

La Predicción Tecnológica

Los cambios en la organización empresarial caracterizados por la multiplicidad de variables, la velocidad de dichos cambios, el número de opciones cada vez más crecientes y la incertidumbre del futuro plantean la necesidad de la planeación para implementar una filosofía administrativa que focalice los esfuerzos, aproveche las coyunturas, facilite la administración del cambio tecnológico, disminuya riesgos, amenazas y puntos débiles realmente significativos y visualice el desempeño futuro de la organización con el propósito final de garantizar la supervivencia de la empresa en condiciones mínimas.

ALFONSO PEREZ GAMA
Profesor Asociado
Departamento de
Ingeniería de Sistemas
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional

En los últimos años se han desarrollado una serie de métodos y técnicas de Ingeniería de Sistemas relacionados con el tópico de la Predicción. Se presentan en este documento algunas de estas técnicas tales como DELPHI, Escenarios, Impactos Cruzados y Arboles de Relevancia. Se hace énfasis de su uso en el proceso de planeación en la empresa planteándose algunos interrogantes al respecto.

1.1 ¿Qué es la tecnología?

Una de las fuerzas más potentes en nuestro medio es la tecnología, la cual incluye:

1. Los aspectos físicos o de Hardware tales como la máquina, el equipo, las herramientas y materiales que la humanidad utiliza para todas sus actividades.
2. Los aspectos de Software en todas las actividades, esto incluye procesos técnicos tales como secuencia de tratamiento de calor, programas de Computador, etc.

1.2 ¿Qué es la predicción tecnológica?

Se define como la predicción cuantificada de la regulación del tiempo y del carácter del grado de cambio de parámetros técnicos y atributos asociados al diseño, producción y uso de unidades, materiales y procesos, de acuerdo a un sistema de razonamiento específico. (Ver Gráfica N° 1).

La predicción puede no incluir un estimativo de probabilidad en la cantidad de cambio o de regulación de tiempo.

La predicción es reproducible a través de un sistema de lógica; así difiere a la opinión o profecía que aquella permanece bajo un conjunto de relaciones, datos y supuestos.

El proceso de razonamiento lleva a resultados relativamente consistentes independientemente del analista.

Es así como se considera que la meta última de la mayoría de las predicciones es ayudar al proceso de la planeación.

El resultado de la PT es un conjunto de informaciones sobre tecnología, más no una decisión acerca de alternativas de dirección y gestión.

Bright en 1968/2/ ya planteaba el pronóstico tecnológico como "Un conjunto de Sistemas Lógicos que conducen a una serie de conclusiones cuantitativas y comunes (o un limitado rango de posibilidades) sobre atributos tecnológicos y sus parámetros". El pronóstico tecnológico puede entenderse como una predicción dentro de cierto nivel de confianza, de algún logro tecnológico en una estructura de tiempo dada y con un nivel de soporte específico.

