatura una amplia gama de métodos empleados como mecanismos de desarrollo del PT; sin embargo, cada uno de ellos se emplea para indagar tanto el presente como el futuro de la tecnología y soportar lo que Glenn et al., (2009) y su equipo de trabajo denominan estudios de futuro (pronóstico, previsión, prospectiva, evaluación tecnológica, inteligencia, entre otros) entendiendo que cada una de las técnicas puede ser empleada para diversos estudios, ya que permite analizar información dependiendo de la fuente y el objetivo que se quiera lograr.

Generalmente, la mayoría de los autores que trabajan el tema de pronósticos clasifican los métodos en cuantitativos y cualitativos o exploratorios y normativos; Porter et al. (1991) al plantear el conjunto de métodos existentes bajo el enunciado de herramientas para el análisis futuro de la tecnología, los clasifica en tres categorías: i) directo, ii) correlativo, y iii) estructural. El primero corresponde al análisis de un parámetro o parámetros que miden un aspecto de una tecnología; los métodos utilizados son la opinión de expertos (Delphi, encuestas, NG), análisis de series de tiempo y extrapolación de tendencias (curvas de crecimiento, sustitución y ciclo de vida). El segundo corresponde a parámetros correlativos que miden la tecnología con otros parámetros u otras tecnologías, los métodos utilizados son: escenarios, indicadores *lead-lag*, impacto cruzado, función de progreso tecnológico y analogía. Finalmente, el estructural, comprende la consideración explícita de la relación causa-efecto y su efecto en el crecimiento; los métodos son: modelos causales, análisis de regresión, modelos de simulación (determinista, estocástica, juegos), árboles de relevancia y morfología.

Cada uno de los posibles métodos a emplear proporcionan información de valor para desarrollar la tecnología y planear el futuro; no obstante, en los países con economías emergentes han retomado mayor fuerza los análisis de futuro principalmente centrados en dinámicas del entorno tecnológico (sustentados en variables cualitativas) que trabajan aspectos externos a la tecnología, lo cual impide contar con un soporte cuantitativo indicado para sustentar el desarrollo a realizar y evidenciar avances significativos. Lo anterior propone retomar el concepto de pronóstico ligado principalmente al manejo de variables determinísticas, debido a que el DT debe ser sustentado con rigurosidad y requiere un mayor soporte que la simple opinión de expertos, sin demeritar los resultados positivos que se logran a través de las demás técnicas.

En el ámbito tecnológico el pronóstico se dio a conocer a principios de los sesenta, cuando Jantsch lo interpreta como la estimulación probabilística, sobre un relativo alto nivel de confianza de la futura transferencia tecnológica, y posteriormente al reunir las perspectivas desde la industria y el Estado se concibe como el conjunto de herramientas objetivas y científicas con vista en el futuro (Jantsch, 1969). Más recientemente, la escuela europea con exponentes como Cristo (2000) lo comprende como una herramienta que trabaja con información de evolución histórica, modelación matemática de tendencias y análisis de proyecciones futuras, realizadas generalmente de forma periódica, y Porter et al. (2004), de la escuela inglesa, lo concibe como aquel que emplea herramientas cuantitativas para describir la emergencia, rendimiento, características o impactos de una tecnología en un cierto momento en el futuro, y como indican Glenn et al. (2009), el objetivo no es saber con precisión el futuro, pero sí entender un abanico de posibilidades que llevan a mejores decisiones.

<sup>4</sup> Informe "Technological Forecasting in Perspective" – OCDE, 1967.

Los conceptos anteriores reúnen como factor común el énfasis cuantitativo ligado ampliamente con la modelación matemática y probabilística, concepto que se propone trabajar para brindar mayor soporte a la toma de decisiones, reduciendo la ambigüedad en los resultados de un análisis; siendo consecuentes con el enfoque general del pronóstico que tiene mayor historia en las ciencias económicas, donde se entiende como el conjunto de técnicas cuantitativas que disminuyen la incertidumbre sobre el futuro y permitiendo estructurar planes y acciones congruentes con los objetivos de los sectores productivos y agregando mayor valor que cualquier otra actividad aislada por ser una herramienta poderosa para soportar la toma de decisiones (Holton y Keating, 2007). El pronóstico también se emplea en áreas como la meteorología, logística e investigación de operaciones. Su importancia se ha incrementado con la implementación de programas de *software* que facilitan el procesamiento de datos para obtener los resultados con menor tiempo de procesamiento, dando así prioridad a la toma de decisiones eficientes, puesto que involucran información tanto del pasado como del presente para determinar patrones de comportamiento futuro.

