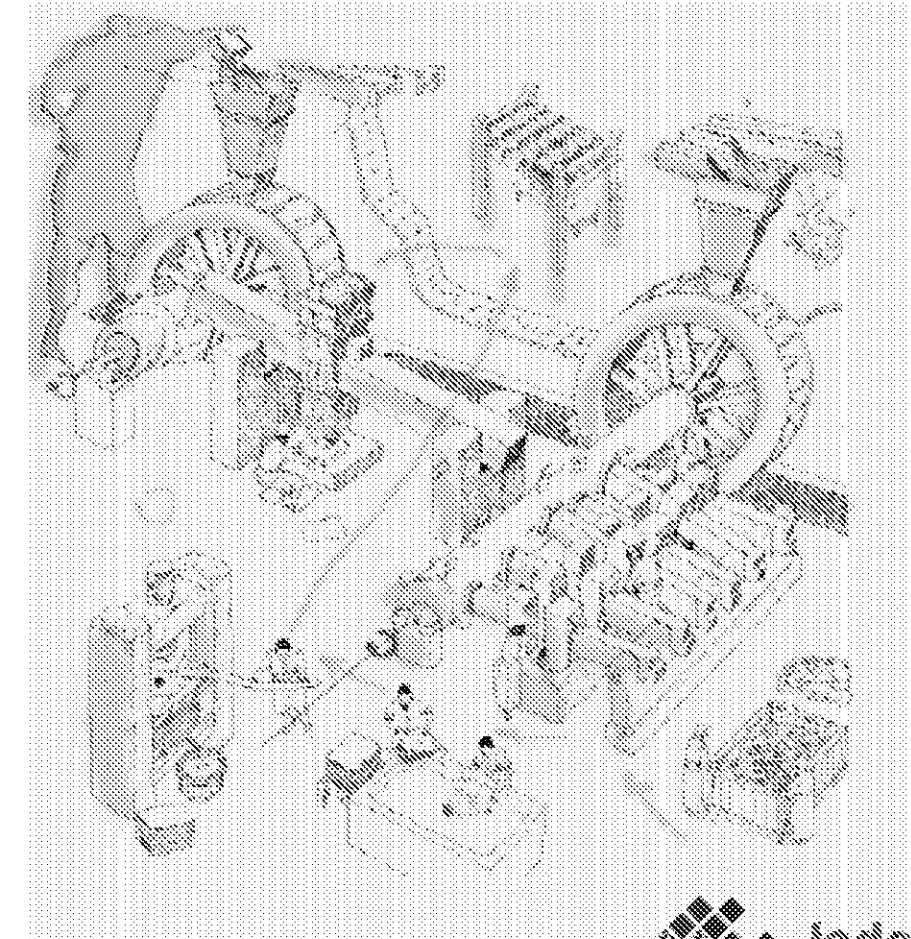


EL ANÁLISIS DE SISTEMAS

por

Ricardo Torrón Durán



Ricardo Torrón Durán

Es General de División del Cuerpo de Ingenieros Politécnicos. Realizó sus estudios militares en la Academia General Militar, Academia de Artillería y Escuela Politécnica Superior del Ejército. Es Dr. Ingeniero de Armamento y Diplomado en Investigación Militar Operativa, Estadística Militar, Informática Militar y Logística. Es también Licenciado en Ciencias Económicas, Actuante de Seguros y Licenciado en Informática.

Ha sido Director General del Instituto Nacional de Estadística, profesor de Estadística Económica y Empresarial de la Universidad Autónoma de Madrid y Vicepresidente de la Sociedad Española de Estadística e Investigación Operativa.

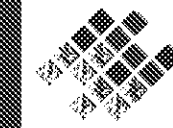
En el ámbito militar docente, fue profesor de Organización Industrial de la Escuela Politécnica Superior del Ejército, y desde 1974 es profesor adjunto de la Escuela de Guerra Naval, donde imparte cursos sobre Prospectiva y su aplicación al estudio de zonas conflictivas.

Ha sido Subdirector General de Servicios Técnicos del Ministerio de Defensa, Jefe del Gabinete Asesor en Técnicas Avanzadas de Ayuda al Mando del Estado Mayor de la Defensa y Subdirector de Sistemas del Mando del Apoyo Logístico del Ejército. Actualmente es General Director de Infraestructura del Ejército de Tierra y pertenece al Comité de Redacción de estas monografías.

ILUSTRACIÓN DE PORTADA
Molino de fabricación de papel del siglo XVII.

Otros títulos publicados:

1. Ingeniería de Sistemas. *Benjamin S. Blanchard.*
2. La Teoría General de Sistemas. *Ángel A. Sarabia.*
3. Dinámica de Sistemas. *Javier Aracl.*
4. Dinámica de Sistemas Aplicada. *Donald R. Drew.*
5. Ingeniería de Sistemas Aplicada. *Isdefe.*
6. CALS (Adquisición y apoyo continuado durante el ciclo de vida). *Rowland G. Freeman III.*
7. Ingeniería Logística. *Benjamin S. Blanchard.*
8. Fiabilidad. *Joel A. Nachlas.*
9. Mantenibilidad. *Jezdimir Knezevic.*
10. Mantenimiento. *Jezdimir Knezevic.*
11. Ingeniería de Sistemas de Software. *Gonzalo León Serrano.*
12. Simulación de Sistemas Discretos. *Jaime Barceló.*
13. La Ergonomía en la Ingeniería de Sistemas. *Pedro R. Mondelo y Enrique Gregori Torada.*
14. Análisis de las Decisiones Multicriterio. *Carlos Romero.*
15. Análisis del Coste del Ciclo de Vida de los Sistemas. *Wolter J. Fabrycky*



IISDEFE

Ingeniería de Sistemas

c/ Edison, 4
28006 Madrid
Teléfono (34-1) 411 50 11
Fax (34-1) 411 47 03
E-mail: monografias@isdefe.es

P.V.P.: 1.000 Ptas.
(IVA incluido)

EL ANÁLISIS DE SISTEMAS. Ricardo Torrón Durán



COMITÉ DE REDACCIÓN

Presidente

Sr. D. Martín Aleñar Ginard
Teniente General (R) del Ejército de Tierra

Vocales

Sr. D. Eduardo Avanzini Blanco
General de Brigada Ingeniero del Ejército del Aire

Sr. D. Carlos Casajús Díaz
Vicealmirante Ingeniero de la Armada

Sr. D. Luis García Pascual
Vice-Rector de Investigación y Postgrado de la UPCO

Sr. D. Ricardo Torrón Durán
General de División Ingeniero del Ejército de Tierra

Sr. D. Alberto Sols Rodríguez-Candela
Ingeniero de Sistemas. Isdefe

Sra. Dña. M^a Fernanda Ruiz de Azcárate Varela
Imagen Corporativa. Isdefe

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, por fotocopia, por registro o por otros métodos, sin el previo consentimiento por escrito de los titulares del Copyright.