EL PROCESO DE LA PREDICCIÓN TECNOLÓGICA

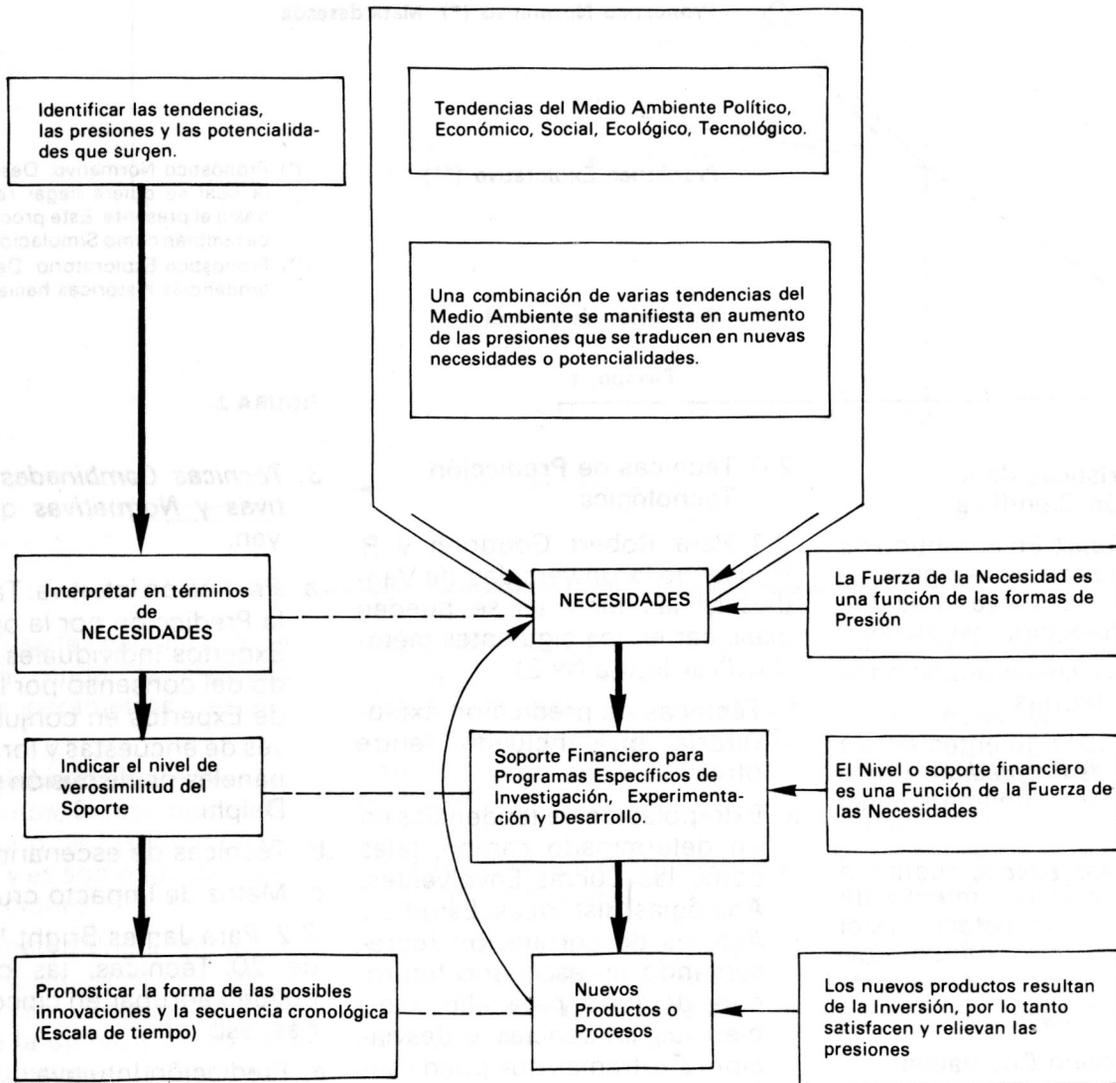


FIGURA 1.

1.3 Generalidades sobre la Predicción científica y Predicción Tecnológica.

Las previsiones son respuestas a preguntas de la forma:

¿Qué ocurrirá a X si se produce P?
 ¿Cuándo se producirá X si se cumple P? En la literatura Científica-Filosófica estas respuestas se llaman predicciones, las cuales se consiguen mediante teorías y datos. Las predicciones intervienen por tres razones en el ámbito de la ciencia:

1. Anticipa nuevo conocimiento, y por tanto
2. Es una contrastación de la Teoría, y además
3. Una guía para la acción.

Respecto de los pronósticos tecnológicos es importante destacar la contribución notable en la minimización o reducción del tiempo

que puede transcurrir entre la obtención de un objetivo y la utilización por la sociedad de ese nuevo conocimiento. Además se refleja en el desarrollo de nuevos planes y en mejor asignación, distribución de recursos físicos y humanos.