El proceso general del pronóstico parte de la necesidad de tomar decisiones dependientes tanto del futuro como de variables no conocidas, y adicionalmente contempla etapas (Figura 1) como las identificadas por Holton y Keating (2007) que conducen de manera lógica a un resultado, involucrando: tiempo, recursos, evaluación y análisis, sin dejar de lado como etapa esencial la buena comunicación dentro del equipo de trabajo, lo cual permite que el esfuerzo invertido conduzca a las mejores consecuencias de las decisiones (Fúquene y Castellanos, 2008).

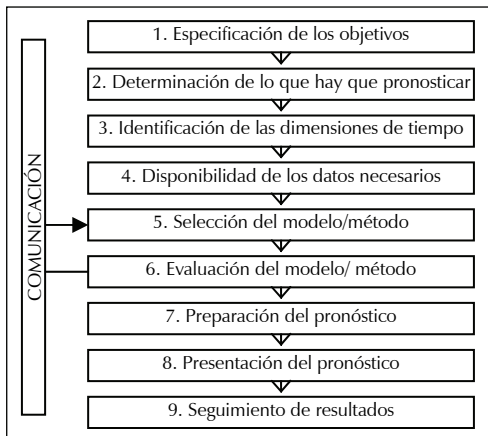


Figura 1. Procedimiento general del pronóstico. Fuente: Holton y Keating (2007).

Al centrar el pronóstico en el ámbito tecnológico, se induce al concepto de ciclo de vida del producto, en el cual se encuentra como supuesto que el cambio tecnológico sigue un cierto patrón en diferentes etapas de desarrollo en el proceso de evolución de una tecnología, y que éste puede ser identificado. Una primera aproximación para identificar los ciclos de vida tecnológica proviene de la observación de los datos de rendimiento tecnológico de las tecnologías en particular, que en tiempo, o en los gastos de Investigación y Desarrollo (I+D) acumulativos, muestran una relación en forma de S (Ernst, 1997); por esta razón la mayoría de aplicaciones realizadas parten de la construcción de dicha curva logística para poder realizar el pronóstico tecnológico.

Un problema importante asociado con el concepto de S-curva es la selección de una medida de rendimiento adecuada (Brockhoff, 1994, pp. 134-140), la cual para autores como Bengisu y Nekhili

(2006) se puede obtener de manera simple y eficiente aprovechando los avances de las TIC, por medio de las bases de datos de publicaciones científicas y de patentes; con el fin de contar con información cuantitativa que se soporta mediante mecanismos como la bibliometría o la patentometría; ciencias denominadas métricas, las cuales surgieron de la necesidad de comprender y detectar estrictamente actividades científicas (Vanti, 2000). Hoy en día algunos conceptos claves de estas ciencias se han trasladado al sector productivo y han aportado a la consolidación de herramientas conocidas generalmente como vigilancia, razón por la cual a continuación se describirán los procedimientos y resultados generados en el marco de esta herramientas y de esta forma evidenciar el aporte para implementar pronósticos tecnológicos.

### Identificación de tendencias a partir de técnicas relacionadas con la vigilancia

Las técnicas de análisis como la bibliometría, cienciometría, patentometría, entre otras, han respondido al reto de evaluar aspectos de calidad y cantidad de la información disponible (Ponjuán et al., 2002), contribuyendo a la innovación y la competitividad mediante la transformación de los datos en inteligencia (Cetisme, 2002; Ponjuán, 2004; North et al., 2005). Dichas técnicas, en el contexto de economías emergentes, se han contemplado bajo el concepto general de *vigilancia* (Ramírez et al., 2008; Ramírez y Castellanos, 2008), definido desde la escuela española como "el arte de descubrir, recolectar, tratar, almacenar informaciones y señales pertinentes, débiles y fuertes, que permitirán orientar y proteger el presente y el futuro de los ataques de la competencia" (Rouach, 1996); adicionalmente, como lo indican Palop y Vicente (1999) requiere de la difusión precisa y la recuperación de información sobre los hechos del entorno, que permitan hacer eficiente el proceso de toma decisiones y anticiparse a los cambios del entorno.

Debido a lo anterior se plantea que dependiendo del entorno que se quiera vigilar, el concepto de vigilancia tendrá un enfoque determinado. Tomando como referencia los aportes de Porter (Escorsa y Maspons, 2001; Martinet y Ribault, 1989), se encuentran cuatro tipos de vigilancia: a) competitiva, que se ocupa de la información sobre los competidores actuales y los potenciales; b) comercial, estudia los datos referentes a clientes, proveedores y mercados; c) tecnológica, se ocupa de las tecnologías disponibles y emergentes, capaces de intervenir en nuevos productos o procesos y d) del entorno, se encarga de la detección de aquellos hechos exteriores que pueden condicionar el futuro, en áreas como la sociología, la política, el medio ambiente, las reglamentaciones, entre otros.