Primera Edición: Marzo - 1997
1.250 ejemplares

© **Isdefe**
c/ Edison, 4
28006 Madrid.

Diseño y fotomecánica:
HB&h Dirección de Arte y Edición

Infografía de portada:
Salvador Vivas

Impresión:
Gráficas Algorán, S.A.

ISBN: 84-89338-16-7
Depósito legal: M- 10049 -1997
Printed in Spain - Impreso en España.

*A mi nieta Gabriela,
por el mejor de sus futuribles*

.....

.....

.....

PRÓLOGO

Con esta monografía sobre EL ANÁLISIS DE SISTEMAS hemos llegado al final de la serie que, con todo apoyo e interés, ha patrocinado ISDEFE con el objeto de dar a conocer los fundamentos de la Ingeniería de Sistemas y demás disciplinas afines, así como algunas de las técnicas de aplicación en los estudios de los sistemas.

A mediados de 1996, el Comité de Redacción de las Monografías, al que tengo el honor y la responsabilidad de pertenecer, fue consciente de que una de las grandes escuelas sistémicas se nos estaba «quedando en el tintero». Se trataba del Análisis de Sistemas, nacido en el seno de la Rand Corporation finalizada la 2ª Guerra Mundial, y cuyo desarrollo, aunque posterior al de la Teoría General de Sistemas, se adelantó al de la Ingeniería de Sistemas y al de la Dinámica de Sistemas, todas ellas ya tratadas en la primera parte de la serie.

Por otra parte, el Análisis de Sistemas es el heredero directo de la Investigación Operativa, nacida durante la citada Guerra Mundial, por lo que su aplicación fue, y sigue siendo aunque no con exclusividad, para ayudar a la toma de decisiones en el campo de los sistemas militares.

Además, algunas de las técnicas recogidas en la segunda parte de la serie de monografías, como Simulación, Fiabilidad, Manteni-

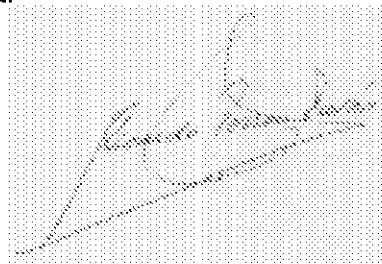
bilidad, Análisis Multicriterios, y Coste/Eficacia, son, en realidad, técnicas auxiliares del Análisis de Sistemas. Su vinculación a algunas de las fases que lo constituyen, podrá quizás clarificar el conocimiento y enriquecer la cultura sistémica que pretendemos divulgar.

Por otra parte, como una aplicación del Análisis de Sistemas y coincidente con el actual estilo «Rand» recogido en lo que viene a denominarse Análisis de Sistemas «blandos», se presenta la Prospectiva, junto con una de sus metodologías más interesante, generadora de escenarios de futuro.

Se abre así una puerta a la actitud prospectiva que, junto al enfoque sistémico, define la pauta intelectual que permite al decisor, en la complejidad del mundo actual, hacer frente al futuro que se le presenta plural e incierto.

La elección del tema, como remate de la serie de monografías, ha sido acertada a mi juicio, no así la del autor que ha recaído, por voluntad del Comité de Redacción, en mi modesta persona.

Agradezco, por último, la ayuda y confianza que en mí ha depositado el Comité, esperando no defraudarlo, así como al lector del que pido, desde ahora, su benevolencia.



Ricardo Torrón Durán

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	13
1.1.	La Teoría de las Tres Olas	14
1.2.	La Era de los Sistemas	19
1.3.	Algunas puntualizaciones	23
2.	LA RACIONALIZACIÓN DE LAS DECISIONES	27
3.	LA INVESTIGACIÓN OPERATIVA	31
3.1.	Cómo y dónde surge la Investigación Operativa	32
3.2.	Definición y método	36
3.3.	Tendencias actuales de la Investigación Operativa	38
4.	EL ANÁLISIS DE SISTEMAS	43
4.1.	El enfoque sistémico	44
4.2.	Origen y definición del Análisis de Sistemas	46
5.	LA METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE SISTEMAS (SUS FASES)	51
6.	LAS TÉCNICAS AUXILIARES DEL ANÁLISIS DE SISTEMAS	59
6.1.	Técnicas de ayuda a la creatividad	62
6.2.	Técnicas de ayuda a la evaluación	64
6.3.	El método Delphi	66
7.	EL ANÁLISIS DE SISTEMAS EN LOS ESTUDIOS PROSPECTIVOS	73
7.1.	La Prospectiva y la actitud prospectiva	74
7.2.	Previsión versus Prospectiva	76
7.3.	El método de los escenarios	81

8. UNA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE SISTEMAS (EL MÉTODO DE LOS IMPACTOS CRUZADOS)	87
8.1. El método de los Impactos Cruzados, sus características y fundamento matemático	88
8.2. El método de los Impactos Cruzados como una aplicación del Análisis de Sistemas	93
8.3. La Estrategia de lo deseable	97
9. CONCLUSIONES FINALES CARA AL FUTURO	105
9.1. La responsabilidad del ingeniero	106
9.2. La adecuada utilización de las Nuevas Tecnologías	109
REFERENCIAS	115
BIBLIOGRAFÍA	127
GLOSARIO	133

