

## 2.1.7 Modelos explicativos de regresión

### 2.1.7.1 Modelos de regresión con una sola ecuación

En este tipo de modelos se expresa una relación (lineal) entre la variable dependiente  $y$  (variable endógena) y  $k$  variables independientes  $x_1, x_2, \dots, x_k$  (variables exógenas), de la forma:

$$y_t = b_0 + b_1 \cdot x_{1,t} + b_2 \cdot x_{2,t} + \dots + b_k \cdot x_{k,t} + \theta_t$$

donde el subíndice  $t$  se refiere al número de orden o instante de la observación (para considerar el término independiente  $b_0$  en forma análoga a los coeficientes de las variables podemos suponer  $k+1$  variables independientes con  $x_{0,t}$ )

Disponemos de  $T$  conjuntos de datos, es decir,  $T(1+k)$ -etos

$$[y_t, x_{1,t}, x_{2,t}, \dots, x_{k,t}]$$

obtenidos a través de observaciones y mediciones del fenómeno en el pasado y deseamos estimar los valores de las  $b_i$  para poder predecir (proyectar) los valores futuros de  $y$ , supuesto que conocemos cuáles serán los valores futuros de las  $x_i$ . En algunos casos, poco frecuentes en el sector de preocupaciones en que nos movemos aquí, las observaciones históricas habrán podido obtenerse por experimentación, es decir, *pudiendo fijar* el observador los valores de las  $x_i$  y midiendo el valor de  $y$  consecuente; en este caso la elección adecuada de los juegos de valores  $x_i$  a experimentar y de  $T$  serán determinantes y la verificación de la idoneidad del modelo también podrá realizarse mediante experimentación suplementaria. Más habitualmente el observador se limitará a medir y a anotar los valores de las  $x_{i,t}$  y de la  $y_t$ , que escaparán totalmente o parcialmente a su control.

En un caso concreto y puede ser, expresado en forma adecuada, el total de ventas de un producto,  $x_1$  el precio del producto,  $x_2$  los gastos de publicidad, etc. Como de costumbre representamos mediante  $\theta_t$  el ruido o álea, cuya aparición puede justificarse (si no se quiere aceptar que muchos fenómenos son intrínsecamente aleatorios) por la acción de multitud de factores, influyentes pero poco importantes, que no se han tenido en cuenta entre las  $x_i$ , y por los errores de medición introducidos tanto en  $y$  como en las  $x_i$ .

En notación compacta matricial podemos escribir la aplicación del modelo a la historia bajo la forma:

$$Y = X \cdot b + \theta$$

donde:

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \dots \\ y_T \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_k \end{bmatrix} \quad \theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \dots \\ \theta_k \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{1,1} & x_{2,1} & \dots & x_{k,1} \\ 1 & x_{1,2} & x_{2,2} & \dots & x_{k,2} \\ 1 & x_{1,3} & x_{2,3} & \dots & x_{k,3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{1,T} & x_{2,T} & \dots & x_{k,T} \end{bmatrix}$$

Las hipótesis usuales son:

- a) La esperanza matemática del ruido es cero, su variancia independiente de  $t$ , y valores en instantes distintos de  $\theta$  son independientes:

$$\begin{aligned} E[\theta_t] &= 0 & \forall t \\ V[\theta_t] &= \sigma^2 & \text{independiente de } t \\ \text{COV}[\theta_t, \theta_{t'}] &= 0 & \text{para } t \text{ distinto de } t' \end{aligned}$$

- b) Las variables  $x$  son un conjunto fijo de valores y son independientes del ruido.
- c) La matriz  $X$  tiene característica  $k$ , siendo  $k < T$ . No existen, por tanto, relaciones lineales entre las variables independientes (son verdaderamente independientes) y el número de observaciones es mayor que el de coeficientes a estimar.

Si llamamos  $\hat{b}$  a la estimación de  $b$ , la expresión matricial anterior conduce a:

$$Y = X \cdot \hat{b} + e$$

donde  $e$  representa a la columna o vector de los errores residuales. Una forma de estimar  $b$  consiste en buscar la minimización de la suma de cuadrados de los residuos:

$$SSE = e' \cdot e = (Y - X \cdot \hat{b})' \cdot (Y - X \cdot \hat{b})$$

para lo que derivamos respecto a  $\hat{b}$  e igualamos a cero:

$$\frac{SSE}{\hat{b}} = -2 \cdot X' \cdot Y + 2 \cdot X' \cdot X \cdot \hat{b} = 0$$

de donde:

$$\hat{b} = (X' \cdot X)^{-1} \cdot X' \cdot Y$$

que conduce a una solución si  $(X' \cdot X)$  es regular, lo que está garantizado por la hipótesis (c). Si dos o más variables independientes están totalmente correlacionadas  $(X' \cdot X)$  es singular, no existe inversa y  $\hat{b}$  queda indeterminado. Si la correlación no es total pero sí importante los valores obtenidos para  $b$  son poco fiables (poca precisión); este fenómeno se llama multicolinealidad y no siempre es posible encontrar una forma de evitarlo, pero se recomienda depurar las variables inadecuadas probando correlaciones simples o debilitar las relaciones mediante transformación de las variables (una forma es considerar en lugar de los valores de cada período la diferencia respecto al valor del período anterior).

Las expresiones anteriores conducen a resolver el sistema lineal de  $k+1$  ecuaciones con  $k+1$  incógnitas:

$$\begin{aligned} \hat{b}_0 \cdot T + \hat{b}_1 \cdot \sum 1 \cdot x_{1,t} + \dots + \hat{b}_k \cdot \sum 1 \cdot x_{k,t} &= \sum 1 \cdot y_t \\ \hat{b}_0 \cdot \sum x_{1,t} + \hat{b}_1 \cdot \sum x_{1,t} \cdot x_{1,t} + \dots + \hat{b}_k \cdot \sum x_{1,t} \cdot x_{k,t} &= \sum x_{1,t} \cdot y_t \\ \hat{b}_0 \cdot \sum x_{2,t} + \hat{b}_1 \cdot \sum x_{2,t} \cdot x_{1,t} + \dots + \hat{b}_k \cdot \sum x_{2,t} \cdot x_{k,t} &= \sum x_{2,t} \cdot y_t \\ \hat{b}_0 \cdot \sum x_{k,t} + \hat{b}_1 \cdot \sum x_{k,t} \cdot x_{1,t} + \dots + \hat{b}_k \cdot \sum x_{k,t} \cdot x_{k,t} &= \sum x_{k,t} \cdot y_t \end{aligned}$$

Una vez estimado  $\hat{b}$  debe procederse a controlar la validez del modelo para ver si representa adecuadamente la realidad. Hay tres vías, no antagónicas, para determinar la validez del modelo: información "a priori", pruebas estadísticas y comparación de valores reales y calculados.

### 2.1.7.2 Información "a priori"

Antes de empezar a construir el modelo se dispone de conocimiento teórico o práctico

sobre el fenómeno que se modeliza. Ejemplos de esta información "a priori" son el signo de las variables, el orden de magnitud de los parámetros, las relaciones entre dichos conceptos, entre variables de cierto grupo, etc.

Pueden compararse, pues, los resultados de la estimación con estos conocimientos para contrastar el modelo. Como casi todas las pruebas la evidencia que proporciona el contraste es negativa, es decir, sirve para establecer que el modelo es inadecuado, pero en el caso contrario pueden persistir las dudas.

### 2.1.7.3 Pruebas estadísticas

Existen muchas pruebas estadísticas disponibles, aunque su validez, en la mayoría de los casos, entraña la aceptación de las hipótesis indicadas más algunas suplementarias y del uso de los mínimos cuadrados en la estimación. Nos limitaremos a exponer el coeficiente de determinación que se define como sigue:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum e_t^2}{\sum [y_t - y_m]^2}$$

donde  $y_m$  es el valor medio de las  $y_t$ :

$$y_m = \frac{\sum y_t}{T}$$

El valor de  $R^2$  indica la proporción de la variación de  $y$  explicada por el modelo de regresión. Así  $R^2 = 0,78$  se interpreta diciendo que el 78% de las variaciones de la variable  $y_t$  respecto a su media pueden explicarse por las variaciones de las variables  $x_{it}$ . Si  $R^2 = 1$  existe correlación perfecta.

### 2.1.7.4 Comparación de los valores reales y los calculados

Presupone efectuar la experimentación, de la que ya hemos hablado, o realizar un *paralelo*, comparando resultados *frescos* con los dados por el modelo.

### 2.1.7.5 Proyección con el modelo

Finalmente el modelo definitivo y aceptado será de la forma (prescindiendo del ruido, substituido por su valor medio):

$$\hat{y}_t = b_0 + b_1 \cdot x_{1,t} + \dots + b_k \cdot x_{k,t}$$

Si deseamos la proyección de  $y$  para el período  $T+h$ :  $y_{T+h}$  deberemos conocer los valores  $x_{i,T+h}$  para poder substituirlos en la ecuación. Dicho conocimiento puede provenir de:

- información externa,
- políticas u objetivos establecidos,
- extrapolación o proyección,
- etc.

### 2.1.7.6 Aplicación

La empresa Nicashi Plate Glass (NPG) considera que su cifra de negocios depende del volumen de actividad en las industrias del automóvil y de la construcción, sus principales clientes, y a partir de los datos disponibles (*fig. 2.1.7.1*) desea estimar su cifra de ventas durante los próximos cinco años. El modelo será de la forma:

$$y_t = b_0 + b_1 \cdot x_{1,t} + b_2 \cdot x_{2,t} + \theta_t$$

Utilizando la regresión múltiple obtenemos:

$$\hat{b}_0 = 4,873 \quad ; \quad \hat{b}_1 = 17,808 \quad ; \quad \hat{b}_2 = 8,143$$

de donde la ecuación resultante será:

$$\hat{y}_t = 4,873 + 17,808 \cdot \hat{x}_{1,t} + 8,143 \cdot \hat{x}_{2,t}$$

y la proyección para 1989:

$$\hat{y}_{1989} = 4,873 + 17,808 \times 3,20 + 8,143 \times 16,17 = 193,531$$

y análogamente las demás:

$$\hat{y}_{1990} = 214,297$$

$$\hat{y}_{1991} = 235,687$$

$$\hat{y}_{1992} = 246,262$$

$$\hat{y}_{1993} = 263,916$$

El valor de  $R^2$  es 0,94688, lo que da una alta significatividad al modelo.

$t$	$y_t$	$x_{1,t}$	$x_{2,t}$	$t$	$y_t$	$x_{1,t}$	$x_{2,t}$
1972	70,0	1,955	3,14	1983	151,7	2,796	12,14
1973	70,4	2,569	3,45	1984	157,2	3,338	12,19
1974	84,4	3,333	4,83	1985	150,7	2,772	12,38
1975	101,1	2,669	5,25	1986	164,2	3,467	13,77
1976	100,5	2,161	5,59	1987	194,6	3,819	15,21
1977	113,0	3,059	5,81	1988	219,4	3,876	15,79
1978	107,9	2,780	6,59	1989	est.	3,200	16,17
1979	145,4	3,960	7,92	1990	est.	3,950	17,08
1980	149,2	2,908	10,54	1991	est.	4,200	19,16
1981	155,2	3,057	10,72	1992	est.	4,300	20,24
1982	128,4	2,129	11,70	1993	est.	4,450	22,08

Fig. 2.1.7.1 Datos utilizados por Nicashi Plate Glass (NPG)

$y_t$  = cifra de ventas anuales de NPG en millones um.

$x_{1,t}$  = producción anual de automóviles en millones de um.

$x_{2,t}$  = contratos en la construcción en miles de millones de um.

Las cifras de 1989 a 1993 son estimaciones

$t$	$y_t$	$\hat{y}_t$	$t$	$y_t$	$\hat{y}_t$
1972	70,0	65,3	1983	151,7	153,5
1973	70,4	78,7	1984	157,2	163,6
1974	84,4	103,6	1985	150,7	155,0
1975	101,1	95,2	1986	164,2	178,7
1976	100,5	88,9	1987	194,6	196,7
1977	113,0	106,7	1988	219,4	202,5
1978	107,9	108,0	1989	---	193,5
1979	145,4	139,9	1990	---	214,3
1980	149,2	142,5	1991	---	235,7
1981	155,2	146,6	1992	---	246,3
1982	128,4	138,1	1993	---	263,9

Fig 2.1.7.2 Comparación entre la cifra anual de ventas de Nicashi Plate Glass (NPG) y los valores obtenidos por regresión lineal

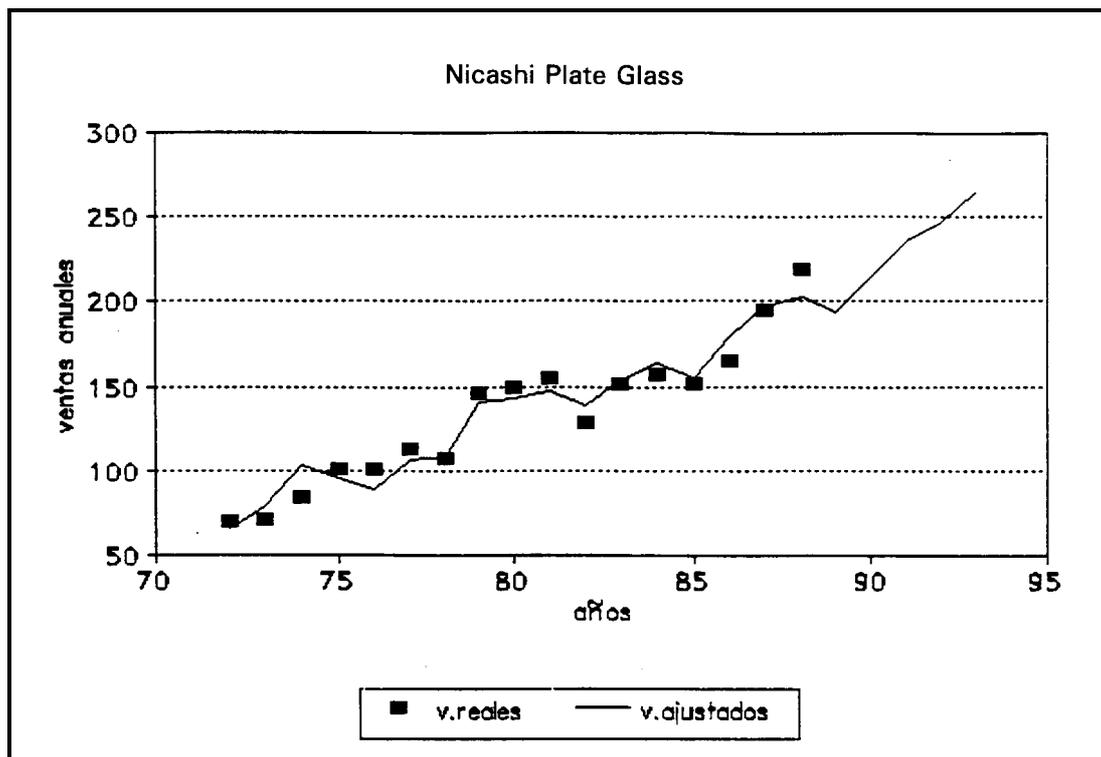


Fig. 2.1.7.3 Comparación entre los valores reales de la cifra anual de ventas de Nicashi Plate Glass (NPG) y los valores correspondientes a la regresión lineal