El concepto de vigilancia tecnológica (VT) ha sido uno de los más estudiados; tiene su origen en Francia y es definido como la búsqueda de información que se extrae de la competencia a partir de diversas fuentes, y su posterior tratamiento a través de técnicas estadísticas (Jakobiak, 1992; Lesca, 1994; Martinet y Martí, 1995). Porter et al. (1991), EIRMA (1999) y AIRI (2002) utilizan *technology monitoring* para indicar la vigilancia del entorno con información pertinente, encontrando evidencia del desarrollo de la tecnología y las posibles tendencias. Escorsa y Maspons (2001), Sánchez y Palop (2002) y Cetisme (2002) plantean el concepto de inteligencia en diversos escenarios como el tecnológico, el competitivo y el económico (Tena y Comai, 2005) y hacen referencia a las actividades de seguimiento de información, que son acordes con los planteamientos de Ashton et al. (1997) y Lichtenhaler (2003), quienes emplean *technology intelligence* para enmarcar los procesos de explotación de oportunidades potenciales a partir de información basada en tendencias tecnológicas y científicas. Así por

ejemplo, a partir de la VT se han evidenciado las principales aplicaciones, desarrollos y tecnologías involucradas en el proceso de enzimas industriales para determinar la aplicación en detergentes y su efecto en textiles (Jiménez *et al.*, 2006; Castellanos *et al.*, 2006), y adicionalmente, la VT ha sido objeto de análisis en cuanto a su metodología, implementación y resultados; tal es el caso de la comparación realizada a cinco empresas italianas que han implementado VT, en las cuales se determinó el avance tecnológico con respecto al enfoque sistemático, proactivo y avanzado o básico que brinda esta herramienta (Nosella *et al.*, 2008).

En Colombia y demás países latinoamericanos el concepto de VT es el más empleado, recientemente se ha venido difundiendo su aplicación inmersa en sistemas de inteligencia (Torres *et al.*, 2008), integrándose con otras herramientas de gestión de la tecnología como la vigilancia comercial (VC), definida por Castellanos *et al.* (2009) como la actividad que se dedica a identificar las evoluciones y novedades del mercado, tanto en proceso como en producto, con el fin de determinar oportunidades y amenazas provenientes del entorno (cliente-proveedor) que puedan incidir en el futuro del aparato productivo. Así por ejemplo, la VC ha servido de soporte para determinar mercados reales y potenciales para el sector cacaoero colombiano (Castellanos *et al.*, 2007), así como la evaluación del mercado y la identificación de tendencias en el sector de cosméticos estadounidense y francés (Kumar, 2005).

La aplicación de estudios que involucren VT y VC brindan posibilidades de analizar el desarrollo de innovaciones tecnológicas a través de la cadena de valor generada desde la ciencia básica hasta la comercialización, por lo que a través del análisis de los campos tecnológico y comercial se pueden abstraer elementos que promueven la creación o mejoramiento de nuevos procesos o productos (Castellanos *et al.*, 2009); tal es el caso de la integración de estas dos herramientas en el direccionamiento del desarrollo tecnológico de más de 20 cadenas y sectores productivos colombianos<sup>5</sup> (Ramírez *et al.*, 2009).

Teniendo en cuenta el método y el alcance con los que se han desarrollado los ejercicios de VT y VC, la experiencia en su aplicación recomienda pertinente retomar acepciones que a nivel mundial se reúnen en el marco de esta herramienta. Algunas de las técnicas, como lo indican Torres *et al.* (2006) son *scanning*, *monitoring*, *watch* o *surveillance*, entre otras, que se han trabajado bajo una metodología genérica, difundidas bajo el concepto de vigilancia; sin embargo, es pertinente evidenciar que algunos métodos presentan particularidades y pueden responder con mayor precisión a necesidades de investigación, desarrollo e innovación particulares. Por ejemplo, Lichtenthaler (2004) identifica dos tipos de *scanning*: el pasivo y el activo; el primero es cuando la adquisición de información hace parte del trabajo normal de los investigadores; el segundo, cuando se realiza por medio de una investigación deliberada y por la identificación de nuevas tecnologías no usadas en su industria o fuera de ella. Por su parte, Cowan *et al.* (2002) presenta el *Watching* para determinar qué información debemos mantener en orden para ganar una visión comprensiva del entorno o la disciplina y su evolución.