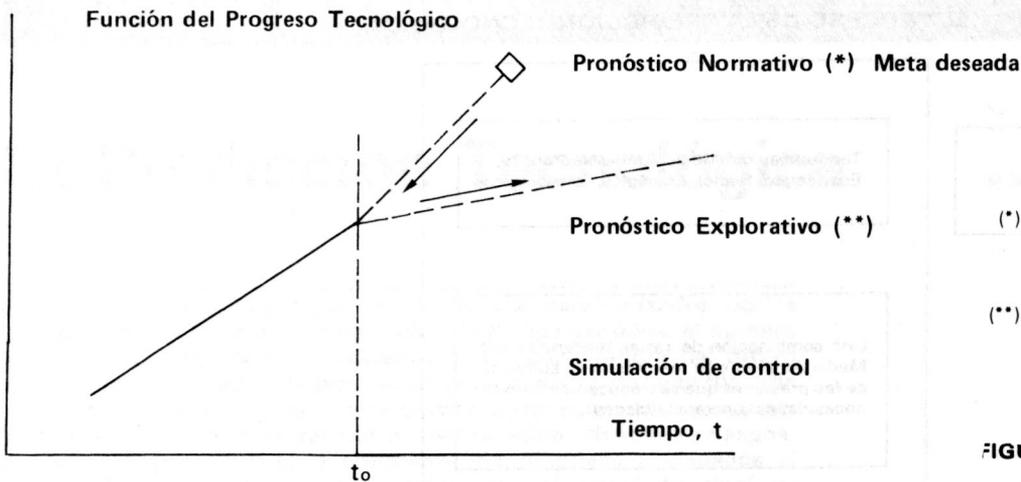
En este mismo sentido es factible la identificación de nuevas alternativas y posibilidades de competencia en las áreas tecnológicas que pudieran afectar la información táctica y estratégica de una empresa con el consiguiente impacto en términos de metas y políticas empresariales.

1.4 La proyección

La predicción y retrodicción pertenecen a una familia de ideas presididas por las nociones de anticipación y de retrospección. Vale la pena distinguir los si-

guientes miembros de esa familia:

1. **Expectativa:** Actitud automática de anticipación que se encuentra en todos los animales superiores.
2. **Conjetura:** Intento consciente, pero no racionalmente justificado, de representar lo que es, fué o será. Sin fundamento de ninguna clase.
3. **Profecía:** o conjetura en gran escala, basada en el supuesto fundamentado de la revelación o de la ciencia oculta.
4. **Prognosis:** o conjetura informada, o predicción de sentido común, que es una previsión basada en generalizaciones empíricas.
5. **Predicción Científica:** Es una previsión basada en teorías y datos científicos, con el uso del método científico.



- (*) Pronóstico Normativo: Desde la meta a la cual se quiere llegar retrocediendo hasta el presente. Este proceso se conoce también como Simulación de Control.
- (**) Pronóstico Exploratorio: Desarrollar las tendencias históricas hacia el futuro.

FIGURA 2.

1.5 Características de la Predicción Científica:

1. Es **Condiciona**: En el sentido de que dice que ocurrirá algo, si se cumplen ciertas leyes y se dan tales y cuales circunstancias.
2. Es **Teorética**: Utiliza enunciados de leyes y teorías.
3. Se refiere consiguientemente a **Conjuntos de Propiedades**, no a cosas y acontecimientos en su totalidad.
4. Puede ser **tan exacta**, cuanto lo sea nuestro conocimiento de las leyes, las circunstancias y el Medio Ambiente político, cultural, económico, social ecológico y tecnológico.

1.6 La Predicción Cualitativa

Al predecir un hecho debemos empezar de un modo que es típico de la ciencia, por construir un modelo ideal de nuestro objeto y además por elegir una teoría para manejar el modelo; esto nos bastaría para una predicción cualitativa, (enfoque positivista).

1.7 La Proyección Estocástica

Es la proyección en la cual cada posibilidad está cuantificada o sea que tiene atribuida una probabilidad determinada. Esta atribución de números puede hacerse con base en la experiencia pasada y/o con ayuda de la teoría. La mayoría de las predicciones acerca de transiciones o pasos con ayuda de teorías cuantitativas, son predicciones estocásticas porque emplean leyes y procesos estocásticos y en particular leyes relativas a las probabilidades de transición de un sistema dado.

2.0 Técnicas de Predicción Tecnológica

2.1 Para Robert Goodrich y R. House, de la Universidad de Vanderbilt⁸ las técnicas se pueden clasificar en los siguientes métodos (Ver figura N° 2).