### 2.1.7.7 Caso de una sola variable independiente

Si existe una sola variable independiente el modelo será de la forma:

$$y_t = a + b \cdot x_t + \theta_t$$

y la estimación de  $a$  y  $b$  se obtendrá resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$\hat{a} \cdot T + \hat{b} \cdot \sum_{t=1}^T x_t = \sum_{t=1}^T y_t$$

$$\hat{a} \cdot \sum_{t=1}^T x_t + \hat{b} \cdot \sum_{t=1}^T (x_t)^2 = \sum_{t=1}^T x_t \cdot y_t$$

de donde:

$$\hat{b} = \frac{\sum (x_t - x_m) \cdot (y_t - y_m)}{\sum (x_t - x_m)^2}$$

donde  $x_m$  e  $y_m$  son los valores medios de la variable  $x$  y de la variable  $y$  respectivamente:

$$x_m = \frac{\sum x_t}{T} \quad ; \quad y_m = \frac{\sum y_t}{T}$$

Además la recta de regresión pasa por el punto  $(x_m, y_m)$ , centro de gravedad de los puntos representativos de las observaciones, con lo que se puede escribir:

$$y - y_m = \hat{b} \cdot (x - x_m)$$

lo que nos lleva al valor de  $a$ :

$$a = y_m - \hat{b} \cdot x_m$$

que también podría deducirse de las ecuaciones anteriores. El coeficiente de correlación lineal,  $R$ , puede obtenerse a partir de:

$$R = \frac{\sum (x_t - x_m) \cdot (y_t - y_m)}{\sqrt{[\sum (x_t - x_m)^2] \cdot [\sum (y_t - y_m)^2]}}$$

indicando  $R^2$  el grado en que el modelo *explica* las variaciones de  $y$ . Para apreciar mejor el grado de significatividad de  $R$  será conveniente que el lector consulte un texto de estadística.

### 2.1.8 Previsión tecnológica

No se ha formulado hasta la fecha una definición de Previsión tecnológica aceptada por la generalidad de los autores. Una de las razones de esta situación es la de que diferentes especialistas han utilizado enfoques distintos bajo dicho nombre según la finalidad última buscada, es decir, al tipo de decisión o nivel de planificación al que destinaban el resultado de la previsión.

E. Jantsch distingue tres niveles de planificación y tres tipos de previsión tecnológica, cada uno adaptado a un nivel:

" A nivel del sistema de planificación: la previsión tecnológica consiste en la clarificación de los elementos científico-técnicos que determinarán las futuras condiciones límite para el desarrollo social (o generalmente institucional)"

" A nivel de planificación estratégica: la previsión tecnológica consiste en el establecimiento y evaluación comparativa de las opciones tecnológicas alternativas, es decir, en la preparación de la agenda de decisiones tecnológicas"

" A nivel de planificación operativa o táctica: la previsión tecnológica consiste en la determinación probabilística del futuro cambio de tecnología"

(Jantsch, E. *Technological forecasting in corporate planning*, 1969)

J. R. Bright define la previsión tecnológica como la "predicción probabilística de las características, formas o parámetros que pueden producirse de acuerdo con un sistema de análisis basados en relaciones cuantitativas o lógicas más que en la opinión intuitiva".

Jantsch dice que la previsión tecnológica consiste en la determinación probabilística de los cambios tecnológicos futuros con un nivel relativamente alto de seguridad.

W. W. Claycombe y W. G. Sullivan la definen como "el conjunto de procedimientos que, mediante la recogida de datos y el análisis de los mismos, sirven para predecir futuros desarrollos tecnológicos y los impactos que dichos desarrollos van a producir en el entorno y en las formas de vida del hombre".

H. W. Lanford concluye: "sintetizando estas definiciones queda claro que la previsión tecnológica es la determinación o predicción probabilista del futuro tecnológico. El futurólogo debe tener confianza en sus predicciones y futurólogos distintos, manejando los mismos datos, deben obtener conclusiones similares. Por tanto la previsión tecnológica consiste en predecir o determinar en las futuras tecnologías, las características factibles o deseables de los parámetros resultantes"

### 2.1.8.1 Concepto

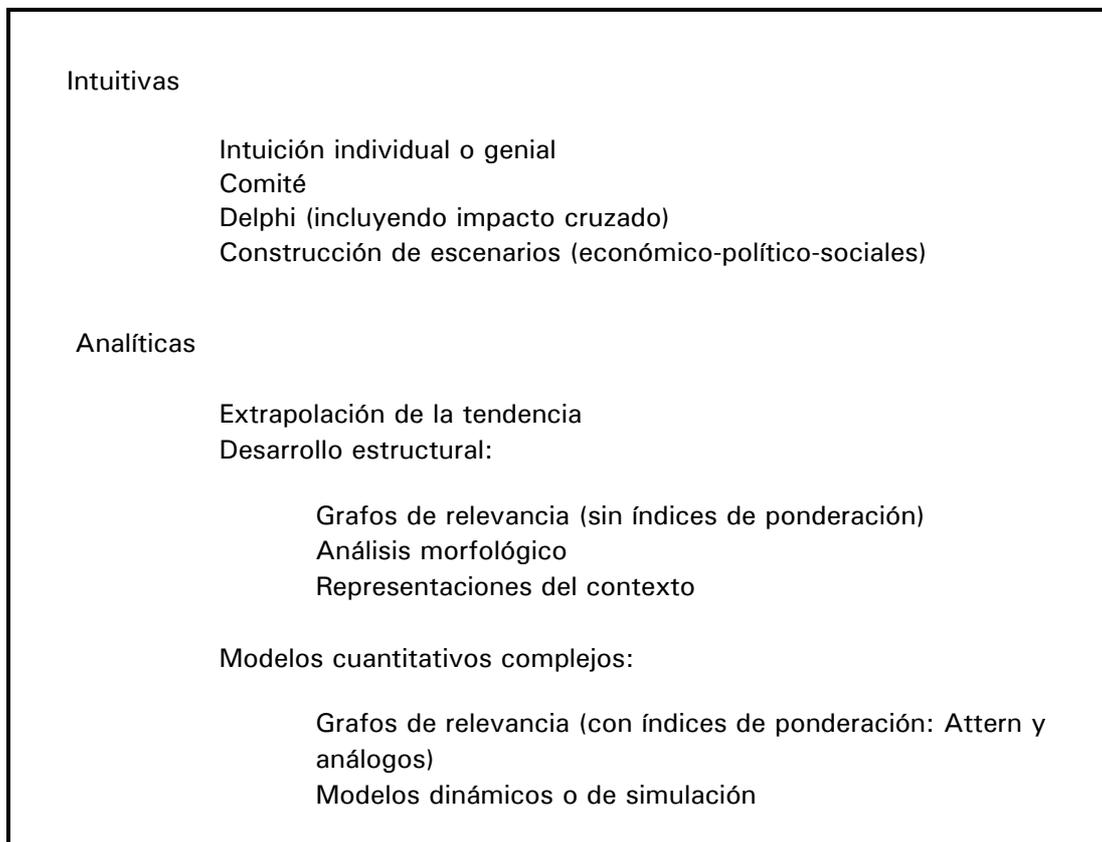
Estamos totalmente de acuerdo en la existencia de cierta vaguedad e imprecisión en el concepto y contenido de la previsión tecnológica. La causa, dejando a un lado el aspecto mágico que posee toda aparente profecía, la encontramos en la razón ya apuntada: la previsión no es un proceso neutro, según para qué se desee la previsión poseerá un carácter u otro.

En nuestro sector de interés, el productivo, la previsión tecnológica se centrará en:

- Definir el marco tecnológico futuro de nuestro sistema productivo, la evolución de las tecnologías de proceso y, por tanto, la orientación a seguir en la modificación de instalaciones, maquinaria, sistemas de gestión, etc.
- Definir el contenido tecnológico (en ocasiones incluso la naturaleza) de nuestro producto, y por tanto orientar la selección de los programas de investigación y desarrollo.

La gran relación existente entre previsión tecnológica y selección de programas de investigación y desarrollo conduce a la inclusión, en textos con el primer título, de temas y herramientas que están más orientadas a inventar que a prever (bien es cierto, sin embargo, que para que algo sea realidad el día de mañana, es preciso, en muchos casos, que alguien lo imagine hoy). Intentaremos mostrar las características de la herramienta cuando la describamos.

Las metodologías utilizadas en la previsión tecnológica las clasificaremos de la forma indicada en la *figura 2.1.8.1*.



*Fig. 2.1.8.1 Metodologías utilizadas en la previsión tecnológica*

### 2.1.8.2 Técnicas intuitivas de previsión

La predicción intuitiva, la que hacen los expertos sin utilizar ningún procedimiento sistemático, tiene su largo anecdotario de errores. Aunque los expertos tienen a menudo razón, también se equivocan gloriosamente, pues en ocasiones olvidan (o no prevén) algún factor que pone en entredicho sus conclusiones, como queda patente una vez transcurrido cierto tiempo. Sin que la relación sea exhaustiva, citamos a continuación algunos ejemplos.

" El arco es un arma sencilla, las armas de fuego son instrumentos muy complicados cuyo empleo está fuera de lugar en muchos sentidos.... Hay que considerar también que mientras un arquero puede hacer seis disparos en un minuto un mosquetero sólo puede hacer uno cada dos minutos"

(Coronel Sir John Smyth, informe al British Privy Council, 1591)

" No existe ningún argumento científico ni comercial que pueda justificar la utilización de corrientes alternas o de alta tensión. Se utilizan únicamente para reducir la inversión en hilo de cobre y bienes inmuebles"

(Thomas Alva Edison, *Los peligros del alumbrado eléctrico*, North American Review, nov-1889)

" Esperamos que el profesor Langley deje de poner en peligro su considerable altura científica malgastando su tiempo y dinero en más experimentos aéreos. La vida es corta, y él tiene capacidad para prestar a la Humanidad servicios mucho mayores de los que pueden esperarse como resultado de las experiencias aéreas"

(Editorial del New York Times, 10-12-1903, una semana antes de que los hermanos Wright hicieran volar el Kitty Hawk)

" La era de los acorazados no se ha terminado, y parece muy poco verosímil que un avión o una escuadrilla aérea pueda, alguna vez, hundir una flota de navíos de la Armada en condiciones de combate"

(Franklin Delano Roosevelt, 1922)

" Se ha hablado mucho de un cohete de largo alcance con un radio de acción de 5000 km. En mi opinión esto será imposible durante muchos años. La gente que ha venido escribiendo sobre este enojoso asunto, ha hablado de un cohete de amplio radio de acción, con un alcance de 5.000 km aproximadamente, enviado de un continente a otro portando una bomba atómica y que puede ser dirigido para convertirse en un arma de alta precisión que caería exactamente sobre su objetivo, por ejemplo una ciudad. Afirmo que técnicamente no creo que haya en el mundo nadie que sepa construir algo semejante y tengo confianza en que siga siendo imposible en el curso de un largo espacio de tiempo

futuro.... Creo que podemos apartar este tema de nuestro pensamiento. Desearía que el público americano también lo hiciera así."

(Dr. Vannevar Bush, director de los Servicios de Guerra Científica USA, declaración ante el Comité del Senado, 3-12-45. El concepto de la V-2 era ya conocido, pero implícitamente se pensaba que para trasladar una bomba atómica con el peso de entonces, 5 Tm, hacía falta un cohete que a la partida pesara 200 Tm. El Pentágono abandonó los trabajos sobre cohetes de largo alcance durante 5 años. La URSS, que no hizo caso al Dr. Bush investigó y desarrolló el cohete de 200 Tm. Cuando se descubrieron bombas más ligeras, y más potentes, este cohete no tenía interés como arma, pero sí para la carrera espacial).

" En resumen, para el 31 de diciembre de 1971 el resultado es que el orden de magnitud del incremento de la oferta es *tres veces y media* el de las necesidades para el cuatrienio. Por ello se puede concluir que a la sociedad se le presenta la siguiente alternativa:

- o el rendimiento de las Escuelas se hace, todavía, mucho menor,
- o de siete a ocho mil ingenieros civiles superiores se emplearán como técnicos medios, emigrarán o quedarán desempleados.

De los cuadros de esta proyección al 31 de diciembre de 1976 y de la cifra de excedentes al 31 de diciembre de 1971 se puede deducir que aunque en el quinquenio 1971-1976 no se graduara ningún ingeniero, aún quedaría al 31 de diciembre de 1976 un *excedente de unos 2000 ingenieros civiles superiores*.

Para que al finalizar 1987 las necesidades y recursos estén prácticamente equilibradas, durante los cursos 1971-1972 a 1986-1987 ambos inclusive el número medio de ingenieros civiles superiores que deben graduarse por curso en España es de unos 1100."