La perspectiva anterior permite entonces plantear una visión amplia de lo que hasta el momento se ha retomado como vigilancia, proponiendo llevar a un nivel de especificidad mayor cada uno de los estudios a realizar dependiendo de la precisión, tiempo de procesamiento, disponibilidad de información y resultados espera-

dos. Esta discusión será ampliada en trabajos posteriores, mas se trae a colación debido a la amplia afinidad que se ha creado con las técnicas de pronóstico en donde se consideran los métodos enunciados anteriormente como mecanismo para la recolección de información cuantitativa de la tecnología, que permite posteriormente determinar el comportamiento futuro de ésta. De allí que a continuación se describan las principales metodologías y representantes que han impulsado el procesamiento de información tecnológica y del entorno, tanto comercial como competitivo, para realizar pronósticos.

## Pronóstico tecnológico a partir de identificación de tendencias

Varios autores (Daim *et al.*, 2005; Wang, Z. *et al.*, 2007) involucran la bibliometría, y (Ernst, 1997; Yoon y Park, 2007) la patentometría, identificándolas como uno de los aspectos clave en el desarrollo del PT (Tugrul *et al.*, 2006). Daim *et al.* (2005) la combinan con la dinámica de sistemas y el análisis de escenarios para mejorar los resultados del PT, y Wang, Z. *et al.* (2007) indican cómo el *latent semantic analysis* (LSA) involucrado en la bibliometría se ha aplicado para mejorar la precisión en la agrupación de documentos, pero proponen el *probabilistic latent semantic analysis* (EPNV), un algoritmo que utiliza métodos probabilísticos y álgebra para buscar espacio latente en la agrupación de documentos (clustering) para la realización del PT.

Autores como Daim *et al.* (2005) y Ernst (1997) emplean modelos para adaptar los datos obtenidos de estudios de bibliometría y patentometría respectivamente para ajustarlos y así obtener curvas (curva S) con el fin de evaluar el crecimiento tecnológico (usando modelos como el de *Fisher-Pry* para ajustar los datos resultantes de la bibliometría (Figura 2). De igual manera, Ernst (1997) plantea que es relevante conocer el ciclo de vida tecnológico (curva S) y los posibles beneficios de los datos de patentes para establecer estrategias de I+D y poder tomar decisiones de inversión, dado que en este caso la actividad de patentamiento provoca cambios en el mercado.

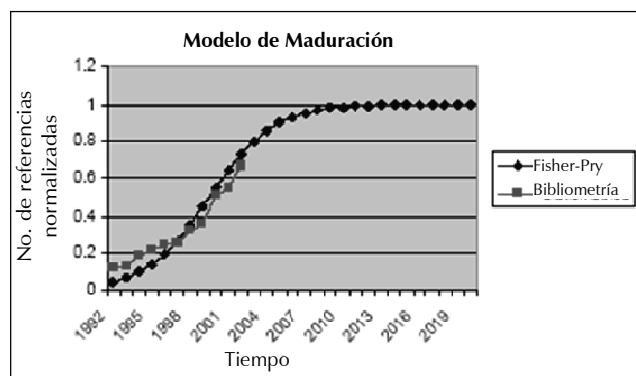


Figura 2. Ajuste de los datos bibliométricos al modelo de Fishery-Pry. Fuente: Daim *et al.*, 2005.

Ernst (1997) dio a conocer, a partir de evaluar la problemática del cambio suscitada en 1981 en la competitividad de la industria de maquinaria por la aplicación del control numérico computarizado (CNC), la necesidad de anticiparse de manera oportuna y pronosticada a estos retos tecnológicos con el objeto de incorporar procesos de planificación estratégica, y para ello propuso el análisis de patentes, destacando tres ventajas de la patentometría en el PT: la relevancia de los desarrollos tecnológicos, el tiempo de vigencia y el acceso a bajo costo. Yoon y Park (2007) muestran el desarrollo

<sup>5</sup> Proyectos adelantados entre el grupo BioGestión, de la Universidad Nacional de Colombia, y los Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural y de Comercio, Industria y Turismo.

de un algoritmo para ejercicios de PT articulando el análisis morfológico (MA, por su sigla en inglés<sup>6</sup>), el análisis conjunto (CA, por su sigla en inglés)<sup>7</sup> y el análisis de citación de información sobre patentes. En primer lugar, las palabras claves se extraen de los documentos de patente mediante la minería de texto y se le aplica MA, identificando alternativas para el desarrollo de nuevas tecnologías, posteriormente se sugiere un orden de prioridad utilizando CA, para luego evaluar su viabilidad.