1. Técnicas de predicción exploratoria, que incluyen entre otros:
 - a. Extrapolación de tendencias en un determinado campo, tales como las Curvas Envolventes, Analogías Históricas, Estudio y Análisis de correlación representando un escenario futuro, considerando para ello, también las influencias y desviaciones extremas que pueda sufrir la trayectoria de la tendencia. Este pronóstico puede ser considerado como la presentación de oportunidades Tecnológicas futuras.
 - b. **Modelos Analíticos**, entre los que se cuentan las analogías de curvas de crecimiento, análisis de sustitución y Simulaciones Interactivas.

2. Técnicas de **predicción normativa** que incluyen entre otros:
 - a. Análisis Morfológico.
 - b. Arboles, tales como los Arboles de actividad/objetivo. Los Arboles de relevancia/Perspectiva y los Arboles de decisión.

La característica principal de este método normativo, es que fija una situación ideal, un futuro deseado; a partir de tal objetivo, actúa retroactivamente hasta llegar al presente.

3. Técnicas Combinadas Explorativas y Normativas que incluyen:

- a. Predicción Intuitiva: Tales como la Predicción por la opinión de Expertos Individuales, el método del consenso por la opinión de Expertos en conjunto a través de encuestas y formularios, paneles de discusión y método Delphi.
- b. Técnicas de escenario.
- c. Matriz de Impacto cruzado.

2.2 Para James Bright¹ hay más de 20 Técnicas, las cuales se pueden agrupar en cinco categorías, así:

- a. Predicción Intuitiva
- b. Extrapolación de tendencias o extensión del pasado (Trend-Analysis).
- c. Predicción Normativa u orientada hacia un objetivo.
- d. Modelos Dinámicos.
- e. Por monitoreo u observación y seguimiento.

2.3 Predicción Intuitiva

Es una composición sistemática de la opinión informada.

2.3.1. **Técnica Delphi**³. Método que involucra gradual y sistemáticamente los juicios individuales expertos, combinándolos para obtener un consenso razonable.

Basada en tres condiciones a saber:

- a. Anonimato: "No se conocen" entre sí los miembros del Comité de expertos. Hay independencia de juicio.
- b. Fundamentos Estadísticos: Todos los resultados son compa-

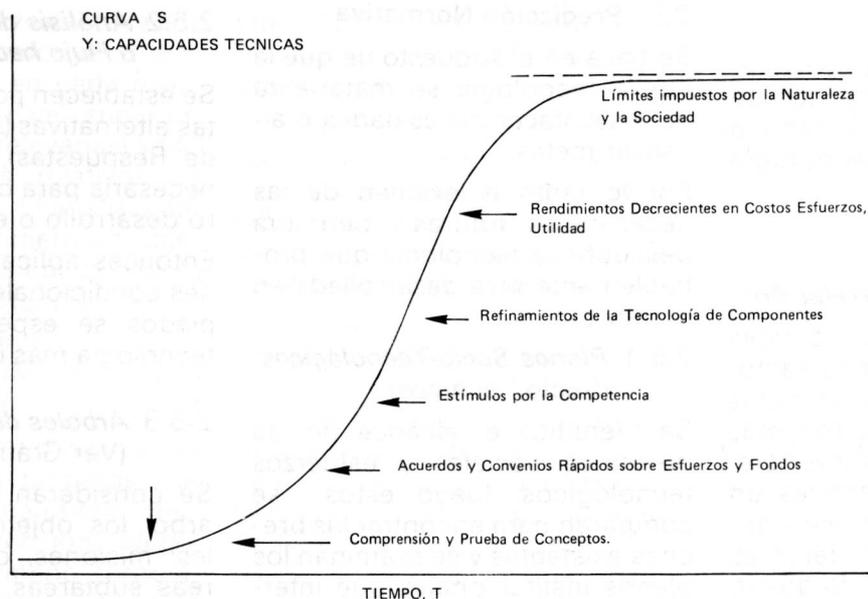


FIGURA 3. Crecimiento Tecnológico: Curva S (Primeras Tecnologías).

rados y se les calcula el promedio, la moda, la mediana y demás parámetros estadísticos.

- c. Retroalimentación de los razonamientos: El resumen vuelve a cada uno de los miembros del grupo y es sometido de nuevo a predicciones.