(Informe Matut y Anexo, 1969. El cambio tecnológico producido en los años recientes y posiblemente de la concepción de qué es un ingeniero civil superior han modificado sensiblemente las conclusiones anteriores, bastante polémicas en su tiempo y cuya base cuantitativa era considerable).

Los expertos en técnicas y tecnología, por tanto, son tan poco afortunados en sus predicciones como sus colegas, los expertos en política. Resulta altamente instructivo y estimulante para la imaginación confeccionar una lista de las invenciones y descubrimientos que se previeron y de los que no (*fig. 2.1.8.2*). Todos los inventos mencionados en la columna izquierda (no necesariamente plasmados en objetos materiales) ya han sido conseguidos o descubiertos y todos ellos poseen un elemento inesperado o asombroso. En la columna de la derecha quedan ideas que se han expuesto y manejado durante cientos o miles de años, algunas han sido conseguidas ya, otras lo serán y quedan algunas que podrían resultar imposibles, pero ¿cuáles?

LO INESPERADO	LO ESPERADO
- Rayos X, Radio, TV	- Automóviles, Máquinas voladoras
- Energía nuclear, Electrónica	- Máquina de vapor, Submarino
- Fotografía, Grabación del sonido	- Naves espaciales, Teléfono
- Mecánica cuántica	- Robots
- Relatividad	- Biblioteca-fonoteca-videoteca a domicilio
- Transistor, Láser, Máser	- Dinero electrónico
- Superconductores, Superfluidos	- Trabajo a distancia
- Relojes atómicos,	- Rayo de la muerte
- Efecto Mösshauer,	- Transmutación, Invisibilidad
- Límites a la racionalidad, decidibilidad y calculabilidad	- Bancos de órganos, trasplantes generalizados, Clonación
- Determinación composición de cuerpos celestes	- Vida artificial, Inmortalidad
- Determinación de fechas del pasado (C14, etc.)	- Levitación, Teleportación
- Detector de planetas invisibles	- Comunicación con los muertos
- Ionosfera, Cinturón Van Allen	- Observación del pasado y del futuro
	- Telepatía, Viaje temporal.

*Fig. 2.1.8.2 Lista de invenciones no previstas y previstas. Entre las segundas existen algunas que todavía son una entelequia. (fuente A.C. Clarke, "Perfiles del futuro" y elaboración propia)*

Estas experiencias han llevado a Bright a formular las siguientes conclusiones:

- Los tecnólogos de gran éxito no son siempre buenos previsores técnicos, pueden tener razón respecto a una tecnología, pero estar equivocados totalmente acerca de su impacto económico.
- Las predicciones de un grupo de expertos deben examinarse cuidadosamente para establecer el carácter y firmeza de las hipótesis técnicas y económicas. Las predicciones erróneas del pasado parecen motivadas por el descuido de hipótesis técnicas y por la influencia del entorno no técnico.

A esta lista pueden añadirse, además:

- Para proyectar tendencias hay que contar con una base estadística.
- Las predicciones deben incluir la fecha esperada de realización.
- Los objetivos o futuros alternativos pueden establecerse mediante técnicas normativas. Hay que escoger un plan deseable para su realización.

### 2.1.8.3 Comités, encuestas y *panels*

Para superar los peligros de la estimación individual puede ser conveniente mezclar varias opiniones de individuos que posean influencia en su campo. Se supone que así se eliminan los errores, lo que no es necesariamente cierto, sobre todo si la muestra es pequeña.

Se ha demostrado que un grupo de científicos e ingenieros puede tener menos imaginación que un individuo único (efecto censura del grupo sobre el individuo). En cambio la técnica de encuestar a un grupo de expertos tiene la ventaja de proporcionar una indicación sobre la trayectoria a seguir para desarrollar una tecnología naciente, aunque siempre es determinante la manera en que se formulan las preguntas y la elección de la muestra de experto.

El método del *panel* consiste en una reunión de expertos que discuten sus posturas, proporcionando una deseable interacción entre las diferentes opiniones. En 1967 un *panel* integrado por representantes del ejército, marina y fuerza aérea de USA preparó para cada uno de los respectivos mandos la ponencia más detallada sobre previsión tecnológica que se había elaborado hasta la fecha.

Sin embargo, si no se emplea adecuadamente, puede ocurrir que la opinión de la mayoría se repita constantemente pues algunos especialistas pueden ser extraordinariamente testarudos. Una vez más el papel del animador (o administrador) de la aplicación tiene una especial relevancia en la validez de los resultados.

En alguna forma las revistas técnicas periódicas suelen incluir visiones de la evolución tecnológica futura basadas en opiniones de expertos, individuales o colectivas.

La estimulación de la imaginación de los expertos puede utilizar métodos tanto racionales como irracionales; el estudio de las condiciones de aparición de los descubrimientos e invenciones ha inspirado métodos de estimulación, algunos con un gran contenido irracional, otros procediendo en forma de análisis lógico sistemático. Los procedimientos irracionales se fundan en la observación de que una innovación frecuentemente se produce como consecuencia de la conexión imprevista de ideas o experiencias anteriores. Por consiguiente es útil multiplicar las ocasiones para que se produzcan tales conexiones, abandonando de entrada todas las ideas convencionales o juicios *a priori*; este es el objetivo del *brainstorming*. Otra observación es la de que la invención se facilita cuando la

conexión de ideas se realiza en un cerebro que se ha hecho más receptivo gracias a la larga incubación de una idea de investigación; un perfeccionamiento del método ha sido la *sinéctica*.

#### 2.1.8.4 El *brainstorming*

El *brainstorming* es un método de búsqueda de ideas en grupo sobre un tema preciso. Se reúne a siete u ocho personas para hacer surgir el máximo de ideas posibles sobre un tema, bajo la orientación de un coordinador. Para que el método dé resultados, debe desarrollarse libremente, sin limitaciones, por lo que los participantes se abstendrán de juicios de valor. Por tanto, es preciso enseñar a los participantes a dejar volar su imaginación y a no emitir ninguna crítica contra ninguna de las ideas expresadas en la sesión de trabajo.

Por otra parte el coordinador puede estimular la sesión mediante:

- la búsqueda de analogías,
- asociaciones de palabras y juegos de palabras,
- listas de preguntas, o de palabras,
- etc.

La dificultad de la explotación del *brainstorming* estriba en la ordenación de las ideas, su reducción a un número manejable que pueda presentarse a las personas que deberán seleccionarlas y, eventualmente, utilizarlas. Pueden utilizarse diversos procedimientos, pero la actitud del coordinador es esencial.

#### 2.1.8.5 La *sinéctica*

La *sinéctica* es igualmente un método de búsqueda de ideas en grupo pero con posible digresión fuera del tema explorado. Se funda en el hecho de que una excursión momentánea fuera del campo de reflexión habitual es fecunda y puede aportar la luz buscada cuando se vuelve al tema estudiado. Se trata de organizar esta excursión. Se constituye un grupo formado por especialistas de disciplinas diferentes que deberán trabajar sobre un problema tal como la concepción de un nuevo producto o la puesta a punto técnica de dicho producto.

El *petionario* expone el problema al grupo, que se familiariza con él mediante un primer ejercicio de *brainstorming*. A continuación el grupo formula el problema (generalizándolo frecuentemente) y se enumeran las diferentes etapas a recorrer. Por tanto, existe una progresión lógica de la búsqueda, cuyas diferentes etapas están separadas por fases imaginativas en las que se emplearán, como sugiere W.J.J. Gordon, inventor del método,

analogías, juegos de rol, e incluso el sueño despierto ("analogía fantástica"). El siguiente esquema describe una aplicación de la sinéctica en ocho fases:

- formulación del problema: por el experto,
- análisis del problema: por el grupo;
  - solicitud de información al experto,
  - descomposición del problema,
- *brainstorming*
- reformulación del problema por los participantes,
  - lista de todos los hitos que deberían alcanzarse para resolver el problema,
- elección de un *hito identificado*,
- transposición analógica (analogía directa),
  - elección de una analogía,
- excursión sinéctica,
  - mediante analogía personal: identificación - juego de rol - sueño despierto en grupo - .....
  - mediante analogía simbólica: símbolos - títulos de libros - juegos con las palabras - .....
- regreso al problema,
  - análisis de la *excursión sinéctica* en función del problema de partida; búsqueda de soluciones.

#### **2.1.8.6 La técnica Delphi**

Fue diseñada originariamente por Norman Dalkey, de la Rand Corporation y Olaf Helmer del Institute For The Future (IFF).

Consiste en solicitar de forma sistemática opiniones autorizadas (no utiliza la fórmula del comite, y evita las discusiones directas, guardando en lo posible el anonimato, lo que evita parcialmente los efectos psicológicos tales como la persuasión aparente, renuncia a abandonar una opinión expresada públicamente y el efecto demoledor de la opinión de la mayoría).

La técnica Delphi exige la preparación cuidadosa de un programa de actuación por parte del equipo administrador de la aplicación, que se desarrolla en varias fases:

- 1) Se envía a un grupo de expertos, elegidos con mucho cuidado, un cuestionario redactado con gran atención. Los expertos no deben interactuar directamente entre sí. Se les pide que proporcionen valores numéricos a su juicio (por ejemplo, fechas en que se producirán ciertos avances tecnológicos especificados).
- 2) Las respuestas al primer cuestionario se sintetizan y sumarizan, y se remiten las conclusiones (*feed-back*) a aquellos expertos que contestaron. El resumen suele incluir las medianas de los valores numéricos (como mejor medida de posición) y el intervalo intercuartil (IQR) distancia entre el final del 1er cuartil y el del 3er cuartil, que contiene el 50% de los valores.
- 3) Los expertos reciben la petición de revisar sus estimaciones anteriores en base a los resúmenes.
- 4) En fases sucesivas aquellos expertos cuyos valores se desvían sensiblemente de la mediana reciben la petición de exponer las razones que tienen para emitir una opinión diferente de la de la mayoría. Se consideran desviadas las estimaciones en el 1er cuartil y en el 4º.

La necesidad de justificar respuestas relativamente extremas hace que aquellos expertos que no poseen razones poderosas en contra aproximen sus estimaciones a la mediana, mientras que los que creen tener argumentos de peso tienden a reafirmarse en su opinión *desviada*.

- 5) Se resumen las justificaciones y se remiten a los expertos para otra iteración.
- 6) El proceso continúa, remitiéndose las críticas a las justificaciones, nuevas justificaciones, etc. hasta que se obtiene cierto grado de consenso o hasta que las estimaciones cristalizan y no sufren ya variaciones.

En la mayoría de las aplicaciones de la técnica Delphi se ha podido observar una gran convergencia de opiniones. Sin embargo, cuando ello no ha ocurrido, las opiniones se han polarizado en torno de dos estimaciones diferentes que han traducido la existencia de dos escuelas de pensamiento con puntos de vista particulares.

En cualquier caso las aptitudes del administrador del programa son determinantes del éxito o fracaso de la aplicación. La concepción de estimaciones mediante tripletas (mediana y cuartiles) ejerció influencia en los desarrollos del PERT (ver capítulo 7 del primer volumen).

Ventajas:	<p>El consenso refleja que las opiniones de cada experto se han contrastado y han interrelacionado con las de los demás expertos.</p> <p>Se evitan los problemas de la discusión cara a cara, los resultados parecen mejores.</p> <p>El procedimiento está bien definido y se puede formalizar.</p>
Inconvenientes:	<p>No deja de ser un procedimiento subjetivo, y por tanto poco fiable.</p> <p>La forma de redactar las preguntas afecta a las respuestas.</p> <p>Resulta difícil valorar y emplear los conocimientos técnicos del grupo.</p> <p>Es rígido frente a lo imprevisto.</p>

*Fig. 2.1.8.3 Ventajas e inconvenientes del método Delphi*

En las *figuras 2.1.8.4 y 2.1.8.5* hemos reproducido algunos ejemplos de aplicaciones del método Delphi. Viendo las conclusiones más de 20 años después de su elaboración podemos tener una perspectiva de su pertinencia.

SECTOR ENERGÍA Y AMBIENTE			
ACONTECIMIENTO	1erC	Med.	3erC
5- Motor de combustión interna "no contaminante"	1976	1980	1990
6- Supresión del concepto "el crecimiento como causa del crecimiento"	1977	1980	2000
7- Métodos prácticos y económicos para la desulfuración de los gases de chimeneas	1978	1980	1985
8- Control efectivo para evitar los perjuicios del derrame accidental de petróleo	1978	1980	1985

*Fig. 2.1.8.4 Previsión Delphi basada en la opinión de 40 expertos (28 americanos, 11 europeos y 1 japonés) con una media de 21 años de experiencia.*

*(Fuente: Long Range Planning, vol. 5, no. 4, 1972)*

SECTOR CONSTRUCCIÓN			
ACONTECIMIENTO	1erC	Med.	3erC
1- Método de ensayos de materiales económicos y seguros	1975	1975	1975
2- Amplia aplicación de las combinaciones de los materiales existentes	1975	1976	1977
3- Materiales para pavimentación nuevos y perfeccionados	1975	1975	1975
4- Máquinas altamente automatizadas para la construcción de túneles en roca dura	1976	1978	1980
5- Nuevos materiales sintéticos para construcciones ligeras	1977	1977	1977
6- Extensa producción en factorías de subsistemas estructurales, unidades de obra y elementos constructivos	1975	1978	1978
7- Extensa aceptación de envueltas no metálicas para cables de hilos eléctricos de alta tensión	1975	1975	1976
8- Amplia aceptación de acequias, cañerías y respiraderos de plástico	1975	1975	1975
9- Especificaciones nacionales simples para materiales usados en construcción de autopistas	1975	1975	1976
10- Código nacional de especificaciones técnicas relativas a la construcción	1975	1977	1978
11- Amplia aceptación de la conducción subterránea de todos los cables que cruzan la ciudad	1977	1977	1980
12- Autopistas automatizadas	1981	1982	1982

*Fig. 2.1.8.5 Resultados del estudio realizado por el departamento de organización científica del Instituto Nacional de Industria en 1971 para prever los cambios tecnológicos en España en los siguientes 20 años.*

*(fuente F. De La Sierra y G. Guzmán, "Ensayo de previsión de cambios tecnológicos en España para los próximos 20 años", Iranor, Madrid, 1972)*

### 2.1.8.7 Método del impacto cruzado

Gordon, del IFF, desarrolló el método del impacto cruzado (IC) para mejorar la coherencia interna de los resultados obtenidos con la técnica Delphi (u otra semejante), garantizando

la consistencia entre sí de las respuestas en diferentes apartados. La matriz IC permite la consideración metódica de los efectos que pueden producirse a causa de la interacción de diferentes acontecimientos que se prevé que ocurran; permite un análisis sistemático del efecto que producirá la ocurrencia de uno de ellos en todos los demás previstos.