La información comercial también se ha planteado como significativa en el desarrollo del PT (Alvear *et al.*, s.f.; Cowan *et al.*, 2002). Alvear *et al.* (s.f.) plantean una formulación matemática (Volterra Lotka), que indica el cambio de las especies o tecnologías de competencia con respecto al tiempo, integrando variables adicionales como capacidad de consumo, la velocidad de crecimiento del consumo y la competencia. Por su parte Cowan *et al.* (2002), en la tarea de predecir las tendencias de la ingeniería de software, incluyeron análisis de tendencias de la investigación, de la tecnología y del mercado (evalúan la aplicabilidad de la tecnología identificada, los obstáculos potenciales y las perspectivas del mercado, a través de varios modelos mostrados en la literatura), así como la relación entre éstas, planteando estrategias para el desarrollo tecnológico y la innovación. Semejante a lo mostrado en la Figura 2, estos autores proponen un modelo de evolución de la tecnología (mostrado en la Figura 3) en el cual se ilustran aspectos involucrados en la difusión, adopción y comercialización de la tecnología.

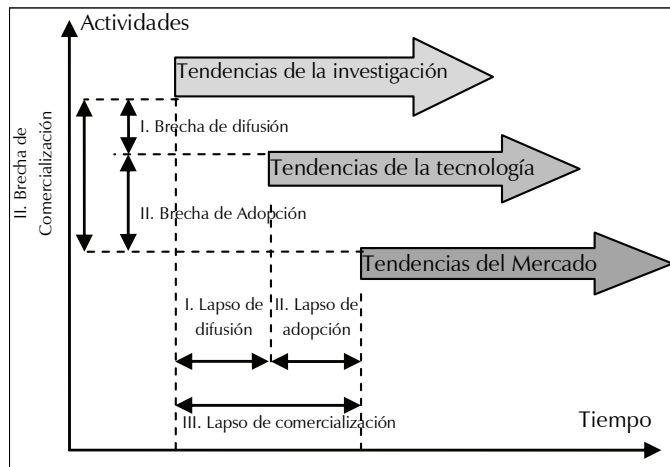


Figura 3. Ciclo evolutivo genérico. Fuente: Cowan *et al.*, 2002

La revisión anterior permite representar el proceso del pronóstico con algunas especificidades del PT a través de la adaptación que se realiza con los métodos empleados para el levantamiento de información y de procesamiento (Figura 2).

Complementando lo anterior, Slocum y Lundberg (2001) proponen métodos en los que se hace énfasis en pasar de la visión de un pronóstico basado en las respuestas emocionales a predicados sobre bre colección de datos, para lo cual proponen un mecanismo ba-

sado en la metodología TRIZ, que se compone de una comparación de tres aspectos primordiales: i) número de patentes por periodo de tiempo en la tecnología analizada (igual al planteamiento anterior), ii) nivel de innovación por periodo de tiempo, y iii) funcionamiento técnico por periodo de tiempo. A partir de ello se realiza el pronóstico brindando elementos tanto de cambios en proceso como producto, lo cual contribuye a la generación de innovación.

## Conclusiones

Las herramientas que se emplean actualmente para la gestión tecnológica permiten la interacción entre el análisis de pasado, presente y futuro, a través de la información tecnológica, en donde se responde al cuestionamiento de cómo aplicar el conocimiento acumulado en el pasado a las necesidades del futuro, con el fin de facilitar la realización de actividades que aún no son posibles.

Las herramientas cuantitativas se han trabajado ampliamente como pronóstico, empleándose en diversas áreas, en las cuales han servido para obtener mejores decisiones, disminuyendo la incertidumbre al pensar a futuro. Es por ello que se propone como herramienta para implementar en los países en desarrollo con el fin de fortalecer el análisis del cambio futuro de la tecnología. Sin embargo, queda claro que esta herramienta no pretende dar una única decisión y que implique ser la correcta; su aporte se evidencia al centrarse en datos y métodos determinísticos que generan menor incertidumbre y mayor aceptación en el ámbito ingenieril.

Al indagar sobre las técnicas de observación de datos que evidencian el cambio tecnológico, se propone ampliar la perspectiva de aplicación de lo que hasta el momento se ha difundido en economías emergentes como vigilancia, implementando métodos articuladamente con las técnicas de pronóstico para aportar un enfoque riguroso, de mayor credibilidad en los sistemas productivos, entorno en donde realmente se incide en el desarrollo tecnológico y por ende económico de un país.