Esta metodología se justifica en las ciencias no exactas tales como las ciencias sociales, donde la opinión de los expertos constituye la fuente más confiable y donde no se conocen respuestas absolutas e incondicionales. El método consta de cuatro etapas⁴:

1. Formulación del modelo apropiado.
2. Solicitar las opiniones de expertos, combinarlas y recabar.
3. Proporcionar retroalimentación de las opiniones y de la información relevante.
4. Coadyuvar y propiciar un consenso de opiniones.

2.3.2 Aproximación Dialéctica:

Basada en los conceptos de Hegel. Consiste en hacer una predicción y luego proponer un extremo opuesto, "Antítesis" o "contrapredicción". Ambas predicciones son expuestas entonces al argumento de carácter más crítico.

2.3.3 Predicción por Exclusión:

Podría ser posible mejorar las

predicciones mediante la exclusión de desarrollos improbables. Tratando de definir regiones prohibidas o no factibles se puede describir mejor el dominio más probable.

2.4 Extrapolación de Tendencias (Trends Analysis)

Asume que la tecnología futura tendrá alguna relación predecible con la pasada; es una guía para los siguientes 5 ó 10 años.

2.4.1 La Curva S: (Ver Gráfica N^o 3)

Las series de datos en el tiempo tomadas en escalas aritméticas producen curvas S que reflejan el comienzo lento, crecimiento exponencial y luego una nivelación en determinado límite dado por la naturaleza o el hombre. (Monótonamente creciente).

Una vez se hayan recoletado los datos históricos y se haya proyectado una línea de tendencias tentativas, el investigador debe buscar factores o desarrollos que alterarán significativamente la proyección de la tendencia. Es útil considerar sistemáticamente factores técnicos, económicos, sociales, políticos y ecológicos en diferentes medios, preguntando qué factores crearon la tendencia, cuáles están cambiando y si hay nuevos factores ejerciendo influencia.

2.4.2 Tipos de Extrapolación de tendencias:

2.4.2.1 Parámetro Unico:

Se diagraman los datos en forma de Serie de tiempo, de un atributo técnico que refleja un aspecto significativo de la tecnología o de su aplicación (Potencia, velocidad, etc.) y luego de obtener esta gráfica, es extrapolada para predecir su estado futuro.

2.4.2.2 Parámetro combinado:

Desarrollar series de datos de combinaciones de parámetros en el tiempo, de modo que los datos reflejen los cambios básicos, interrelacionados en la unidad o servicio (Potencia por unidad de peso. Operaciones de computador por unidad de tiempo).

2.4.2.3 Curvas Envolventes:

Como las curvas S de las primeras tecnologías comienzan a decrecer emerge una nueva tecnología que mantiene el ritmo de progreso. Una curva aproximadamente tangente a los toques de las curvas S, describe una envolvente del cambio anticipado.

la Ecuación de la **Curva S** (Ver Gráfica N^o 3) es la siguiente:

$$Y = \frac{L}{1 + ae^{-bt}}$$

donde:

Y: Capacidades Tecnológicas
L: Límites de crecimiento
a,b: Parámetros/Constantes
t: Tiempo

2.4.2.4 **Analogías**

Una nueva tecnología puede surgir de una cierta manera, con un patrón y con una tasa de cambio análogos a alguna tecnología predecesora.

2.4.2.5 **Análisis de Correlación:**

Una unidad tecnológica cambia dependiendo de muchos factores. Pueden recolectarse datos acerca de los parámetros más importantes que estén interrelacionados. Se hace entonces un análisis de correlación para detectar el modo como los factores se influenciarán a medida que la tecnología se desarrolle.

2.5. **Predicción Normativa**

Se basa en el supuesto de que la nueva tecnología se materializa para satisfacer necesidades o alcanzar metas.

Por lo tanto el examen de las necesidades futuras permitirá descubrir la tecnología que probablemente será desarrollada en el futuro.

2.5.1 **Planos Socio-Tecnológicos:**
(Socio-Técnicos)

Se identifica el alcance de las presiones sociales y esfuerzos tecnológicos; luego estos se comparan para encontrar las brechas existentes y se examinan los planos institucionales que intervienen.