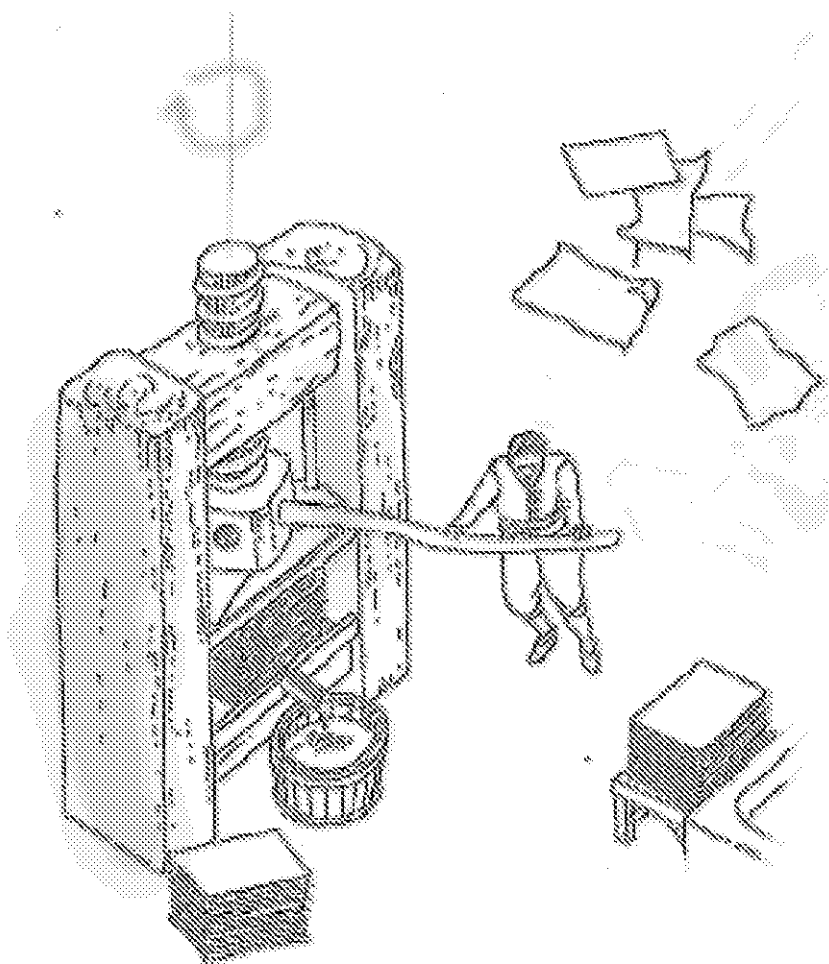
.....

.....

.....

1

Introducción



Como recoge Peter Checkland, en su interesante obra «Systems Thinking, Systems Practice» [1], es en el Análisis de Sistemas, más que en ninguna de las otras escuelas sistémicas, donde se tiene en consideración de manera más condicionante la estrecha vinculación existente entre los aspectos técnicos y económicos.

Ello justifica que empecemos esta Introducción viendo, aunque sea sucintamente, la evolución histórica de esta relación entre la Economía y la Tecnología, donde es innegable el papel y responsabilidad que ha jugado el decisor técnico.

1.1. La Teoría de las Tres Olas

La historia de la humanidad, la de su evolución social y económica es, en buena medida, la historia del cambio técnico. Y ello es así porque las posibilidades del desarrollo económico y social han estado condicionadas por el de la tecnología y recíprocamente.

Alvin Toffler [2], para expresar gráficamente la historia de esta evolución social, usa el sugestivo y sugerente símil de las tres Olas (Figura 1).

La Primera Ola se refiere al Neolítico, cuando, hace unos 10.000 años, el hombre descubre y adopta la agricultura y la ganadería. La primera lo conduce al sedentarismo, naciendo así la aldea y la defensa