Se dice que hay IC cuando la probabilidad de que ocurran determinados acontecimientos varía positiva o negativamente en función de que se produzca o no otro acontecimiento (fig. 2.1.8.6).

Además del signo de la correlación es preciso evaluar (estimándolo) la fuerza o intensidad de la correlación y el plazo de difusión. Gordon sostiene que ciertos acontecimientos son *provocadores*, otros *facilitadores*, existiendo también acontecimientos *inhibidores*. Ha sugerido la utilización del formulario adicional (fig. 2.1.8.7) para cada uno de los expertos encuestados y para cada acontecimiento previsto.

Si se produce este acontecimiento:		La probabilidad de que se produzca:			
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
D <sub>1</sub>	previsión meteorológica fiable a un mes	-	-	-	↑
D <sub>2</sub>	posibilidad de control limitado del clima	↑	-	-	↑
D <sub>3</sub>	inmunización bioquímica general	-	-	-	-
D <sub>4</sub>	supresión pérdida cosecha por clima adverso	-	-	-	-
ACONTECIMIENTO		PROBABILIDAD			
	D1	0,4			
	D2	0,2			
	D3	0,5			
	D4	0,5			

Fig. 2.1.8.6 Matriz de impactos cruzados y probabilidades aisladas de los acontecimientos. La flecha hacia arriba indica correlación cruzada positiva, si D<sub>2</sub> se produjese, D<sub>1</sub> y D<sub>4</sub> tendrían mayor probabilidad de ocurrir. Fuente: T. J. Gordon, *Cross-Impact Techniques*

DESCRIPCIÓN DEL ACONTECIMIENTO PREVISTO:					
ACONTECIMIENTO N° .....			FECHA DE OCURRENCIA SEGÚN MAYORÍA.....		PROBABILIDAD.....
Acontecimiento N°	Favorecido (de 0 a +5)	Inhibido (de 0 a -5)	Influencia sobre el momento de ocurrencia (+ ó - años)	Fecha Antes Ahora	Probabilidad Antes Ahora

*Fig. 2.1.8.7 Formulario analítico del impacto cruzado  
(escala: +5 = muy favorecido ; -5 = fuertemente inhibido)*

### 2.1.8.8 Escenarios

Un escenario es una especie de novela o argumento sintético de una película u obra teatral, en la que aparecen relacionados diversos aspectos del futuro. La trama del escenario parte de las condiciones actuales y describe posibles actuaciones y acontecimientos siguiendo el orden probable de su ocurrencia. Un escenario puede consistir en una extrapolación directa de las circunstancias actuales o bien incorporar variaciones de la tendencia resultado de la introducción de acontecimientos impactantes que modifiquen substancialmente dichas circunstancias. Puede considerarse que algunas obras de ciencia ficción constituyen escenarios altamente desarrollados.

En el campo de la previsión tecnológica se distinguen tres metodologías para el desarrollo de escenarios: la técnica del consenso, la técnica de la iteración a través de la síntesis y la técnica del impacto cruzado.

El consenso se lleva a cabo preguntando a grupos de expertos en diferentes materias cuáles son, a su juicio, los acontecimientos más importantes que tendrán lugar en el período de tiempo considerado; los expertos se interrelacionan mediante un ejercicio del tipo Delphi. Los escenarios resultantes consisten en la combinación de las previsiones en los distintos sectores.

El escenario de interacción a través de la síntesis consiste en elaborar escenarios independientes describiendo cada uno la evolución en un sector. Estos escenarios se van modificando progresivamente mediante un proceso iterativo hasta conseguir que sean compatibles entre sí. Esta técnica constituye el punto de partida lógico para los redactores de escenarios.

El empleo del impacto cruzado permite evaluar el efecto que uno de los aspectos del escenario causa sobre todos los demás aspectos, y por tanto constituye un medio para garantizar la consistencia interna de una determinada trayectoria hacia el futuro.

El objeto de un escenario consiste en proporcionar diversas alternativas que ayuden a la toma de decisiones, explorando las posibles consecuencias; por ello se han aplicado al análisis de posibles crisis militares o diplomáticas. Wiener considera que un escenario debe

ser plausible, interesante, peculiar y comprensible para aquellos que han de utilizarlo. La plausibilidad es uno de los aspectos más difíciles de conseguir dado que supone un juicio subjetivo, y lo que es plausible para unos no lo será para otros. Además muchos de los acontecimientos que han ocurrido y ocurren son extremadamente poco pausibles. Wiener considera que la técnica del escenario es un instrumento de enseñanza y aprendizaje, es decir, que es más importante el proceso desarrollado por los participantes que el resultado final (cualidad que los escenarios comparten con otras técnicas que veremos más adelante).

La redacción del escenario no debe formalizarse excesivamente, y a menudo es posible utilizar en ella técnicas teatrales o de juegos de rol. Kahn y Wiener encuentran las siguientes ventajas en los escenarios:

- 1) Los escenarios obligan a tener en cuenta la inmensa gama de posibilidades que debe considerarse en el momento de analizar la evolución desde el presente hacia el futuro.
- 2) El analista debe examinar los detalles y los aspectos dinámicos que podría omitir fácilmente si se mantuviera en consideraciones de tipo abstracto.
- 3) Debe tenerse en cuenta la interacción existente entre factores diversos: psicológicos, sociales, económicos, culturales, políticos y militares.
- 4) Quedan puestos de manifiesto ciertos principios, posturas o puntos de vista.

- 1- Renta per cápita alrededor de cincuenta veces la preindustrial.
- 2- La mayoría de las actividades "económicas" son terciarias o cuaternarias (enfocadas a los servicios) en lugar de primarias o secundarias (enfocadas a la fabricación).
- 3- Las empresas con fines lucrativos ya no son la fuente más importante de la innovación.
- 4- Puede haber más "consentivos" (vs. "marketivos").
- 5- Umbral mínimo efectivo de renta y bienestar.
- 6- La "eficiencia" ha perdido su primacía.
- 7- El mercado tiene un papel secundario respecto al sector público y las "cuentas sociales".
- 8- Amplia "cibernación".
- 9- "Mundo pequeño"
- 10- "Plazo para doblar" típico entre tres y treinta años.
- 11- Sociedad de aprendizaje.
- 12- Mejora rápida de instituciones y técnicas educativas.
- 13- Erosión en la clase media de los valores orientados al trabajo, al éxito, a la promoción.
- 14- Erosión del valor "interés nacional"
- 15- Los criterios centrales son sensatos, seculares, humanistas, quizás autoindulgentes.

*Fig. 2.1.8.8 Escenario de Kahn para la sociedad post-industrial (KAHN, H; WIENER, A. "El año 2000", 1967)*

1. El rápido crecimiento demográfico difícilmente se modificará en el año 2000. La población mundial variará de 4.500 millones en 1975 a 6.350 millones en el año 2000, aumento de más del 50%. El 90% de este incremento tendrá lugar en los países más pobres.
2. Si bien se puede esperar que el ritmo de crecimiento de la economía sea más rápido en los países en desarrollo que en los altamente industrializados el producto nacional bruto per cápita en la mayoría de los países en desarrollo permanecerá por debajo de los mínimos.
3. La producción alimentaria mundial crecerá un 90% entre 1970 y 2000, lo que significa que el incremento per cápita será inferior al 15%. El incremento de la tierra cultivable será solamente del 4%, por lo cual el incremento de producción alimentaria deberá provenir de incrementos de productividad. En todo el mundo será grave el deterioro de los suelos agrícolas debido a la erosión, pérdida de materia orgánica, desertización, salinización, alcalinización y anegamiento.
4. En el decenio de 1980 la producción mundial de petróleo se acercará a los máximos geológicos a pesar de los progresivos incrementos del precio del crudo. La necesidad de madera como combustible excederá de las fuentes de abastecimiento disponibles en un 25% antes de que termine el siglo. Las fuentes de combustible en el mundo, si bien finitas, son suficientes para varios siglos, pero al no estar uniformemente distribuidas, su explotación planteará agudos problemas económicos y ambientales.
5. Los recursos minerales no combustibles parecen suficientes, en general, para atender la demanda hasta el año 2000, pero se necesitarán otros descubrimientos e inversiones para mantener las reservas.
6. La escasez regional de agua se volverá más acuciante.
7. Continuará una deforestación mundial significativa durante los próximos 20 años a medida que aumente la demanda de productos forestales y de leña.
8. Se espera que la concentración en la atmósfera del dióxido de carbono y sustancias químicas destructoras del ozono se incrementen en proporciones capaces de alterar significativamente el clima del mundo y la capa superior de la atmósfera en el año 2000. La lluvia ácida proveniente de un mayor consumo de combustibles fósiles amenaza dañar suelos, cultivos y lagos. Los materiales radiactivos y otras sustancias peligrosas crearán problemas de seguridad y de salud en un número creciente de países.
9. La desaparición de especies vegetales y animales aumentará extraordinariamente.
10. El mundo del año 2000 será, de continuar la tendencia, mucho más superpoblado, mucho más contaminado, mucho más inestable y mucho más desagradable que el mundo actual.

*Fig. 2.1.8.9 Escenario del "Global 2000 report to the president" solicitado por el presidente Carter en 1977 y entregado en 1980*

### 2.1.8.9 Extrapolación de la tendencia

Podemos reiterar aquí lo ya expuesto anteriormente respecto al tratamiento de series temporales y a los modelos explicativos. Un aspecto siempre crítico en la elaboración de previsiones, pero aquí de importancia dramática, ya que considerando el mayor horizonte de la proyección, un error en este tema puede multiplicarse hasta desvirtuar totalmente las conclusiones, es el de la elección de la (o las) variable(s) que representa(n) eficazmente la evolución del fenómeno que queremos proyectar.

La proyección de los parámetros multifuncionales constituye otra variante de la técnica de la extrapolación de la tendencia (tendencias de combinaciones más complejas de parámetros, como por ejemplo caballos de vapor por libra, centavos por asiento y milla, etc.). La tendencia hacia complejos coeficientes de calidad expresa quizás el último modelo de los parámetros multifuncionales (por ejemplo, días necesarios para trasladar una división del ejército 5.000 millas con uno de los reactores actuales de transporte).

La elección de la curva de tendencia que representa el fenómeno económico considerado es una operación delicada pues el problema no se reduce, como ya hemos indicado, a encontrar una curva que pase lo más cerca posible de los puntos que representan los valores conocidos de la serie cronológica (basta disponer de suficientes parámetros de ajuste), ya que no nos interesa aproximar el pasado sino el futuro. Puesto que en general los fenómenos que consideraremos estarán ligados al crecimiento demográfico, a la expansión geométrica y a efectos de saturación, serán de máxima utilidad las funciones exponenciales y, en su caso, las curvas de Gompertz y Logística (o de Pearl).

La elección de una curva de tendencia debe ser el resultado no sólo de un estudio gráfico de la serie sino también de un conocimiento cualitativo del fenómeno que se estudia y de un análisis de la validez de las previsiones a que esta curva nos conduce. Si una sola curva no ajusta bien los datos disponibles convendrá prescindir de los primeros valores y ajustar la mejor curva posible sobre los últimos puntos de la serie. Como regla de oro conviene tener en cuenta que, en caso de duda, *la mejor curva es la más sencilla*.

En 2.1.5 hemos estudiado el ajuste de formas especiales de la expresión de la tendencia; vamos a aplicarlo a un caso concreto:

#### *Aplicación a la previsión del parque de robots (en España y Francia)*

En la *figura 2.1.8.10* hemos reunido datos sobre el parque de robots en España y de las clases C y D en Francia. El origen de los datos es la revista Robótica de Editorial Pulsar, en el caso de España y la AFRI en el de Francia. Conviene puntualizar dos cosas respecto a los últimos: el dato correspondiente a 1979 es una estimación propia, ya que no figuraba en la relación original, y el de 1988 corresponde a una previsión de la AFRI.

año	número ESPAÑA	número FRANCIA
1978	14	300
1979	40	455
1980	56	580
1981	118	790
1982	284	1385
1983	408	1920
1984	525	2750
1985	693	4150
1986	859	5270
1987	1140	6577
1988	1382	8170

Fig. 2.1.8.10 Número de robots instalados en España (datos de la revista "Robótica") y en Francia (clases C y D; datos de la AFRI) desde 1978 a 1988.

*El valor de 1979 (Francia) es una estimación propia*

*El valor de 1988 (francia) es una previsión de la AFRI*

Aplicando los controles descritos del ajuste hemos deducido que la curva logística se adapta correctamente a los valores indicados y, procediendo a ajustar una logística concreta, hemos determinado los valores (considerando  $t = 0$  para 1977):

ESPAÑA	FRANCIA
$a = 2094$	$a = 14022,6$
$b = 70,8984$	$b = 76,0951$
$c = 0,44434086$	$c = 0,42380292$

lo que nos conduce a las proyecciones para los próximos cuatro años:

ESPAÑA	FRANCIA
$x_{1989} = 1560$	$x_{1989} = 9535$
$x_{1990} = 1717$	$x_{1990} = 10720$
$x_{1991} = 1835$	$x_{1991} = 11670$
$x_{1992} = 1920$	$x_{1992} = 12388$

En las figuras 2.1.8.11 y 2.1.8.12 se han representado los valores reales y los correspondientes a la logística de ajuste. A simple vista puede distinguirse una menor discrepancia en el caso de Francia.