En la actualidad la investigación alrededor del pronóstico tecnológico ha ido creciendo y se ha enriquecido a partir de herramientas informáticas y de análisis de la información actual, comportamiento que permite reconocer la necesidad de emplearlo en ámbitos no utilizados, articulándolo con otro tipo de metodologías que permitan obtener insumos o resultados comparables y complementarios.

## Bibliografía

- AIRI. Associazione Italiana per la Ricerca Industriale., II monitoraggio tecnologico, Edizioni AIRI, 2002.
- Alvear, A., Numanoglu, S., Valluri, S., Ho, J., Technology Farwasting with Volterra Lotka., Portland State University, USA. s/f.
- Ashton, W. B., Bryan, A., Richardson, A., Keeping Abreast of Science and Technology: Technical Intelligence for Business., Battelle Press, Columbus, Ohio, 1997.
- Bengisu, M., Nekhili, R., Forecasting emerging technologies with the aid of science and technology databases., Technological Forecasting and Social Change , 73, 2006, pp. 835-844.
- Brockhoff, K., Forschung und Entwicklung. Planung und Kontrolle., 4th Edition, München: Oldenbourg Verlag, 1994.
- Castellanos, O., Montañez, V. M., Ramírez, D. C., Perspectiva en el desarrollo de enzimas industriales a partir de la inteligencia tecnológica., Ingeniería e Investigación, Vol. 26, No. 2, Agosto, 2006, pp. 52-67.

<sup>6</sup> El MA es una técnica cualitativa que requiere conocimientos especializados y centrados en previsión de incremento en la planificación a corto plazo. Sin embargo, tiene un uso potencial en el análisis sistemático de la estructura actual y futura del dominio de la tecnología.

<sup>7</sup> El CA es el método más popular en la investigación de mercado para la medición de las compensaciones de los clientes entre los productos o servicios de atributos múltiples, puede apoyar el proceso de priorización de alternativas para el desarrollo de nuevas tecnologías, y, por tanto, facilitar la planificación a largo plazo.

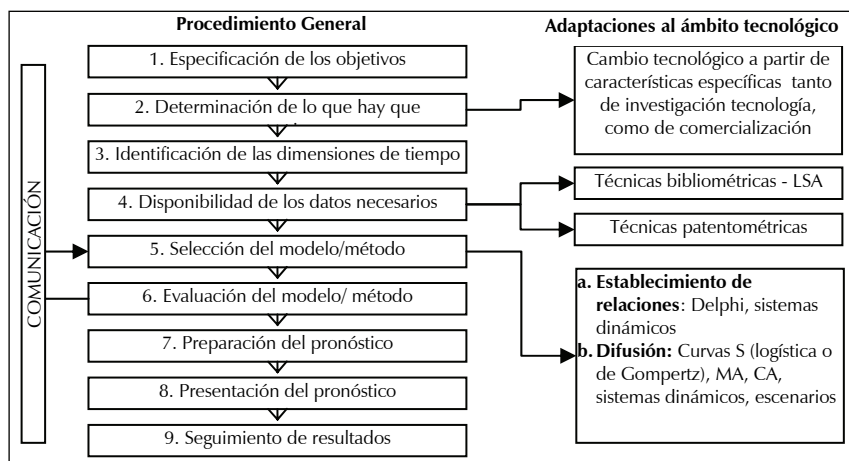


Figura 4. Adaptación del pronóstico al ámbito tecnológico. Fuente: Holton y Keating *et al.* (2007), Bengisu y Nekhili (2006), Daim *et al.* (2005) y Wang *et al.* (2007).

Castellanos, O., *Gestión tecnológica: de un enfoque tradicional a la inteligencia tecnológica*, Ed. Universidad Nacional de Colombia, 2007.

Castellanos, O., Torres, L. M., Fonseca, S., Montañez, M., Sánchez, A., *Agenda prospectiva de Desarrollo Científico-Tecnológico para la Cadena productiva del Cacao- Chocolate*, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colciencias, BioGestión, 2007.