2.5.2 **Análisis de Flujo de Misión o Flujo hacia Objetivos**

Se establecen políticas y respuestas alternativas (Espacio Muestral de Respuestas), y la tecnología necesaria para cada posible futuro desarrollo o evento.

Entonces aplicando probabilidades condicionales y valores apropiados se espera identificar la tecnología más útil para el futuro.

2.5.3 **Arboles de Relevancia:**
(Ver Gráfica Nº 4)

Se consideran como niveles de árbol, los objetivos institucionales; misiones, compromisos, tareas, subtareas, soporte de lógica y material. Los criterios y su

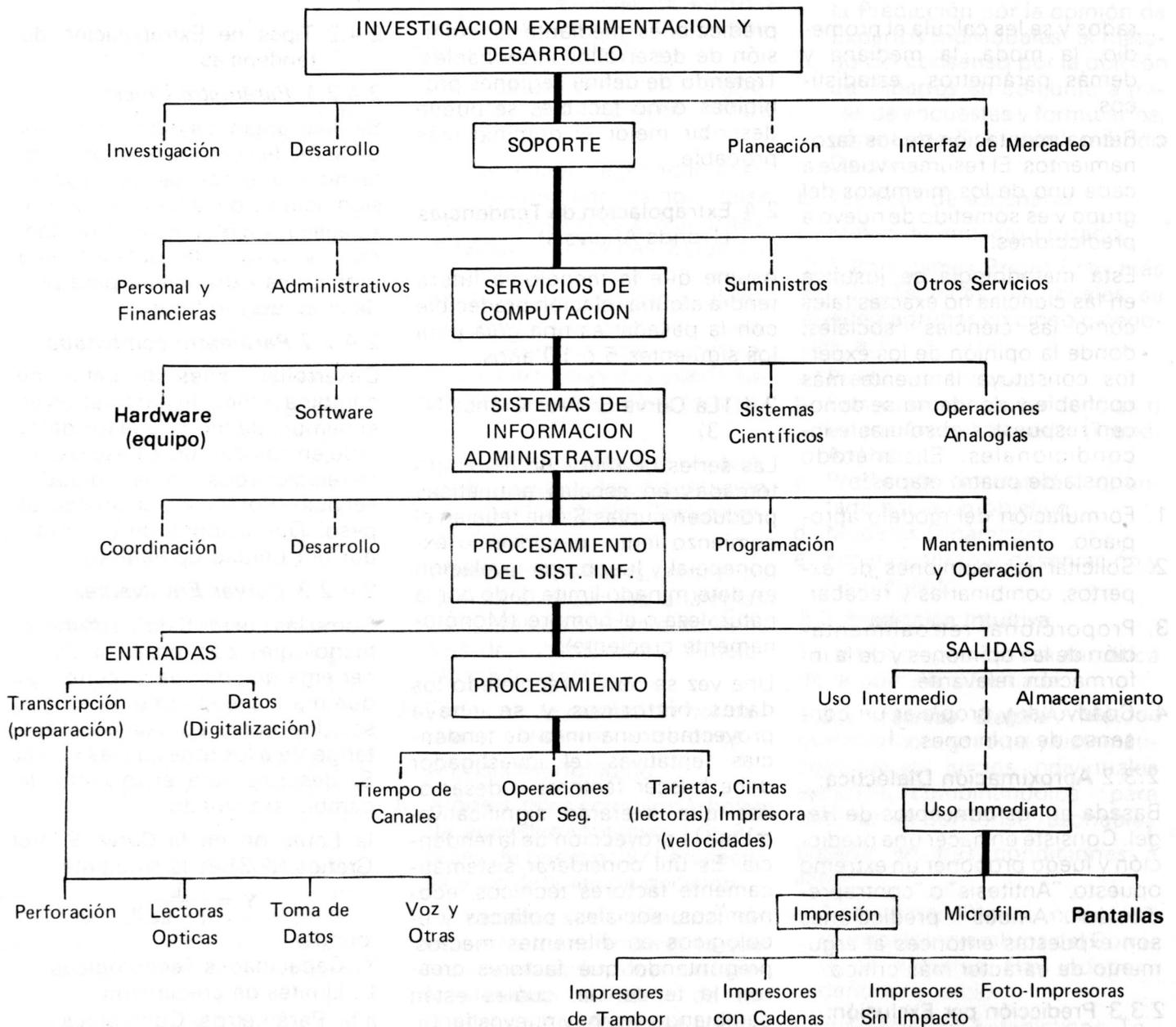


FIGURA 4. Ejemplo de Arbol de Relevancia.

importancia para evaluar la relativa necesidad de reforzar el elemento de interés en cada nivel, para soportar el nivel superior. Los números de relevancia indicarán los valores relativos de varias tecnologías. El análisis deberá establecer primero un objetivo que sirva para considerar la relevancia o importancia.