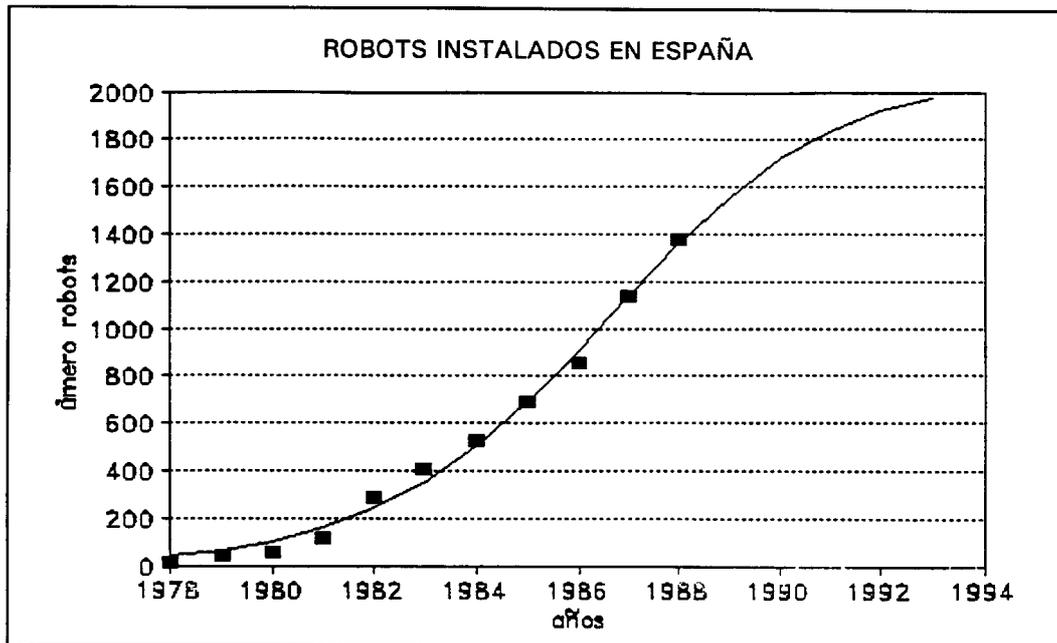


Fig. 2.1.8.11 Evolución del parque de robots en España: *Ajuste mediante una logística*

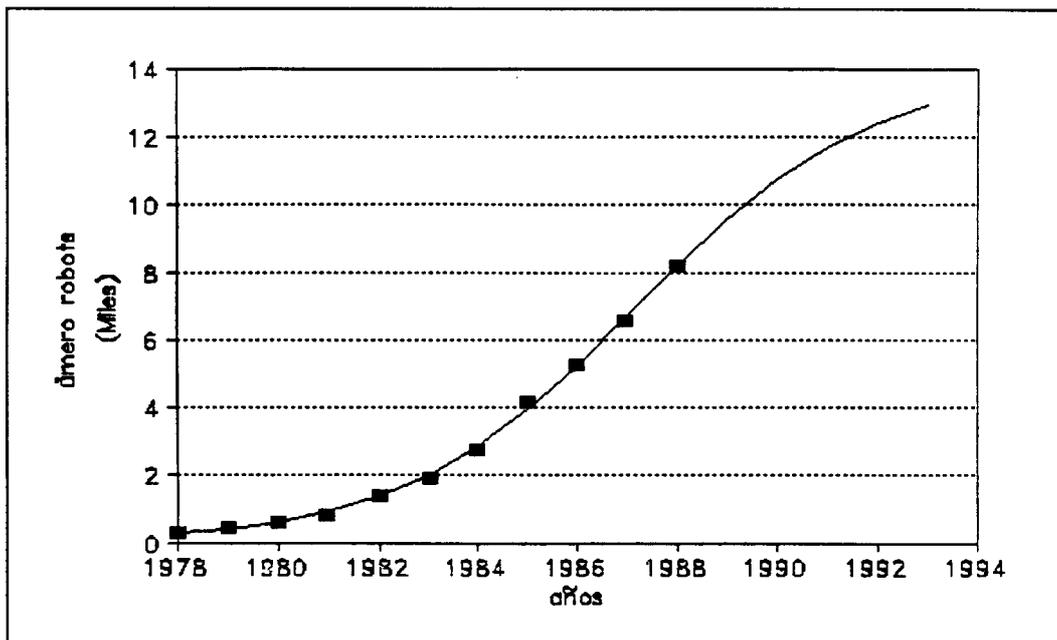
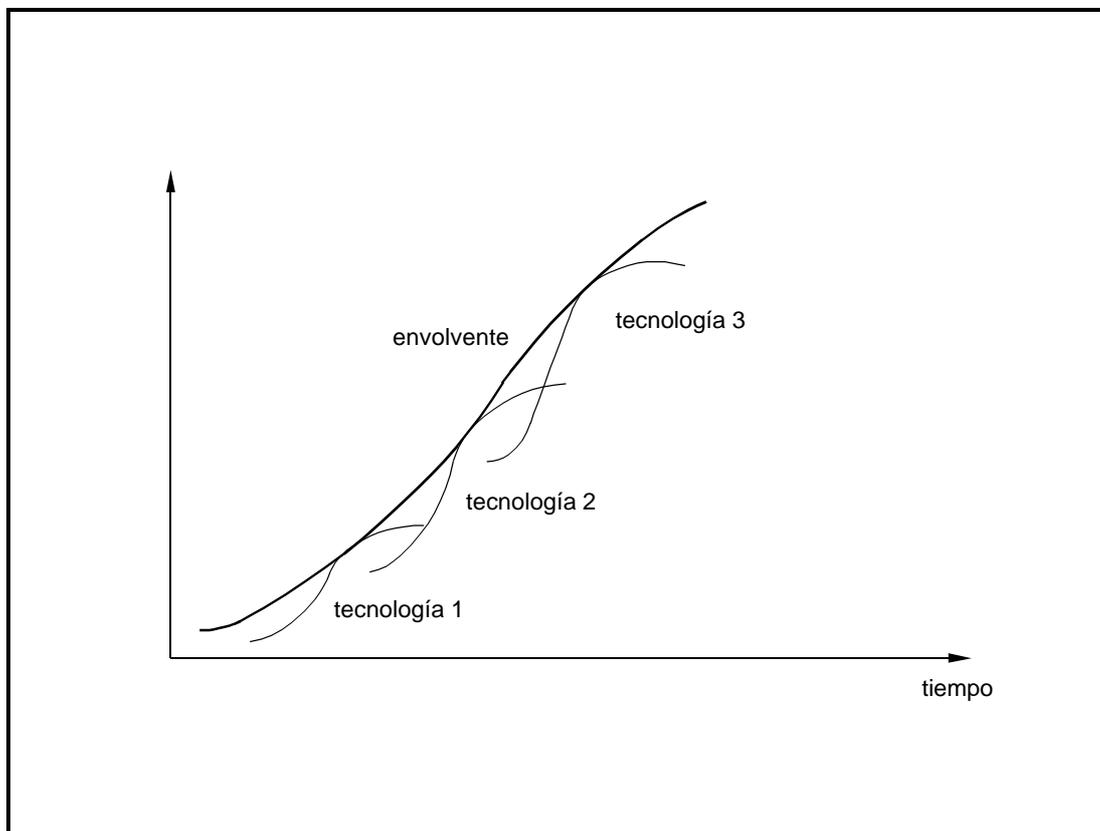


Fig. 2.1.8.12 Evolución del parque de robots en Francia: *Ajuste mediante una logística*

### 2.1.8.10 Curvas envolventes

A lo largo del tiempo surgen una serie de tecnologías diferentes para satisfacer las solicitudes para cubrir una determinada necesidad. La vela, la lámpara de aceite de ballena, la de keroseno y la luz eléctrica reemplazaron sucesivamente cada una a su inmediato predecesor. En materia de transporte el caballo, el tren, el avión y el reactor fueron sucediéndose progresivamente a medida que el hombre requería mayor velocidad. Si partimos de que la curva que representa la evolución de los resultados de cualquier técnica a lo largo del tiempo parece adquirir la forma de una *S* (*fig. 2.1.8.13*), con una visión global observaremos una sucesión en el tiempo de curvas de resultados en forma de *S*, correspondiendo cada una a un tipo de tecnología distinto. Si dibujamos la envolvente de dichas curvas (línea aproximadamente tangente a los máximos de dichas *S*) obtendremos una curva de tipo exponencial o logística que representará la panorámica del progreso tecnológico por lo que se refiere al parámetro seleccionado.



*Fig. 2.1.8.13* Tendencia de la técnica que contribuye a una capacidad funcional: *El crecimiento del parámetro técnico que define el comportamiento de una técnica específica, dado un nivel tecnológico, tiene la forma de una curva logística o en "S"*

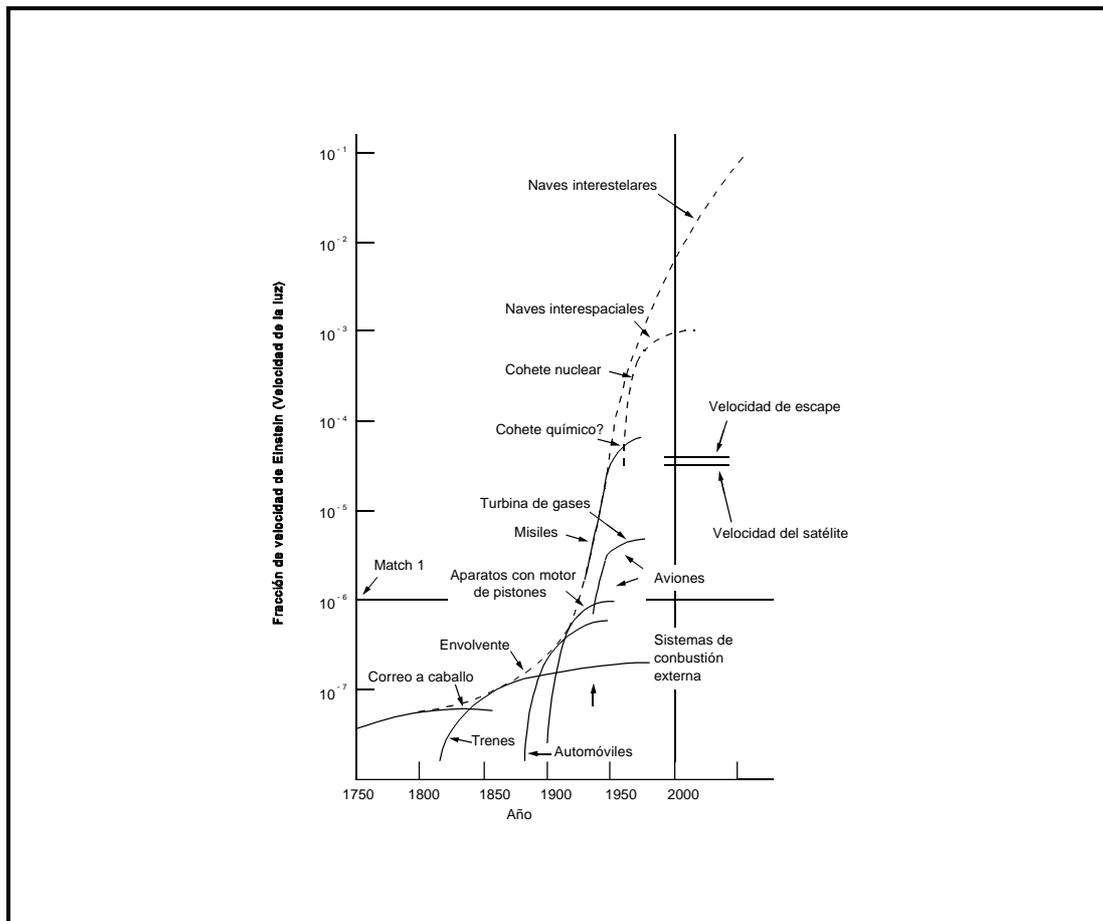


Fig. 2.1.8.14 Tendencia de la curva de velocidad: *Teniendo en cuenta la velocidad alcanzada con los diversos medios y tecnologías utilizados a lo largo del tiempo se ha trazado la envolvente que en cierta forma nos da la tendencia resultante.* Fuente: D. G. Samaras "Nuclear Space Propulsion: A Historic Necessity" (1962)

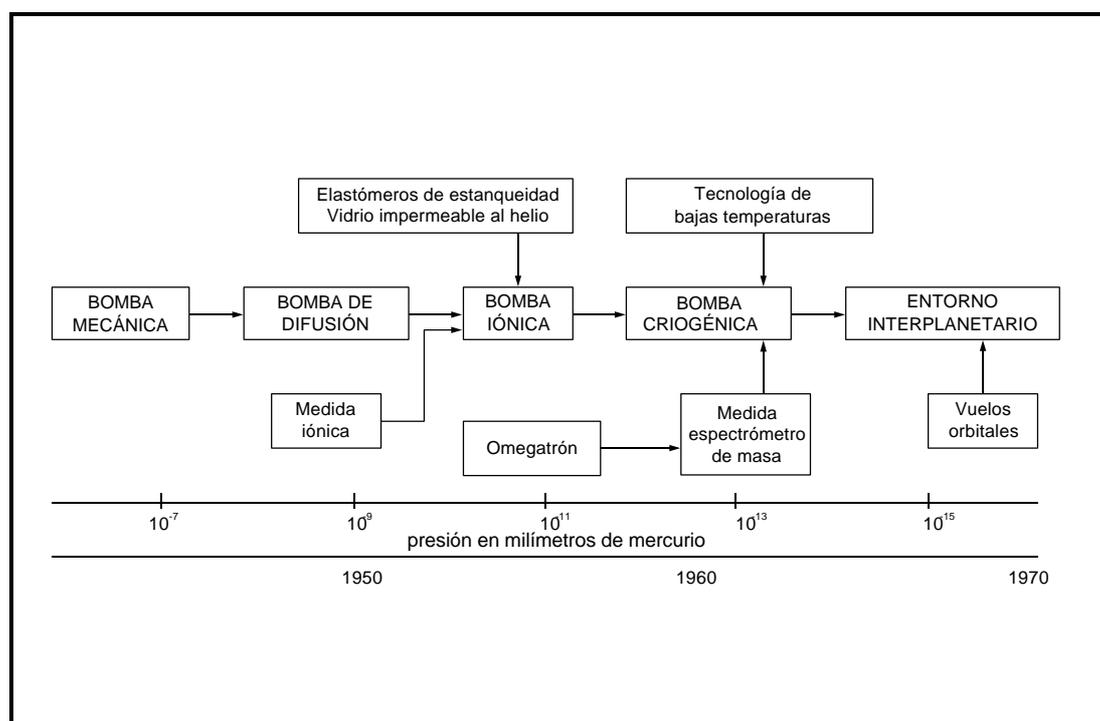
## 2.1.8.11 Desarrollo estructural

### 2.1.8.11.1 Representaciones contextuales o del contexto

Mediante la extrapolación o el análisis lógico de las relaciones causales puede establecerse la relación entre diversos parámetros técnicos, prolongada más allá del estado actual de la técnica. La combinación de parámetros, de tal forma que se comparen los grupos de menor dimensión, puede tener una importancia considerable para la previsión; la Rand Corporation viene haciéndolo desde la década de los cuarenta.