Castellanos, O., Torres, L. M., Domínguez, K. P., *Manual Metodológico Para la Definición de Agendas de Investigación y desarrollo Tecnológico en Cadenas Productivas Agroindustriales*, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Giro Editores, Bogotá, Colombia, 2009. Disponible en: [http://www.minagricultura.gov.co/06docypresent/06g\\_public\\_age nd.aspx](http://www.minagricultura.gov.co/06docypresent/06g_public_age nd.aspx)

Cetisme., *Inteligencia Tecnológica y Económica: guía práctica para principiantes y profesionales*, 2002. Disponible e: [http://www.madrimas.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/15\\_InteligenciaEconomicaTecnologica.pdf](http://www.madrimas.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/15_InteligenciaEconomicaTecnologica.pdf)

Cowan, R. D., McKendall Jr, a., Mili, A., Yang, L., Wang, L., Chen, D., Janardhana, V., Spencer, T., *Software engineering technology watch*, Information Sciences, No. 140, 2002, pp. 1995-215.

Cristo, C., *Programa Brasileiro de Prospectiva Tecnológica Industrial*, Secretaría de Tecnología Industrial, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Brasília, 2000.

Dahlman, C.J., Ress-Larson, B., Westpal, L.E., *Managing technological development: Lessons from the newly industrialized countries*, Working paper No. 717. World Bank, Washington, 1985.

Daim, T. U., Rueda, G. R., Martin, H. T., *Technology Forecasting Using Bibliometric Analysis and System Dynamics*, Technology Management: A Unifying Discipline for Melting the Boundaries, 2005.

EIRMA. European Industrial Research Management Association., Working group 55, *Technology monitoring for business success*, Edizioni EIRMA., 1999.

Ernst, H., *The Use of Patent Data for Technological Forecasting: The Diffusion of CNC-Technology in the Machine Tool Industry*, Small Business Economics, No. 9, 1997, pp. 361-381.

Escorsa, P., Maspons, R., *De la Vigilancia Tecnológica a la Inteligencia competitiva*, Prentice Hall, Madrid, 2001.

Fúquene, A. M., Castellanos, O., *El pronóstico tecnológico: una herramienta de gestión perspectiva para las economías emergentes*, XII Congreso de Ingeniería de Organización 2nd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management Burgos, 3-5 de Septiembre, 2008.

Glenn, J., Gordon, T. J., Florescu, E., *Estado del futuro 2009, Resumen Ejecutivo*, AC/UNU Millennium Project, 2009.

Holton, J., Keating, B., *Pronósticos en los negocios*, Mc Graw Hill, 2007.

Jakobiak, F., *Exemples commentés de Veille Technologique*, Les Editions d, Organisation, Paris, 1992.

Jantsch, E., *Pronósticos del futuro*, Alianza Editorial, Madrid, 1969.

Jairam, R., Weiss, C., *Mobilizing Technology for World Development*, Praeger, New York, 1979.

Jiménez, C., Montañez, V. M., Castellanos, O., *Análisis del desarrollo tecnológico en la aplicación de enzimas en la industria textil*, Revista Ingeniería y Competitividad, Vol. 8, No. 1, Agosto, 2006.

Kostoff, R. N., *Use and misuse of metrics in research evaluation*, Science and Engineering Ethics, 3, 2, 1997.

Kumar, S., *Exploratory analysis of global cosmetic industry: major player, technology and market trends*, Technovation, 25, 2005, pp. 1263-1272.

Lesca, H., *Veille stratégique, l'intelligence de l'entreprise*, Aster, Gieres, 1994.

Lichtenthaler, E., *Third generation management of technology intelligence processes*, R&D Management, Vol. 33, No. 4, 2003, pp. 361-375.

Lichtenthaler, E., *Technological change and the technology intelligence process: a case study*, Journal of Engineering and Technology Management., Vol. 21, 2004, pp. 331-348.

Martinet, B., Ribault, J-M., *La veille technologique, concurrentielle et commercial*, Les éditions d'organisation, Paris, 1989.

Martinet, B., Marti, Y-M., *L'intelligence économique. Les yeux et les oreilles de l'entreprise*, Les éditions d'organisation, Paris, 1995.

North, K., García, F., Artilles, S., *Modelo de desarrollo de PYMES inteligentes: casos en estudio en América Latina y Europa*, En XI Seminario Latino-Iberoamericano de Gestión Tecnológica, Altec, Salvador-Bahía, Brasil, 2005.

Nosella, A., Petroni, G., Salandra, R., *Technological change and technology monitoring process: Evidence from four Italian case studies*, J. Eng. Technol. Manage, 2008.

OCDE., *Informe Technological Forecasting in Perspective*, 1967.

Palop, F., Vicente, J. M., *Documentos COTEC sobre oportunidades Tecnológicas: 14 Vigilancia Tecnológica*, Fundación COTEC para la innovación tecnológica, Serie 14 y 15, 1999.