2.6 Predicción por Observación (Monitoring) y Seguimiento

Es un intento de identificar la tecnología en sus primeras etapas y reconocer señales que influyan sobre su dirección; luego, (siguiendo el fenómeno apropiado) para determinar la tasa de progreso.

La observación o monitoreo se basa en el análisis de los eventos en sí. Incluye las siguientes actividades:

1. Explorar el ambiente para identificar señales que pueden ser antecesoras de cambios tecnológicos importantes.
2. Identificar posibles consecuencias alternativas, si estas señales son momentáneas o variaciones al azar y si las tendencias que ellas sugieren, van a continuar.
3. Escoger aquellos parámetros, políticas, eventos y decisiones que deben ser monitoreados para poder verificar la verdadera velocidad y dirección de la tecnología y los efectos de emplearlo.
4. Presentar los datos de los pasos anteriores, de una manera apropiada y oportuna para tomar la decisión. Habiendo determinado los datos y eventos a observar, el analista debe establecer el Sistema de Información apropiado.

Este método tiene la desventaja que algunas señales, son evidentes únicamente, de una forma retardada en el tiempo.

2.7 Modelos Dinámicos

Es el concepto de diseñar un modelo de relaciones e interacciones. Tal modelo permite al analista variar las componentes del sistema para estudiar sus

interacciones y así proporcionar una comprensión útil de los estados futuros.

Un buen modelo puede mostrar como reaccionará un sistema, pero para propósitos de predicción, se deben cuantificar las variables apropiadas y los coeficientes de transformación.

Estas predicciones numéricas se obtienen generalmente de datos obtenidos mediante otros métodos de predicción. El Instituto para el Futuro de los EE.UU. ha desarrollado un procedimiento para predecir el comportamiento de Sistemas socio-técnicos complejos. Su técnica llamada "Juego de Simulación", consiste en crear una situación que representa los tipos de gente e instituciones existentes y luego introducir la tecnología propuesta en este medio. Quizá la respuesta de los participantes indique cómo reaccionarán estos sistemas sociales a tales cambios futuros.

2.8 Escenarios

Según H. Kahn. Las Técnicas de escenario son una descripción de un posible futuro y una explicación de los eventos que sucederán en ese futuro.⁵

Luego de que se hayan preparado un buen número de escenarios, debe plantearse, sobre cada uno de ellos.

2.9 Análisis de Impacto Cruzado (Matriz de Impacto Cruzado)

Es una técnica complementaria del método Delphi, como su extensión intenta desarrollar el problema de las interrelaciones entre eventos pronosticados.

Se asume que una predicción dada es correcta. El investigador entonces considera cómo afectará la ocurrencia de este evento, a la probabilidad y tiempo de otros eventos pronosticados⁷.

En otras palabras, se trata de determinar la probabilidad condicional de la existencia de un evento futuro, dada la probabilidad que se presente otro evento.

Luego asumiendo cada predicción como verdadera, se constru-

ye una matriz de predicciones y sus interacciones. Algunos eventos acelerarán o inhibirán la materialización de otra predicción y los impactos variarán.

El Instituto del Futuro propuso otro sistema más sofisticado: A cada evento se le aplican probabilidades iniciales (a priori); desarrollando matemáticamente las interacciones potenciales en términos de modo, tiempo e intensidad y usando un evento predicho, escogido al azar como verdadero, la matriz puede ser explorada por el computador para determinar los corrimientos en las probabilidades y los impactos, eventualmente resultará una condición estable (un escenario).