Los parámetros técnicos y operativos pueden ponerse en interrelación de varias maneras, puede aplicarse el análisis del valor a la elaboración de nuevos sistemas o a la mejora de las tecnologías conocidas; la determinación del valor de intercambio (o punto muerto) indicará la dirección más adecuada y el nivel de esfuerzo que debe darse a los proyectos en desarrollo

La *figura 2.1.8.15* considera a lo largo de varias décadas el avance de la tecnología del vacío absoluto, producido por las innovaciones y adaptaciones que surgían de otras tecnologías. Esta figura podría hacerse con mayor detalle y podrían codificarse los bloques (coloreándolos: *inputs*, instrumentos, *outputs*, aplicaciones, etc.) y los arcos (por ejemplo "producido por", "fusionado con", etc.)



*Fig. 2.1.8.15 Relación entre los parámetros técnicos y operativos de la tecnología del vacío absoluto. Fuente: J. Cetron et al. "A proposal for a Navy Technological Forecast"*

### 2.1.8.11.2 Análisis morfológico

El análisis morfológico constituye un método para explorar sistemáticamente todas las oportunidades en los niveles tecnológicos, especialmente a nivel de los sistemas tecnológicos funcionales (una concepción análoga la desarrollaremos en 4.1.4.2 y 4.1.4.3 al tratar de la modularidad).

Es una de las dos técnicas importantes de previsión tecnológica que se inspira en la Grecia Clásica (la otra es la técnica Delphi, que toma su nombre del Oráculo de Delfos). Los enfoques analíticos se asocian a Platón y a Aristóteles que los han denominado "forma" (en griego "morphé"). Aristóteles en su *Política* muestra el enfoque morfológico como sigue:

" Si vamos a hablar de las distintas especies de animales definiremos primero de todo los órganos que son indispensables a todo animal, por ejemplo los órganos de los sentidos y los instrumentos para recibir y digerir los alimentos, tales como boca y estómago, junto con los órganos de locomoción. Suponiendo que sólo hay estas clases de órganos, pero que pueden diferir entre sí - quiero decir diferentes clases de boca y estómago y órganos de percepción y locomoción - las posibles combinaciones de estas diferencias nos proporcionarán muchas variantes de animales, pues los animales no pueden ser idénticos si tienen diferentes tipos de boca u orejas, y cuando se hayan agotado todas las combinaciones habrá tantas especies o clases de animales como combinaciones de órganos necesarios existan. Lo mismo es cierto, entonces, para las formas de gobierno..."

Los filósofos y teólogos medievales utilizaron el método. Ramon LLull postuló nueve atributos de Dios infundidos por éste a toda la creación. Deseaba desarrollar un *arte* que sirviese para convertir a judíos y musulmanes, combinando cada uno de los atributos con los varios niveles de la naturaleza, empleando para ello dispositivos geométricos. Generalmente los comentaristas posteriores de la obra del beato se inclinaron por los aspectos ideológicos, y despreciaron olímpicamente los procedimientos combinatorios, lo que consideramos un absurdo error.

El darwinismo y la emergencia de los enfoques taxonómicos fueron una consecuencia natural de la corriente morfológica.

La primera aplicación directa del análisis morfológico a la especulación y previsión tecnológica lo desarrolló Franz Reulaux en *The kinematics of machinery*, pero recibió un nuevo impulso gracias a los trabajos del astrofísico Fritz Zwicky en 1948. Su procedimiento formalizado pretende "identificar, indexar, contar y parametrizar la colección de todos los dispositivos posibles para lograr una capacidad funcional específica". Puede utilizarse para identificar y contar todas las formas para lograr un fin a cualquier nivel de abstracción o agregación.

Zwicky enumera las siguientes reglas:

- 1) El problema a resolver o la capacidad funcional a lograr debe exponerse con una gran precisión.
- 2) Deben identificarse los parámetros característicos. La exhaustividad es un problema y sólo las cualidades del (o de los) analista(s) podrán lograrlo en cierta medida.

PARÁMETRO CARACTERÍS- TICO	VARIANTES				
	1	2	3	4	5
Tratamiento previo de la arcilla A	Secado en eras	Secado en secadero artificial	Almacena- miento bajo cubierta	Prepara- ción en barbotina	
Molienda B	Molino pendular	Molino de martillos	Molino de fricción	Ligado químico	
Preparación de la mezcla de conformado C	Amasado con agua	Atomización	Galletado		
Conformación D	Prensado en timbre de fricción	Prensado en prensa hidráulica	Prensado en prensa mecánica		
Secado de las piezas E	Secado en cámaras	Secadero túnel	Secado en cámaras y túnel	Secadero rápido	
Tratamiento de las piezas F	Horno de cámara de vagonetas	Horno túnel de vagonetas			
Barnizado G	Barniz en forma de barbotina	Barniz en polvo seco			
Cocción H	Horno cámara de vagonetas	Horno bicanal de placas	Horno túnel de vagonetas	Horno túnel rodillos	Horno túnel con colchón de aire
Clasificación I	Manual	Magnética			

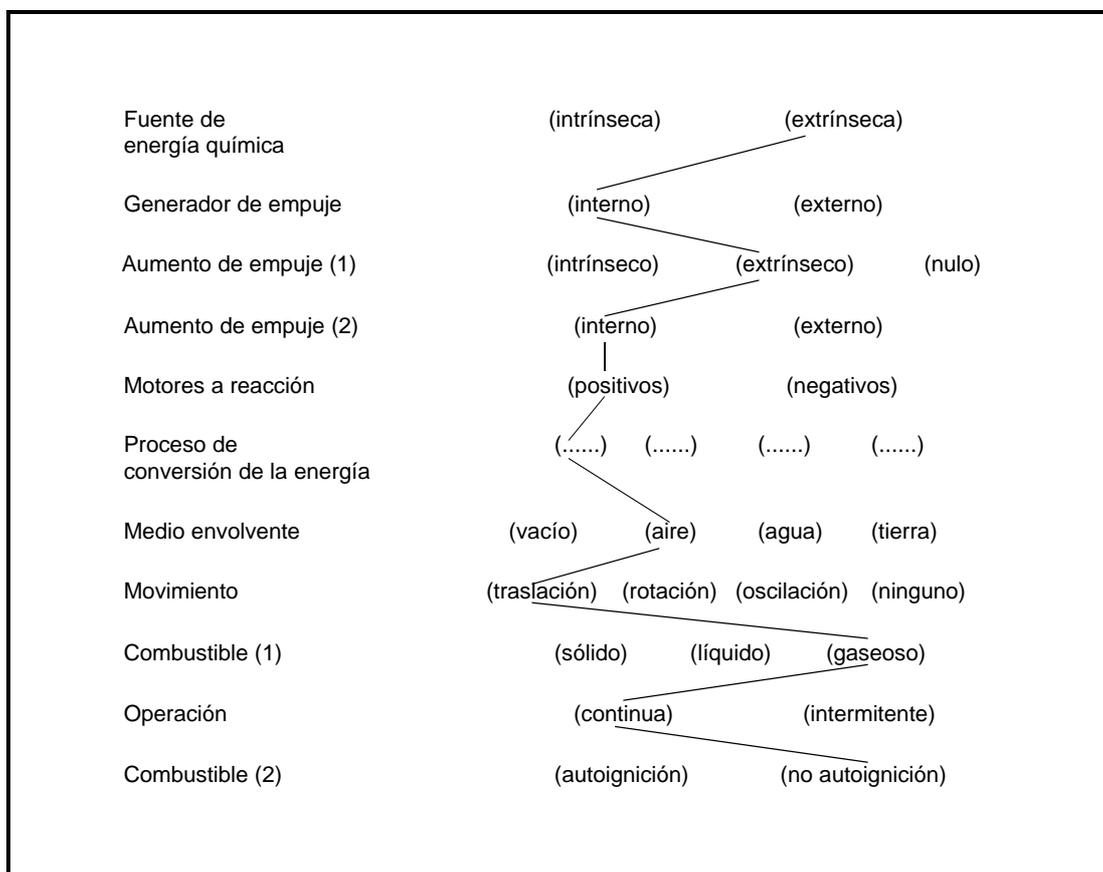
Fig. 2.1.8.16 Matriz morfológica de la fabricación de pavimentos cerámicos (23.040 variantes potenciales). (Fuente Enrique De Miguel Fernández "Previsión Tecnológica", Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia)

3) Cada parámetro debe subdividirse en variantes, casos o estados distinguibles (digamos  $P(n,1)$ ,  $P(n,2)$ ,  $P(n,3)$ , ...) o más frecuentemente en un continuo de valores que deben estar significativamente definidos en intervalos o regímenes, por ejemplo *velocidad*

*subsónica* y *velocidad supersónica* pueden usarse como casos claramente distintos, mientras que la frontera entre regímenes supersónicos e hipersónicos no está claramente definida.

- 4) Se precisa algún método *universal* para analizar el rendimiento y la factibilidad de las distintas combinaciones, aunque Zwicky admite que esto no es fácil de realizar. De hecho es raramente practicable y una gran variedad de prolongaciones a su formulación original han intentado mejorar la manipulación de los datos que habitualmente se comportan en forma explosiva.

Zwicky fue un pionero en el campo de los motores a reacción y fue en dicho campo donde realizó su análisis original, tal como se describe en la *figura 2.1.8.17*. Considera la



*Fig. 2.1.8.17* Análisis morfológico de Zwicky de los motores de reacción: *La combinación de las variantes de los 11 parámetros característicos conducen a 36.864 posibilidades de las que sólo son significativas 25.344, ya que el resto contienen alguna contradicción interna. Ayres ha indicado la existencia de un parámetro característico más*

totalidad de los motores a reacción que funcionan en un medio puro conteniendo sólo elementos simples y activados por energía química. Identifica 11 parámetros característicos y en la figura se indican los estados distinguibles sugeridos. El análisis conduce a 36.864 combinaciones diferentes ( $2 \times 2 \times 3 \times 2 \times 2 \times 4 \times 4 \times 4 \times 3 \times 2 \times 2$ ). Se resalta una combinación interesante, un motor cohete que obtiene su energía del medio envolvente. Zwicky llega a indicar que sólo 25.344 combinaciones son significativas ya que el resto contienen alguna contradicción interna.

Ayres ha señalado que se había olvidado por lo menos de un parámetro característico, lo que muestra la importancia de la regla (2) (hay que distinguir si la combustión ocurre a velocidad subsónica, supersónica o hipersónica). El aumento de variedad subsiguiente corrobora lo indicado en la regla (4).

El análisis morfológico no sólo ha sido aplicado al campo de la aeronáutica o de la defensa, aunque la mayoría de los estudios publicados sean de naturaleza militar. Entre los trabajos conocidos se incluyen temas de: transporte oceánico, encendedores, transmisiones automáticas, excavadoras, ruedas ligeras, calefacción central doméstica, gamas de productos textiles, fertilizantes, etc.

#### *Grafos de relevancia (o de pertinencia)*

Los grafos de relevancia constituyen un enfoque que tiende a jerarquizar y a enumerar exhaustivamente los elementos que contribuyen a la realización de un objetivo agregado. Los definieron C.W Churchman, R.L. Ackoff y E.L. Arnoff en la conocida obra *Introduction to Operations Research*, y posteriormente H.A. Wells perfeccionó la utilización de las técnicas cuantitativas en dicho esquema. La aplicación más destacada se realizó bajo el impulso de Robert McNamara en el Departamento de Defensa de Estados Unidos dentro del Planning-Programming-Budgeting-System (PPBS).

La Honeywell Military and Space Systems Department llevó a cabo la primera aplicación en gran escala de los grafos de relevancia al análisis para la toma de decisiones: el sistema fue denominado PATTERN (Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers).

El primer paso consiste en establecer una lista jerarquizada de los elementos del problema o de la decisión, partiendo del nivel más general o más "universal" (objetivos) y descendiendo nivel a nivel a las misiones, tareas, sistemas primarios, secundarios, sub-sistemas, hasta llegar en definitiva a los elementos funcionales. La clasificación vertical, que produce la multiplicación explosiva de elementos a considerar, depende muy fundamentalmente de la naturaleza del problema estudiado. El encadenamiento tendrá en general una estructura de red.