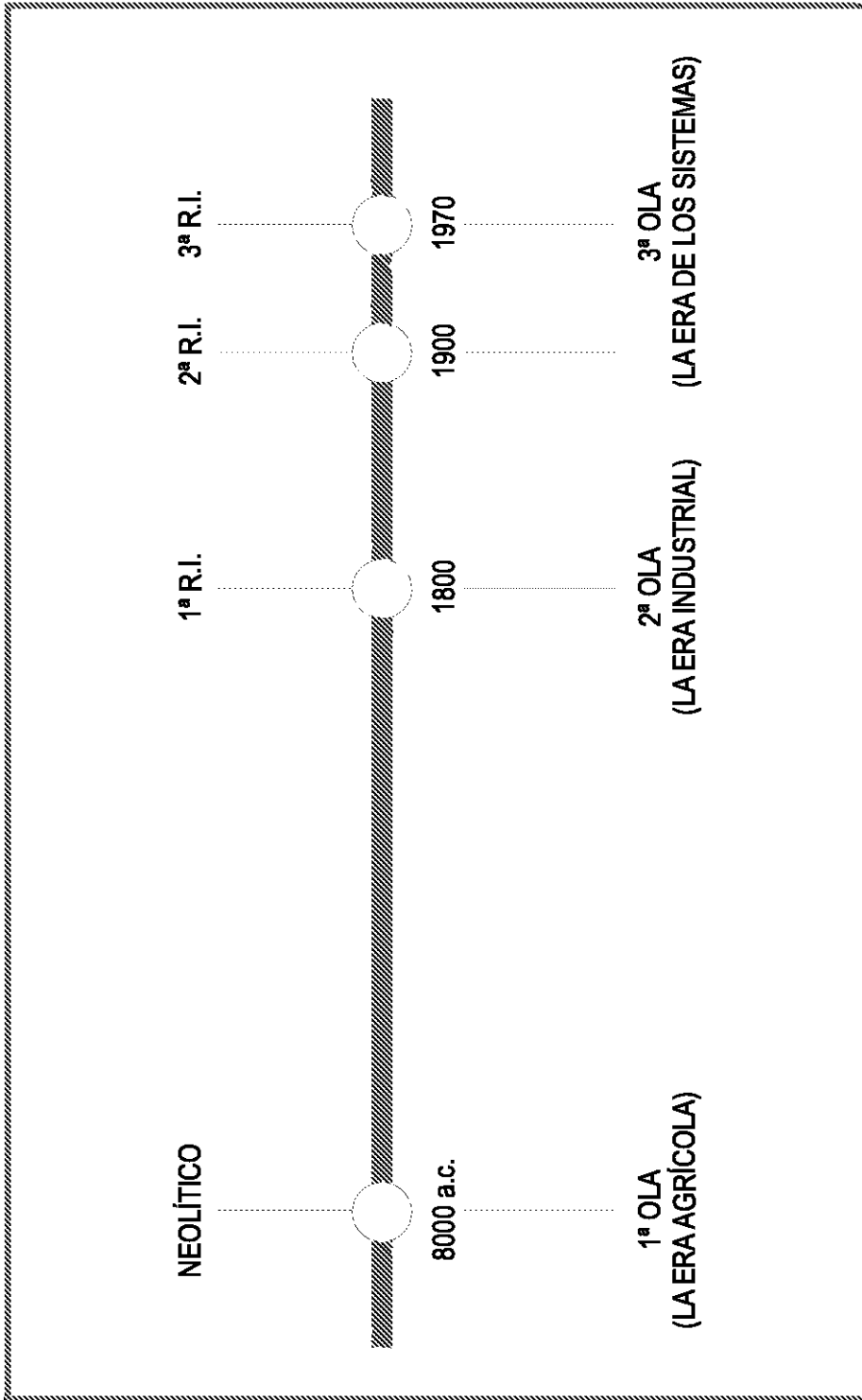


Figura 1 - CRONOLOGÍA DE LAS 3 OLAS DE TOFFLER Y LAS 3 REVOLUCIONES INDUSTRIALES (R.I.) -

organizada, origen remoto de los ejércitos. La segunda le permitirá no sólo aprovechar del animal su carne, leche, piel y huesos, sino también su fuerza como fuente de energía.

Un aspecto negativo en el proceso social será que a partir de entonces, y como consecuencia de lo apuntado, surge la esclavitud. Al enemigo ya no se le ahuyentará o matará, sino que será más útil como esclavo, del que se aprovechará su fuerza física.

La artesanía que surge en el Neolítico permitirá ya, aunque embrionariamente, estudiar su relación con el proceder económico del hombre cuando éste se plantea la solución de sus necesidades. Estas necesidades primarias pueden ser satisfechas con determinados útiles (bienes) e incipientes servicios. El hombre debía, primeramente, definir estos bienes para, a continuación, obtenerlos a través de un determinado proceso artesanal, ayudado de ciertos medios desarrollados o adaptados por él mismo.

Con la Segunda Ola, que para Toffler coincide con la Revolución Industrial, no sólo nacen la Ingeniería y la Tecnología en sus acepciones actuales, sino que la sociedad y la cultura del mundo occidental en que estamos inmersos tienen también en ella la causa de su origen y de su evolución económica.

Si entendemos por Tecnología el procedimiento para hacer algo en sentido amplio, es decir, el conjunto de herramientas, sistemas y métodos necesarios para ello, podemos decir que, a partir de la Revolución Industrial, ya no hay proceso tecnológico sin ingeniero.

La Ingeniería es, en ese sentido, pasar del conocimiento científico al hecho tecnológico. Se trata de, a partir de las ideas y de los conocimientos, llegar con la Tecnología adecuada a conseguir los productos y servicios que los hombres necesitan para vivir o mejorar su calidad de vida.

Esos bienes y servicios, así como las necesidades que los requieren, cambiaron con la nueva cultura de la sociedad industrial.

La interrelación entre la Economía y la Tecnología, se manifiesta así plenamente y no se debería, a partir de entonces, hacer un análisis profundo de ninguna de ellas sin tener a la otra presente.

En el campo incluso de la decisión económica la racionalización del ingeniero, es decir, del aplicador de la Tecnología, se va a ir introduciendo desde ese momento hasta que, en nuestros días, puede ser muy difícil separar los componentes económicos de los tecnológicos en determinados proyectos, tal es el grado de imbricación existente entre ellos. Pero, sobre todo, es imposible desprender de su carga de racionalidad, de su aspecto matemático, de su mentalidad tecnológica y de su método «ingenieril», toda decisión económica en un proyecto complejo.

Con la Revolución Industrial, se producen transformaciones sociales que marcan profundamente la convivencia. Podemos resumirlas en las siguientes: urbanismo, cambios en la organización del trabajo familiar, burocratización, masificación y ruptura de las jerarquías tradicionales.

Bajo la óptica de otros autores [3], la Revolución Industrial es dividida en tres fases (1ª, 2ª y 3ª Revolución Industrial) siguiéndose para esta clasificación los criterios de los recursos empleados, incluidas las fuentes de energía, y los sectores punta de la producción industrial. (En la Figura 1 se indican las fechas aproximadas de dichas fases en los países más desarrollados: 1800, 1900 y 1970).

En la 1ª Revolución Industrial, es decir la Segunda Ola en el esquema de Toffler, las fuentes de energía pasaron a ser el carbón y la máquina de vapor, sustituyendo las energías animal e hidráulica que se mantenían casi como únicas desde el Neolítico. Los sectores punta

fueron el textil y el metalúrgico, que actuaron como motores del resto del sector productivo.

La 2ª Revolución Industrial surge cuando, con la invención de la turbina y del motor de explosión, se generaliza el empleo de la electricidad y del petróleo como fuentes de energía. Los sectores punta pasan a ser el petroquímico, el de material eléctrico, el de máquinas herramientas, el de automoción, etc. Se realiza, entonces, la revolución de los transportes, tanto terrestres como marítimos y aéreos, y se introducen las técnicas y medios de comunicación a distancia (radio, teléfono, T.V.).