Este sistema tiene la desventaja que si se usa una predicción cada vez como verdadera, se está incurriendo en un error ya que el futuro resulta de la interacción de determinado número de eventos, algunos simultáneos y otros no.

3.0 Sobre la naturaleza del Pronóstico Tecnológico y su Papel en el Proceso de Planeación

Es necesario hacer énfasis en algunos aspectos relacionados con las técnicas de predicción:

- a. El pronóstico en sí mismo no es un FIN. Debe alimentar los procesos de Planeación y de Toma de Decisiones. De lo contrario se reduciría a un simple ejercicio académico, con poca utilidad.
- b. La Predicción Tecnológica deberá ser una empresa altamente creativa: Se podrán identificar nuevas situaciones, nuevas formas de aproximación y nuevos enfoques a problemas viejos; igualmente nuevas justificaciones ante la comunidad, para vincular el proceso de Investigación, Experimentación y Desarrollo con nuevas estrategias en la empresa y en la industria.
- c. El verdadero valor del pronóstico no son las grandes predic-

ciones, así haya sido establecido explícitamente o no; virtualmente todos los pronósticos son predicciones contingentes, los cuales su valor radica en hacer la predicción misma.

- d. Las predicciones deben ser aceptadas como instrumento para que sean útiles: Deben ser técnicamente consistentes y fundamentadas. Además deben estar incluidas en forma apropiada dentro de la matriz de factores no técnicos que afectan un futuro ya preestablecido.

En relación con la Extrapolación de Tendencias deberá contestarse adecuadamente las siguientes inquietudes:

En el aspecto tecnológico:

¿Se violan las Leyes conocidas de la ciencia?

¿Se violan los límites de la Ingeniería?

¿El soporte tecnológico está disponible?

¿Existe alguna alternativa de "mejor tecnología"?

En el aspecto Social

¿Prohibirán o limitarán, las condiciones de cambio social, el desarrollo y la aplicación?

En el aspecto Político

Las Instituciones o agencias de liderazgo político y diseño de política, enfrentarán el cambio de las directrices, la interrupción, la forma o la programación en el tiempo de la tecnología?

En el aspecto Ecológico

La tecnología pronosticada requiere insumos o materiales que generan productos o resultados, que tienen efectos indeseables en la ecología, o que desmejoren

la calidad de la vida?

4.0 Conclusiones

Las técnicas de predicción tecnológica se han usado durante muchos años, pero no han sido reconocidas bajo este nombre; además no han sido organizadas como una actividad sistemática o como fuente de información de una manera coherente.

El futuro está influenciado por un gran número de factores y es imposible tenerlos en cuenta en su totalidad, en forma simultánea y concurrente. Además como el factor definitivo es el azar y no hay forma de cuantificarlo ni determinar la cantidad de variabilidad que implica, el conocimiento del futuro se hace cada vez más incierto, aunque es factible ubicar algunas aproximaciones consistentes.

BIBLIOGRAFIA

- Bright, James R. "A Brief Introduction to Technology forecasting" 3a. edición. 1974. Austin, Texas. Industrial Management Center.
- "Technological forecasting for Industry and Government" Prentice Hall. 1968.
- Vásquez Alfonso, "Predicción Tecnológica" —IV— Congreso de Cálculo Electrónico e Investigación Operacional. Bogotá, 1974.
- Estes, Gerad; Kuespert Don. "Delphi in Industrial Forecasting". Chemical Engineering. August 23, 1976.
- Earl C. Joseph "Forecasting the future using Scenarios" Univac División Sperry Rand Corp. April 1972.
- Zentner, Rene D., "Scenarios in Forecasting" Chemical Engineering. Oct. 6, 1975.
- Helmer, Olaf. "Cross impact gaming". Futures, June 1972.
- Goodrich Robert, House R., "Systems Engineering Methodology" VI Reunión Técnica Anual —IEEE Seccional Colombia— Bogotá, 1976.
- Bunge Mario. "La investigación científica. Ariel.
- Churman, C. West. "El futuro del pasado: estimación de tendencias según la Teoría General de Sistemas" en "Trends in General Systems Theory" —John Wiley— compilado por George Klir, L. Bertalanffy, W.R. Ashby, G.M. Weimburg, etc. Traducción Editorial Alianza.