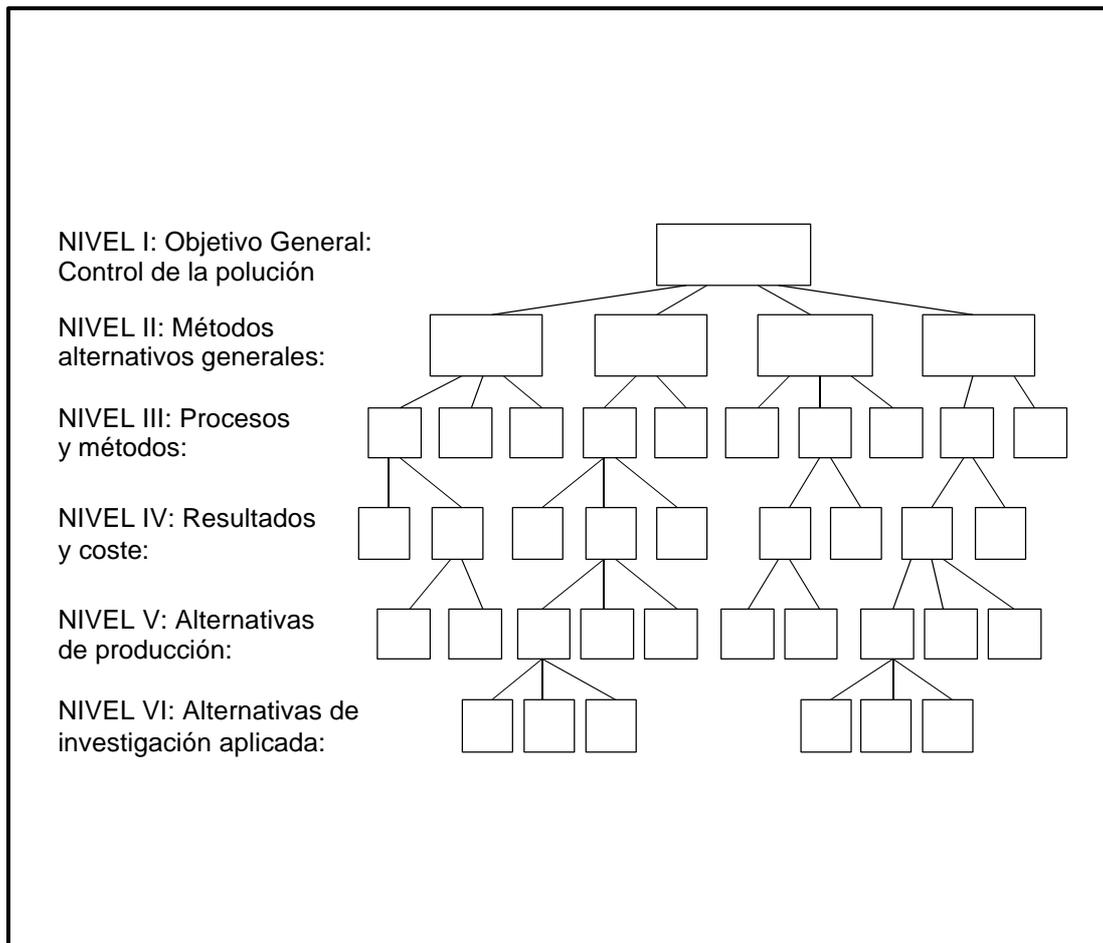


Fig. 2.1.8.18 Red de objetivos Modelo Battelle. Fuente: Swage, W. L. "Technological forecasting for practical planning"

Para permitirnos que el método alcance sus frutos el trabajo preliminar de enunciado y análisis *segregativo* del problema debe ser muy riguroso. La delimitación de los niveles puede presentar serias dificultades. Es igualmente importante estar en disposición de identificar el conjunto de elementos que pertenecen a los temas que figuran en cada nivel. Se emplean las técnicas más diversas para lograrlo: escenarios, análisis morfológico, previsiones de todo tipo, etc. Es necesario, en efecto, estar seguro de que el nivel es altamente representativo de los elementos que tienen una ligazón directa con los del estadio inmediatamente superior.

Vamos a describir los grafos de relevancia mediante un ejemplo. Swager construyó una "Red de Objetivos" para la industria del petróleo (1966) basada en el mismo enfoque de

los grafos de relevancia que el PATTERN. La red de objetivos ayuda a transformar los objetivos corporativos específicos, formulados por la Dirección, en objetivos técnicos concretos. La red que aparece en la figura se elaboró a partir del enunciado del objetivo estratégico postulado: aprovechamiento de los cambios requeridos por el crecimiento económico y las presiones sociales para suprimir la polución atmosférica. Después se determinaron cierto número de sub-objetivos que podrían perseguirse por una compañía o por varias. Se examinó cada sub-objetivo a fin de determinar cuáles lo eran propiamente y se destinaron casillas en cada nivel (vacías provisionalmente) para las *alternativas técnicas que estaban por descubrir*.

En la parte superior de la *figura 2.1.8.18* aparece, a nivel I el objetivo indicado, y a nivel II los sub-objetivos (u alternativas globales a través de las cuales obtener el objetivo principal):

- 1- La modificación o el descubrimiento de nuevos tipos de motores.
- 2- La mejora en el control del escape y del combustible en los motores actuales de los automóviles.
- 3- La elaboración de aquellas tecnologías del petróleo necesarias para eliminar los ingredientes que originan polución.
- 4- Creación de sistemas de tránsito masivo para aquellas áreas urbanas que no necesitan que se controle el escape.

Además, al mismo nivel II se pueden incluir otros sub-objetivos (menos de tres) a perseguir por las compañías petrolíferas:

- 1- La creación y desarrollo de un porcentaje superior de crudos con bajo contenido de azufre.
- 2- La elaboración de procesos que eliminen el azufre de los crudos que tengan un alto contenido de dicho elemento.
- 3- Mejorar o llevar a cabo nuevos procesos de refinación que reduzcan el azufre en los combustibles de los automóviles y otros vehículos.
- 4- Elaborar nuevos aditivos que produzcan una menor cantidad de productos tóxicos e inconvenientes.
- 5- Fabricar modificadores de los aditivos actuales que estabilicen o reduzcan los productos de la combustión o hagan más fácil su eliminación.

Si se continúa profundizando las alternativas en los niveles subsiguientes se obliga a considerar las alternativas de acuerdo con las máximas oportunidades de la ciencia. Swage indica que, cuando se consigue este tipo de red, resulta sorprendente hasta qué punto la simple preparación de la misma suscita ideas acerca de nuevas alternativas a casi todos los niveles. Las relaciones no son obvias antes de que la red esté estructurada. Además la estructuración explicita los caminos del desarrollo tecnológico que resultan más prometedores y competitivos.

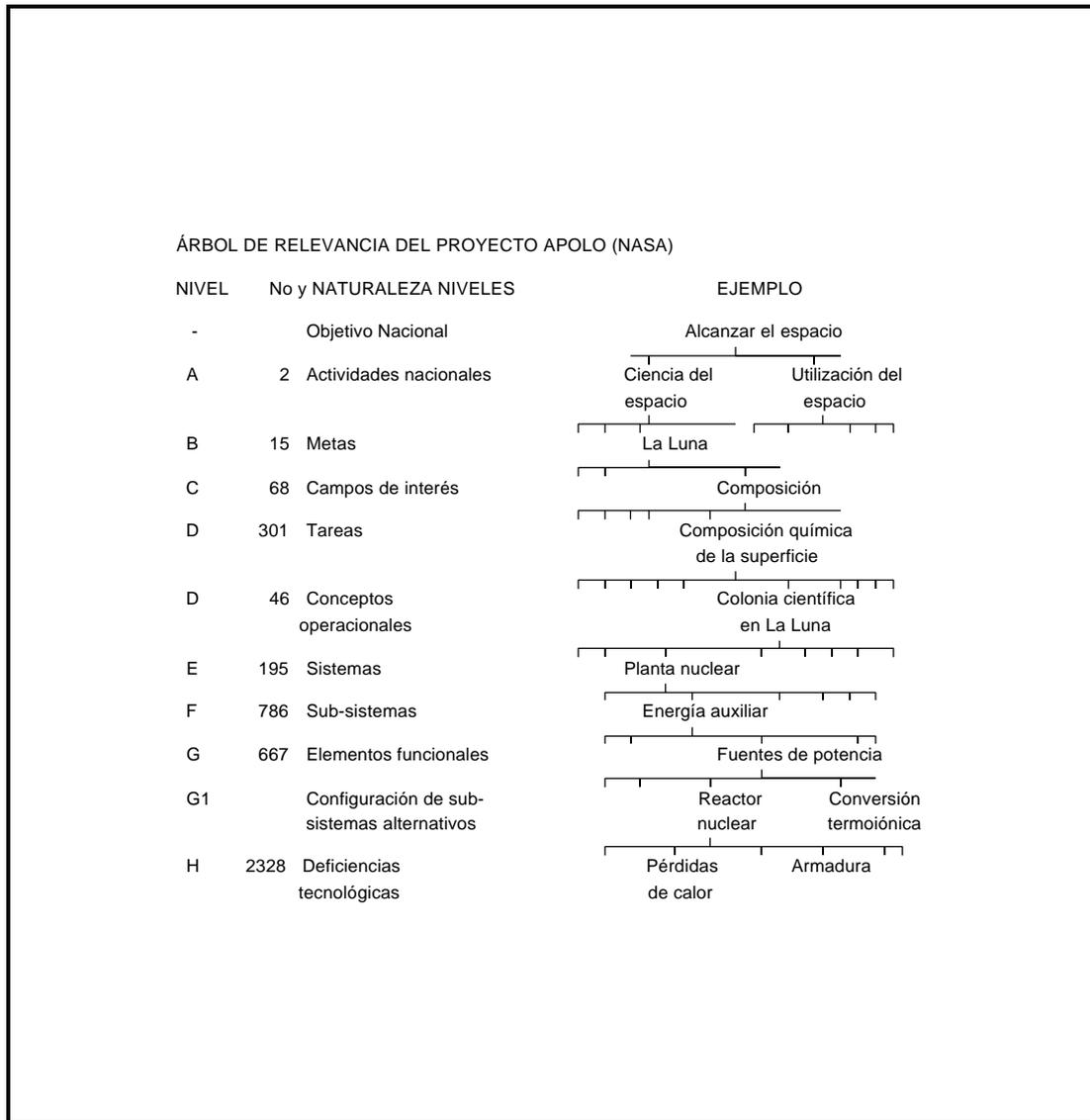


Fig. 2.1.8.19 Árbol de relevancia del proyecto Apolo (NASA)

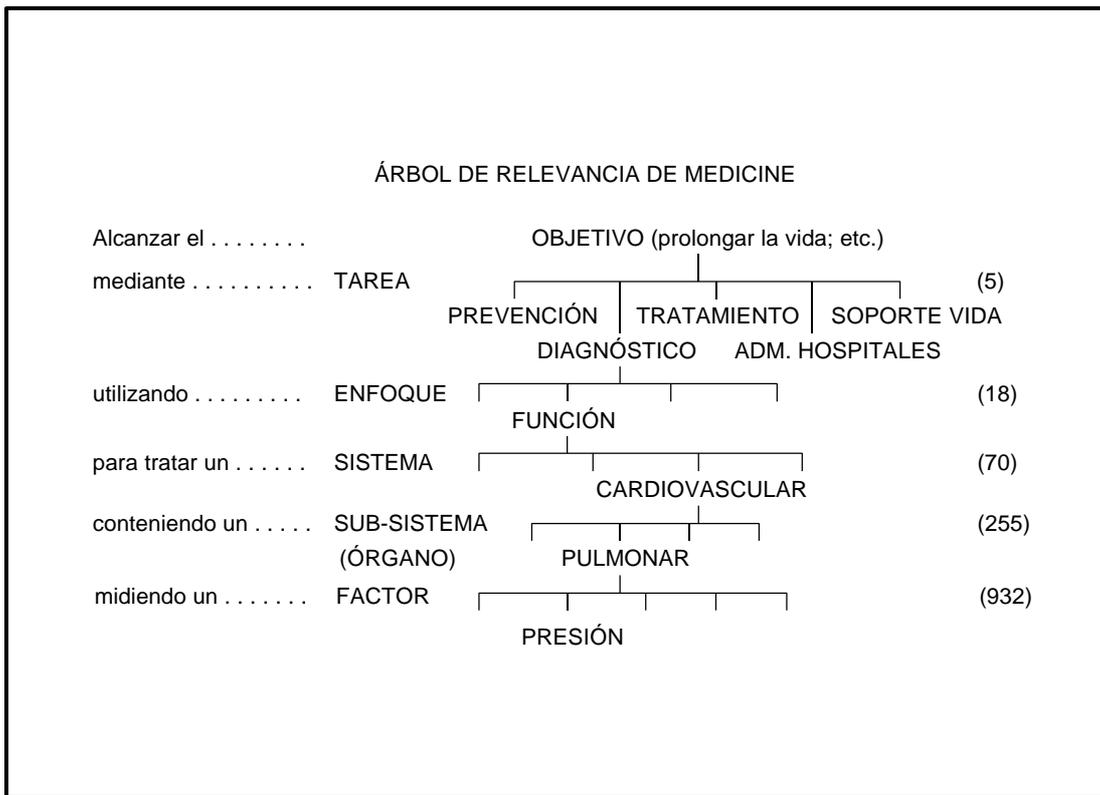


Fig. 2.1.8.20 Árbol de relevancia de MEDICINE

**2.1.8.12 Modelos**

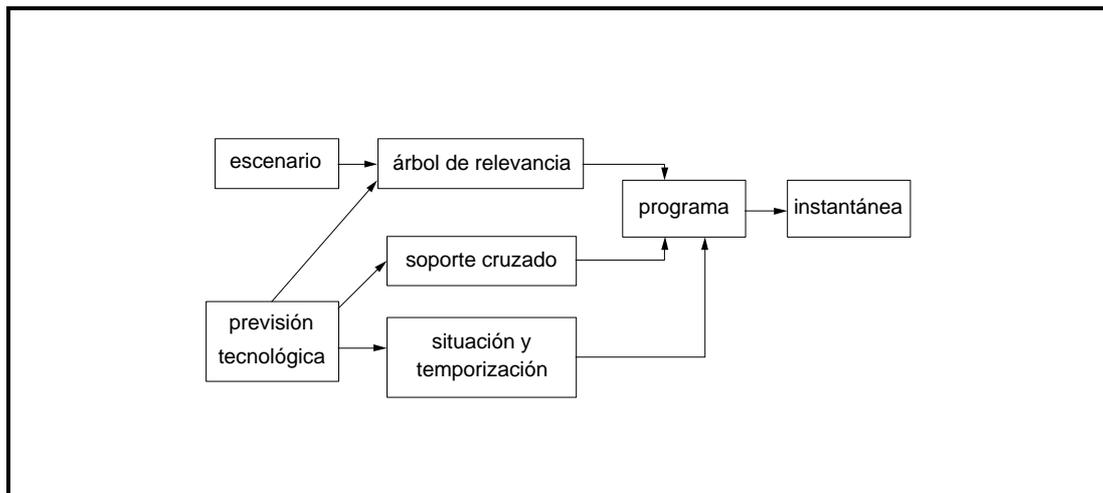
Un modelo *M* de un objeto *R* para un observador *O* es un objeto que sirve para responder a las preguntas que se formula *O* sobre *R*, según la conocida definición de Minsky. La elaboración de un modelo es difícil en cualquier campo pero particularmente en materia de previsión tecnológica. W.T. Morris ha estudiado el tema de la construcción de modelos, y ha enunciado los siguientes principios:

- 1) El proceso de construcción de un modelo puede considerarse útilmente como un proceso de perfeccionamiento. Se empieza con modelos muy simples que difieren bastante de la realidad y se intenta transformarlos progresivamente en otros más elaborados que reflejen con mayor fidelidad la complejidad de la situación.
- 2) Para determinar el punto de partida del proceso de elaboración o perfeccionamiento resulta de gran importancia establecer una analogía o asociación con estructuras lógicas elaboradas previamente.