Ponjuán, G., Martínez, A., Almaguer, M., *Gestión del conocimiento ¿Réquiem por la gestión de la información?*, en Interprest, Info 2002, Cuba, 2002.

Ponjuán, G., *Gestión de información: dimensiones e implementación para el éxito organizacional*, Rosario: Nuevo Paradigma, 2004, 214 pp.

- Porter, A. L., Roper, A. T., Mason T. W., Rossini, F. A., Banks J., *Forecasting and Management of Technology.*, Wiley, New York, 1991.
- Porter, A. L., Ashton, W. B., Clar, G., Coates, J. F., Cuhls, K., Cunningham, S. W., Ducatel, K., Van der Duin, P., Georgehiou, L., Gordon, T., Linstone, H., Marchau, V., Massari, G., Miles, I., Moguee, M., Salo, A., Scapolo, F., Smits, R., Thissen, W., *Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods.*, *Technol. Forecast. Soc. Change*, Vol. 71, Sep. 2004, pp. 287–303.
- Quintanilla, M. A., *Tecnología: Un enfoque filosófico.* Colección Ciencia y Técnica., Editorial Universitaria de Buenos Aires en coedición con la Fundación para el Desarrollo de la Función Social de las Comunicaciones, Buenos Aires, Argentina, 1991.
- Ramírez, D. C., Fúquene, A. M., Rojas, F., Castellanos, O., Capítulo 2: La información: base para la generación de la tecnología y el conocimiento. En: *Retos y nuevos enfoques en la gestión de la tecnología y del conocimiento.*, Editorial Universidad Nacional de Colombia, Colombia, Agosto, 2008.
- Ramírez, D. C., Castellanos, O., *Nuevas alternativas de desarrollo tecnológico a partir de métodos cuantitativos y vigilancia tecnológica.*, En *memorias: Reunión Nacional de Facultades de Ingeniería*, Cartagena, Colombia, septiembre, 2008.
- Ramírez, D. C., Fúquene, A. M., Castellanos, O., Egea, L. M., *Impacto de los procesos de vigilancia en el desarrollo de capacidades en I+D+i, caso de aplicación: cadenas agroindustriales.*, IV Congreso Iberoamericano de Innovación Tecnológica, basado en TRIZ, 2009.
- Rouach, D., *La veille technologique et l'intelligence économique.*, PUF Que sais-je ?, Paris, 1996.
- Slocum, M. S., Lundberg, C. O., *Technology Forecasting: from emotional to empirical.*, *Technology forecasting*, Vol. 10 No. 2, June 2001, pp. 139-152.
- Sánchez, M., Palop, F. *Herramientas de software para la práctica en la empresa de la Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva.* Evaluación Comparativa., 1ª Edición, TRIZ, España, 2002.
- Snarch, A., *La innovación: estrategia del desarrollo empresarial.*, En *Seminario de Formación Empresarial*, Bogotá D.C., 1998.
- Tena, J., Comai, A., *El desarrollo de la inteligencia competitiva en España: un recorrido bibliográfico.*, *Revista Hispana de inteligencia Competitiva*, 2005.
- Torres, L. M., Castellanos, O., Fúquene, A. M., *Surgimiento y desarrollo de la vigilancia tecnológica: de las métricas a la gestión del conocimiento.*, En: *X Taller de Gestión Tecnológica en la Industria*, Gestec, La Habana, Cuba, 2006.
- Torres, L. M., García, M. E., Castellanos, O. F., Capítulo 5: La inteligencia tecnológica como capacidad para la toma de decisiones estratégicas., En: *Retos y nuevos enfoques en la gestión de la tecnología y del conocimiento.*, Editorial Universidad Nacional de Colombia, Colombia, Agosto, 2008.
- Tugrul U., Daim, G., Rueda, H., Martin, P. G., *Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis.*, Estados Unidos. 2006.
- Vanti, N., *Métodos cuantitativos de evaluación de la ciencia: bibliometría, cuantimetría e infometría.*, *Revista investigación bibliotecológica*, Vol. 14, No. 29, 2000, pp. 9-23.
- Wang, Z., Tsim, Y.C., Yeung, W.S., Chan, K.C., Liu, J., *Probabilistic latent semantic analyses (PLSA) in bibliometric analysis for technology forecasting.*, *J. Technol. Manag. Innov.* Vol. 2, No. 1, 2007.
- Yoon, B., Park, Y., *Development of New Technology Forecasting Algorithm: Hybrid Approach for Morphology Analysis and Conjoint Analysis of Patent Information.*, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 54, No. 3, August, 2007.