También es en esta fase cuando se desarrolla la organización científica del trabajo, tan próxima a la labor del ingeniero, que actúa, a partir de entonces, desde el meollo mismo de la relación Economía/Tecnología. Y ello lo hace apoyándose en lo que se considera «las cuatro bases de la industrialización»:

- La utilización social de la Ciencia y la Tecnología [4].
- La organización racional de la actividad económica.
- La aparición de la empresa como institución económica central, en la que la labor del ingeniero se fusiona, en ocasiones, con la del gestor.
- La diversificación social e interdependencia funcional derivada de la división del trabajo. División que, en el nivel del detalle, está impuesta por la Tecnología.

Por último, la 3ª Revolución Industrial la estamos empezando a vivir en nuestros días. Aparece la información como recurso y a las fuentes de energía anteriores se unen la nuclear y las denominadas energías renovables. Surgen, por otra parte, las denominadas Nuevas Tecnologías (los nuevos materiales, la biotecnología, la electrónica, la robótica, la telemática, la informática, etc.), y se refuerza la terciarización de la Economía.

Esta 3ª Revolución Industrial coincide con la Tercera Ola de Toffler. Nace una nueva cultura, la de la sociedad post-industrial, también llamada sociedad de la información. A la vez, una nueva era surge: la Era de los Sistemas.

1.2. La Era de los Sistemas

Benjamín Blanchard en su libro «System Engineering Management» [5] llama claramente a esta nueva era «la Era de los Sistemas» y así lo recoge también la «Presentación» de las monografías [6], como contraposición a la Era de las Máquinas o Era Industrial, así como la monografía número 4 de D. Drew, en su Introducción [7].

Por otra parte, llegados al inicio de la Tercera Ola, aparecen las que hoy llamamos Nuevas Tecnologías y éstas ayudan a implantar el concepto y enfoque sistémico, desde la concepción hasta la producción y aplicación de los sistemas por ellas generados.

En efecto, la nueva percepción de los fenómenos organizativos, la utilización de las nuevas redes de comunicación en la toma de decisiones, el acceso a la información procesada y al conocimiento, la posibilidad de la exploración del futuro plural e incierto y el tratamiento holístico de los problemas, (todos ellos auspiciados por las Nuevas Tecnologías) abundan a favor de la denominación de Era de los Sistemas a la era que ahora se inicia con el entrenchocar de la Segunda Ola en retirada y el empuje vigoroso, creciente por momentos, de la Tercera.

Pasemos ahora, aunque sea rápidamente, a observar ese papel que juegan las Nuevas Tecnologías en la Era de los Sistemas.

En la Figura 2 hemos representado esquemáticamente el nuevo sistema «técnico» apoyándonos en los cuatro pilares básicos de las distintas tecnologías:

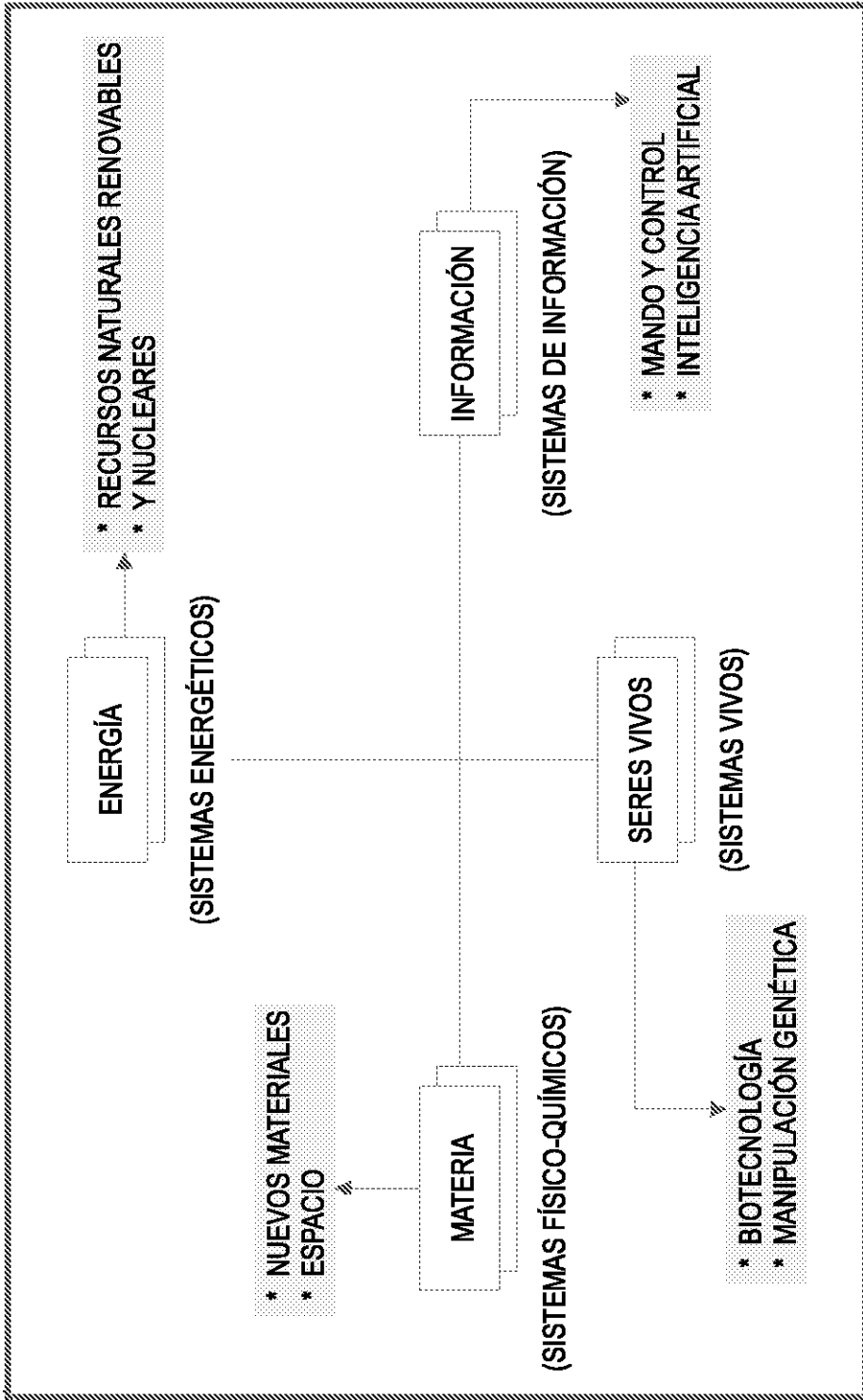


Figura 2 - LA EMERGENCIA DE UN NUEVO SISTEMA "TÉCNICO" -

- La energía.
- La materia.
- Los seres vivos.
- La información.