3) El proceso de elaboración comprende al menos dos algoritmos o procedimientos de alternancia:

- a) La alternancia entre modificación de un modelo y la confrontación con los datos.
- b) La alternancia entre la exploración sobre la manejabilidad del modelo y las hipótesis que lo caracterizan.

#### 2.1.8.12.1 Índices de relevancia en los árboles



*Fig. 2.1.8.21 Esquema de la técnica seguida por Honeywell*

La técnica desarrollada por Honeywell (PATTERN "Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers") se esquematiza en la *figura 2.1.8.21*. Se prepara un escenario cualitativo que cubra los objetivos globales, tareas, enfoques, sistemas, sub-sistemas, elementos funcionales, deficiencias tecnológicas, etc. que constituyen los niveles del árbol de relevancia, del que hemos incluido el Apolo y el MEDICINE (Medical Instrumentation and Control Identified and Numerically Evaluated)

Debe seguirse un procedimiento para asignar índices de significancia. La previsión tecnológica se realiza a nivel de sistema primario e inferiores utilizando cualquiera de las técnicas disponibles, especialmente la extrapolación. Además de estas medidas se examinan otros dos conjuntos de características, el soporte cruzado o prolongación de un avance en un área en un segmento dado, y situación y temporización de sistemas y sub-sistemas. Este último conjunto de características se categoriza habitualmente bajo investigación, desarrollo exploratorio, desarrollo avanzado, diseño producto o disponible. El paradigma de toda la secuencia es el del diagrama de la *figura 2.1.8.21*.

Los niveles dentro del árbol de relevancia describen los estados de transferencia de tecnología entre la sociedad, las tecnologías y sus recursos de entrada. A cada nivel se establece una matriz para confrontar resultados con criterios cuya forma general se indica en la figura. Los criterios, sus pesos y sus índices de significancia son estimados por expertos tomando como base el escenario. Los criterios se definen en función de la solución a buscar del problema o de la decisión a formular. Este es un trabajo, no hace falta decirlo, muy considerable. Se introducen condiciones normalizadoras como suma de pesos de los criterios y suma de índices respecto a un criterio dado iguales a uno:

$$w_a + w_b + w_c + \dots + w_k = 1$$

$$s_{A,x} + s_{B,x} + \dots + s_{N,x} = 1$$

El índice de relevancia se define entonces para el elemento  $J$  en el nivel  $i$ , para el conjunto de criterios  $x$ , como:

$$R_{J,i} = \sum_x w_x \cdot s_{J,x}$$

que a su vez implica que la suma de todos los índices de relevancia es igual a uno. La cifra total de relevancia para un vértice particular puede obtenerse enumerando todos los caminos existentes entre dicho vértice y la raíz  $v$  de la red. Para cada camino se multiplicarán los índices de relevancia de sus vértices y finalmente se sumarán los productos correspondientes a cada camino. La fórmula se escribe:

$$\text{Relevancia total} = \sum \pi R(J;i)$$

Esto requiere, habitualmente, un afinamiento a través de las características del soporte cruzado y status y temporización del trabajo de desarrollo. En términos operativos esto se realiza raramente pero no hay razón para que no deba hacerse. También es posible incorporar no sólo índices de significancia y pesos de criterios, sino también distribuciones de probabilidad.

Las ventajas de este análisis son:

- 1) Permite graduar el esfuerzo en I + D en áreas relevantes.
- 2) Identifica las deficiencias tecnológicas en relación a sistemas y conceptos, e indica su importancia relativa.
- 3) Facilita la valoración relativa de mejoras tecnológicas seleccionadas en un área dada mayor precisión, menor coste, menor peso, etc.
- 4) Permite la evaluación detallada de alternativas a la luz de los objetivos principales.

CRITERIOS		ELEMENTOS EN EL ÁRBOL NIVEL $i$				
Descripción	Peso	A	B	C	...	N
a	$w_a$	$s_{A,a}$	$s_{B,a}$	$s_{C,a}$	...	$s_{N,a}$
b	$w_b$	$s_{A,b}$	$s_{B,b}$	$s_{C,b}$	...	$s_{N,b}$
.	.	.	.	.	...	.
.	.	.	.	.	...	.
.	.	.	.	.	...	.
k	$w_k$	$s_{A,k}$	$s_{B,k}$	$s_{C,k}$	...	$s_{N,k}$
Índice de relevancia (nivel $i$ )		$R_{A,i}$	$R_{B,i}$	$R_{C,i}$	...	$R_{N,i}$

Fig. 2.1.8.22 Forma general de la matriz de Honeywell conteniendo significancia interrelacionada e índices de relevancia

### 2.1.8.12.2 Modelo dinámico de Forrester ("Industrial Dynamics")

En el verano de 1970 el Comité Ejecutivo del Club De Roma mantuvo una serie de contactos con Jay J. Forrester, profesor del M.I.T., que había desarrollado una metodología (y un lenguaje, "Dynamo", para comunicar con el ordenador) para simular y evaluar la respuesta y evolución de sistemas dinámicos complejos sometidos a ciertas solicitudes externas o de desequilibrio inicial interno, con el fin de estudiar la aplicabilidad del procedimiento a la construcción de modelos del mundo que estudiaran la interrelación entre las principales magnitudes, y que, por tanto, permitiesen analizar las proyecciones de las mismas en diversos supuestos. El resultado de estos contactos fue el establecimiento del modelo WORLD-2, que permitía establecer proyecciones conjuntas de:

- población
- reserva de recursos naturales (no renovables)
- oferta de alimentos
- acumulación de capital
- contaminación

teniendo en cuenta sus interrelaciones en la forma indicada (muy parcialmente) por las figuras 2.1.8.23 y 2.1.8.24.

El interés suscitado por el modelo WORLD-2 y la polémica subsiguiente fueron enormes, a pesar de la presentación modesta y nada mitificadora realizada por los autores, como primer paso hacia realizaciones más ajustadas. Los economistas literarios se lanzaron a los comentarios críticos más acerbos. Sin embargo como consecuencia de ello Denis Meadows dirigió un equipo que durante dos años completó y perfeccionó el modelo simple de Forrester, construyendo el modelo WORLD-3.

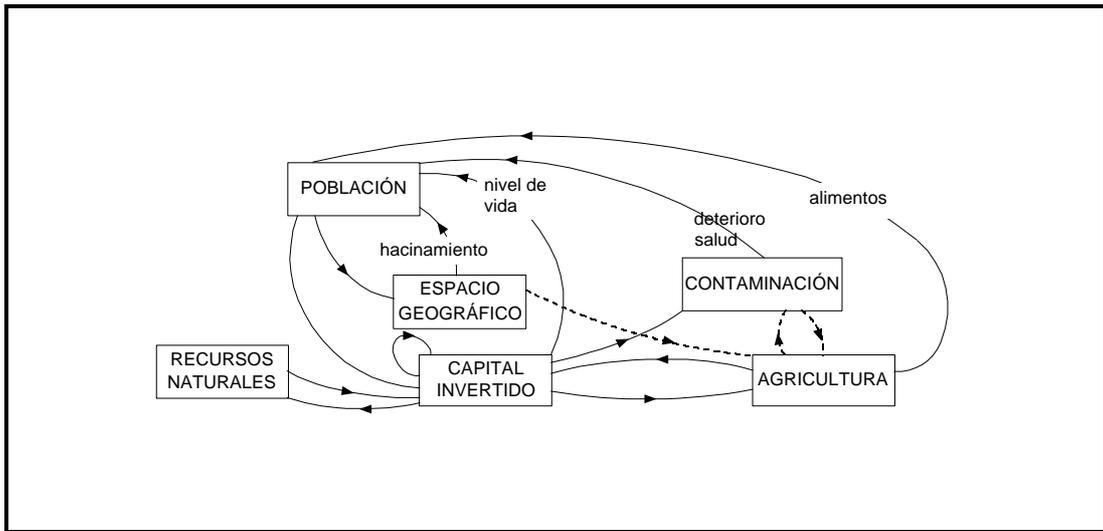


Fig. 2.1.8.23 Interrelaciones del modelo WORLD-2: Las líneas de trazos corresponden a WORLD-3

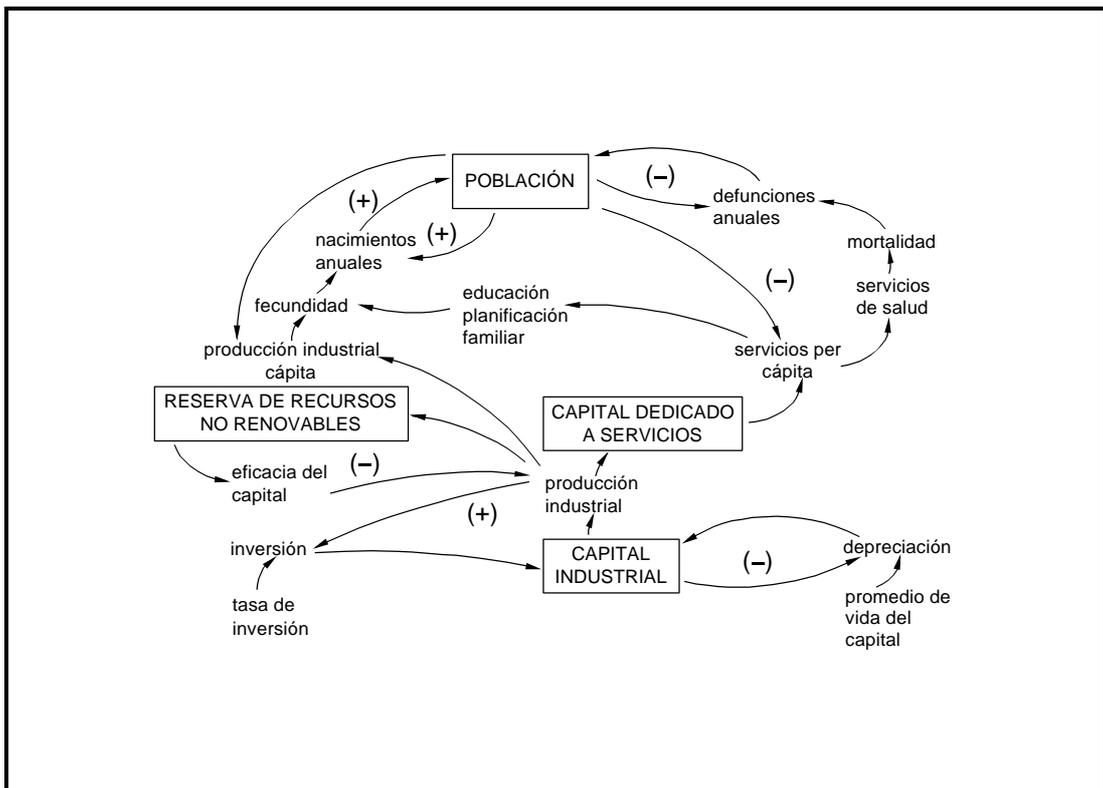


Fig. 2.1.8.24 Algunos de los circuitos de "feed-back" positivos o negativos de WORLD-2

## 2.2. Bibliografía

- [ 1] AYRES, R. U. *Technological forecasting and long-range planning*, McGRAW-HILL, 1969
- [ 2] BOX, G. E; JENKINS, G. M. *Time series analysis. Forecasting and control*, HOLDEN-DAY, 1970
- [ 3] BROWN R. G. *Smoothing, Forecasting and prediction of Discrete Time Series*, PRENTICE-HALL, 1963
- [ 4] COMPANYS, R. *Previsión tecnológica y de la demanda*, MARCOMBO, 1990
- [ 5] JANTSCH, E. *La Prevision Technologique*, OCDE, 1967
- [ 6] JOHNSON, L. A; MONTGOMERY, D. C. *Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control*, WILEY, 1974
- [ 7] LANFORD, H. W. *Technological Forecasting Methodologies: A Synthesis*, AMERICAN MANAGEMENT ASSOCIATION, 1972
- [ 8] MAKRIDAKIS, S; WHEELWRIGHT, S. C. *Forecasting. Methods and Applications*, WILEY, 1978
- [ 9] PETERSON, R; SILVER, E. A. *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*, WILEY, 1979
- [10] TERSINE, R. J. *Production/operations management: Concepts, Structure and Analysis*, NORTH-HOLLAND, 1985
- [11] WHEELWRIGHT, S. C; MAKRIDAKIS, S. *Forecasting Methods for Management*, WILEY, 1973

### Comentarios

La mayoría de los textos generales sobre dirección de operaciones suelen incluir un capítulo sobre previsiones, y en este sentido hemos incluido [6], [9] y [10]. Los textos [8] y [11] están centrados únicamente sobre previsión de autores de reconocido prestigio. La gran aportación de Brown al ajuste exponencial puede apreciarse en el denso trabajo recogido en [3]. El procedimiento Box-Jenkins, no tratado en el capítulo, puede estudiarse en [2], que constituye un punto de partida. Sobre previsión tecnológica [7] constituye una buena presentación.