En el primero, la energía nuclear y los nuevos recursos naturales renovables se incorporan al sistema energético, basado hasta ahora en recursos no renovables. Las consecuencias industriales, económicas y ecológicas son uno de los temas político-sociales punteros de nuestros días.

Respecto a la materia, existe una nueva generación de materiales compuestos que aportan cambios muy importantes al desarrollo de sistemas físicos y químicos de sofisticación creciente en el campo de numerosas ingenierías: de telecomunicaciones, de productos químicos, de guerra, espacial, automovilística, etc. Hasta la medicina y el propio hogar son transformados por la tecnología de los nuevos materiales utilizados en sistemas de aplicación al hogar y al mantenimiento de la salud.

Por otra parte, los progresos en la ciencia de los seres vivos son el origen de la nueva biotecnología, que se encuentra en la fase inicial de un desarrollo que afectará a numerosos sistemas correspondientes a sectores económicos de la industria y servicios (la agroalimentación, la sanidad, el tratamiento del medio ambiente, la energía, etc.).

A pesar de la trascendencia de todos estos cambios, los más importantes en extensión y profundidad, bajo el punto de vista social y económico, los van a proporcionar las Nuevas Tecnologías de la Información/Comunicación. Son éstas la microelectrónica, las telecomunicaciones, la informática, la robótica y la automatización. Su desarrollo es espectacular. Sus efectos sociales no han hecho más que empezar y pronto será cotidiano que nuestros sistemas informáticos de comunicaciones, de mando y control, de ayuda a la decisión, etc., incorporen el uso de la llamada «inteligencia artificial» con la lectura automática de todo tipo de caracteres, la traducción de lenguas en sus 4 niveles, (morfológico, sintáctico, semántico y pragmático), la comunicación

directa oral o escrita con la máquina, la generalización del uso de los sistemas expertos que tratan conocimiento además de datos, etc.

No pretendemos, en este momento, exponer con detalle la emergencia del nuevo sistema tecnológico, pero sí señalar que los sistemas que surgen de los cuatro pilares básicos están estrechamente relacionados. Así los sistemas biotecnológicos le deben mucho a la microelectrónica, los sistemas de telecomunicación a los nuevos materiales, y así sucesivamente.

Y sobrevolando esta interrelación está el papel de aglutinante y de efecto multiplicador que ejercen las Nuevas Tecnologías de la Información sobre las demás, así como sobre sus consecuencias económicas, sociales y culturales, apareciendo la información como un nuevo recurso, que une a su novedad la característica de innovador y hasta de revolucionario. (Los anteriores recursos eran la materia y la energía, incluyendo en esta última la que proporcionan los seres vivos).

Si tomamos para Sistema la definición de Bertalanffy [8], que a pesar de su sencillez es siempre válida: «*conjunto dinámico de elementos en interrelación*», podemos decir que las Nuevas Tecnologías de la Información han establecido, modificado y refinado las relaciones entre elementos de los más diversos sistemas diseñados por el hombre, sean físicos o abstractos, así como de aquellos organizativos basados en la actividad humana.

Por todo ello, el decisor técnico, inmerso ya en la Tercera Ola naciente, se responsabiliza en buena medida de la configuración de la nueva sociedad, por lo que debe utilizar adecuadamente las Nuevas Tecnologías, en su doble vertiente económica y técnica, usando para ello útiles que, por su formación y mentalidad, tiene a su alcance, como son la concepción sistémica de los problemas que le proporciona el Análisis de Sistemas y la actitud creativa cara al futuro que le suministra la Prospectiva. (Volveremos sobre este tema en el capítulo nº 9, cuando redactemos las «conclusiones finales cara al futuro»).

1.3. Algunas puntualizaciones

Como final de esta introducción permítasenos hacer algunas puntualizaciones:

- a) El esquema temporal de las Olas tofflerianas, relacionado con las tres revoluciones industriales nos sirve de hilo conductor del índice de la monografía:
 - 1.- **La racionalización de las decisiones** (Capítulo 2).
(Surge con la 1ª Revolución Industrial).
 - 2.- **La Investigación Operativa** (Capítulo 3).
(Aparece en plena 2ª Revolución Industrial).
 - 3.- **El Análisis de Sistemas** (Capítulos 4, 5 y 6).
(Aplicable a partir del inicio de la 3ª Revolución Industrial o Era de los Sistemas).
 - 4.- **La Prospectiva** (Capítulos 7 y 8).
(Actitud a adoptar conjuntamente con el enfoque sistémico, una vez inmersos en la Era de los Sistemas).

- b) A lo largo de la monografía aparecen temas y conceptos en los que se ha insistido con más profundidad y criterio a lo largo de la serie. Por supuesto no nos detendremos especialmente en ellos, pero sí trataremos de hacer referencia a las monografías que los han tratado.

Especial mención merece el propio Análisis de Sistemas al que, con su verdadera dimensión y entidad, hace referencia Benjamín S. Blanchard en la monografía número 1 relacionándolo además con la Investigación Operativa [9], y Donald Drew en la monografía número 4, ya citada [7].

Otras monografías como la número 5, Ingeniería de Sistemas Aplicada, hace uso de la metodología del Análisis de Sistemas [10] aunque no hace mención explícita de él.

Por otra parte, la expresión Análisis de Sistemas, puede prestarse a equívoco pues, como metodología, abarca mucho más que la fase de análisis propiamente dicho, existiendo también una labor de síntesis, comparable en importancia. No confundamos, por tanto, el análisis del sistema estudiado, que citan Angel Sarabia en la monografía número 2, Teoría General de Sistemas [11], y Javier Aracil en la monografía número 3, Dinámica de Sistemas [12], con el Análisis de Sistemas como escuela y metodología general del enfoque sistémico, objeto de esta monografía.

- c) El Análisis de Sistemas aparece pues, a lo largo de la monografía, en una triple acepción:
- 1.- Como una **metodología** de acción y de conocimiento, con sus fases, sus iteraciones, sus técnicas auxiliares.
 - 2.- Como una **actitud intelectual** que debe regir el hacer racional del decisor técnico, es decir el ingeniero. Este «hacer racional» debe existir siempre que haya elección entre posibles alternativas, debiendo estar presente el binomio Tecnología/Economía, así como las implicaciones sociales.
 - 3.- Como una **escuela sistémica**, compatible con las otras ya presentadas a lo largo de la serie.
- d) En la «Presentación» de esta serie [13] se expusieron las características más notables de los sistemas y del enfoque sistémico. Pues bien, si se nos permite la simplificación, podemos decir que según fijemos la atención en una u otra
-

de estas características, estaremos ante una u otra de las diferentes «escuelas».

La **Teoría General de Sistemas** fija la atención en la «consideración teleológica» o del propósito u objetivo del sistema, tratando de profundizar en el «conocimiento» del mismo.

La **Dinámica de Sistemas** se apoya fundamentalmente en las características de «realimentación» (feed-back) y de «dinamismo» que tienen los sistemas.

La **Ingeniería de Sistemas** realiza el enfoque global a lo largo del tiempo, contemplando como un todo el «ciclo de vida» del sistema.

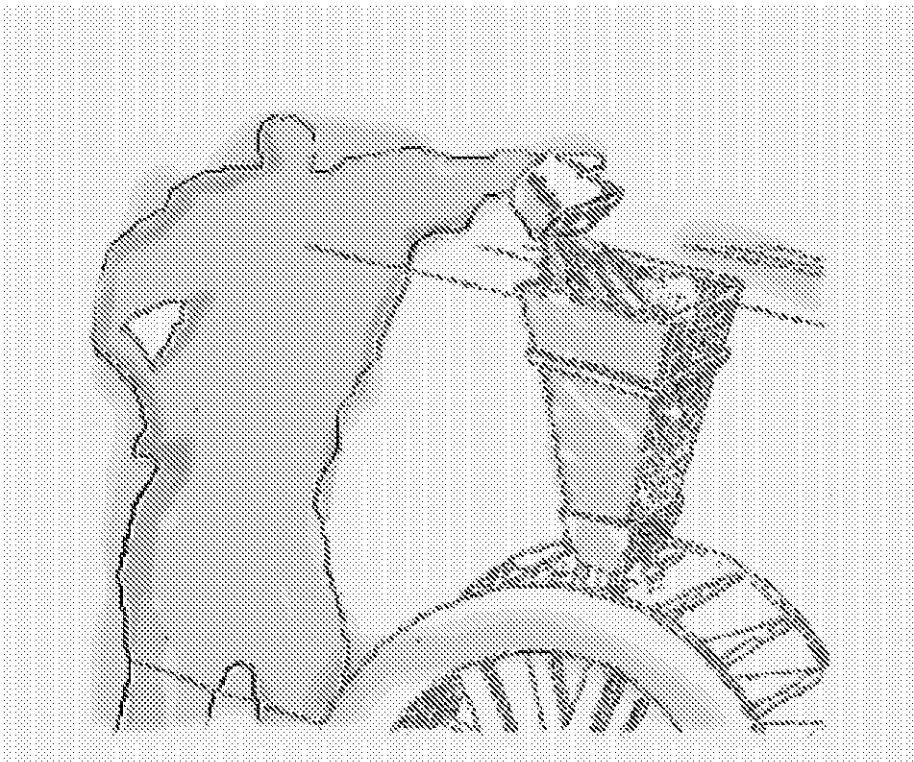
Por último, el **Análisis de Sistemas** tiene sobre todo presente la limitación de recursos, usando el binomio «coste/eficacia» como uno de los criterios básicos en la elección de alternativas, a la vez que se resalta la «multidisciplinariedad» del enfoque.

Digamos, finalmente, que todas estas escuelas, que están al servicio del decisor, tienen notables áreas de solape y nunca son excluyentes.

- e) Aún a costa de cargar excesivamente la monografía, en contra de la fluidez deseable, no hemos eludido la enumeración de las nuevas técnicas de ayuda a la gestión y a la decisión, verdaderos instrumentos al servicio del ingeniero, que, a nuestro juicio, debe conocer y emplear frente a los complejos problemas tecno-económicos que se le presentan. Este «lastre» está patente en las Secciones 3.1, 3.3, 6.1, 6.2 y 7.2.
-

2

La racionalización de las decisiones



Sir John Hicks [14] ve en la Revolución Industrial un cambio del proceso de exploración territorial, realizado hasta entonces, en otro proceso de exploración científica del mundo físico. Es así como la Ciencia y su aplicación a la Tecnología, realizada por los ingenieros, abre la industria a unas perspectivas nunca soñadas.

En esta línea exploratoria, con el aspecto racional que le dan sus protagonistas, se consiguen hitos fundamentales, uno de los cuales, cuyo efecto multiplicador fue básico para todo lo que vino después, es la invención de la «máquina herramienta». Con ella el ingeniero conseguirá un tipo de máquina destinada a engendrar nuevas máquinas y así sucesivamente.

Además se consigue reunir varias máquinas en sistemas interconectados bajo un mismo techo (la factoría) y, en definitiva, la cadena de montaje que, con la ayuda de nuevos sistemas energéticos, abre las puertas a la producción en serie.

Otro hito importante en la historia de la Revolución Industrial es la publicación del conocido libro de Frederic W. Taylor «Principles of Scientific Management» (hoy de nuevo valorado en su justa medida) que plasmaba, en el ámbito de la factoría, la organización racional de la actividad económica.

La organización racional, junto con la previsión del futuro y la preocupación por la medida, surge de la mano de la técnica en una

nueva actitud del hombre como consecuencia de la Revolución Industrial y que, en el fondo, no es más que la voluntad de dominar el medio natural en vez de ser dominado por él.

La actitud racional, como la llama Max Weber, o la racionalización cuantitativa, supone una nueva manera de encarar el pasado y el futuro. El pasado, como tal, pierde su carácter de algo respetable o sagrado. El futuro ya no es enfrentado como inevitable repetición de lo que aconteció anteriormente y se puede, además, prever su evolución y, sobre todo, medir esa evolución prevista.

Esta Era de las Máquinas o Era Industrial se apoya en las ideas emanadas del Cartesiano, nacido con la publicación del «Discurso del Método» de Descartes. Los cuatro principios en que se sustenta, son los de evidencia, de exhaustividad, reduccionista y causalista [15].

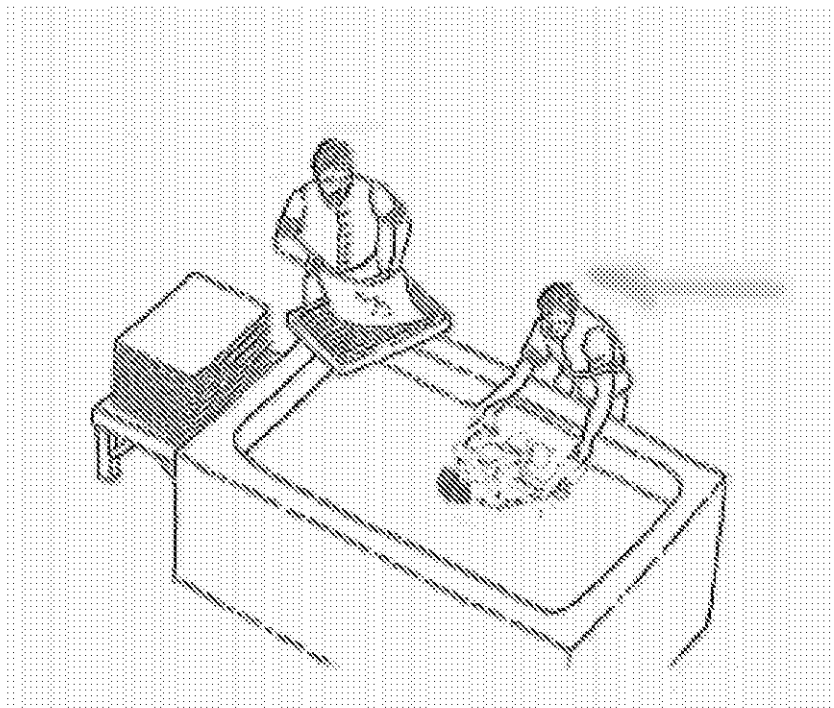
Según ellos todo es descomponible exhaustivamente en sus diferentes partes que pueden ser analizadas independientemente, yendo de lo más simple a lo más complejo, a la vez que cualquier proceso podrá ser explicado por medio de las relaciones concatenadas causa/efecto.

El avance que en la sociedad produjo el pensamiento cartesiano, como orientador de la organización racional a lo largo de la Era Industrial fue ya expuesto en la Introducción.

Ya en nuestro siglo, en la 2ª Revolución Industrial, la racionalización se manifiesta básicamente en la preparación científica de las decisiones, con la definición de criterios cuantitativos, el nacimiento de la Econometría, la utilización progresiva de la formulación matemática en el proceso decisorio y la aparición de la Investigación Operativa.

3

La Investigación Operativa



3.1. Cómo y dónde surge la Investigación Operativa

La misión encomendada a Arquímedes por Hierón, Rey de Siracusa, de hallar el mejor medio de defenderse contra los barcos romanos, es, probablemente, el primer caso de la historia en que se encomendaba a un matemático científico la resolución de un problema militar [16].

Sin embargo, no es hasta los comienzos de la 2ª Guerra Mundial [17] cuando aparecen las técnicas lógico-matemáticas como ayuda a las decisiones militares de una manera institucionalizada y lo hacen bajo el nombre de Investigación Operativa. Esta expresión es la traducción de la inglesa «Operational Research» o de la americana «Operations Research», países en que se inicia su desarrollo. Hay que señalar que el término anglosajón «Operation» se aplica en primer lugar a las operaciones militares.

La enorme complejidad que alcanzaron aquellas operaciones, durante el citado conflicto, puso muy pronto de manifiesto que la solución de muchos problemas planteados por la guerra no podía ser alcanzada por los procedimientos clásicos de preparación de las decisiones militares.

Nace así, en el seno del Estado Mayor inglés, el primer equipo de Investigación Operativa bajo las órdenes del físico Blackett con la participación de tres biólogo-botánicos, dos matemáticos, un astrofísico y un militar [18].

El primer problema al que dieron una solución matemática fue el despliegue de los radares de vigilancia que tanta importancia iban a tener durante la batalla de Inglaterra. El carácter aleatorio de los posibles ataques junto con las distintas posibilidades en el espacio y el tiempo, unido a la variable probabilística de la detección de los radares, trasladaban la resolución del despliegue a un problema con planteamiento matemático.

Otro problema que ha pasado brillantemente a la historia de la Investigación Operativa fue el del dimensionamiento óptimo de los convoyes marítimos aliados con el fin de reducir las pérdidas por ataque de los submarinos alemanes. El dilema entre grandes convoyes con fuerte protección o pequeños y numerosos convoyes con menor protección, al ser repartida entre todos ellos, fue resuelto matemáticamente a favor de la primera solución.

Desde el fin de las hostilidades, se inició la aplicación de técnicas matemáticas a la toma de decisiones en el campo civil, en la línea ya iniciada de la racionalización de las decisiones económicas. Su desarrollo, entonces, fue espectacular y ello fue debido a dos factores: en primer lugar, a las matemáticas modernas, que auspiciaron el desarrollo de la matemática aplicada y el cálculo numérico. En segundo lugar, a la aparición de los ordenadores electrónicos, que, gracias a sus posibilidades de cálculo, permitieron abordar problemas voluminosos que, por falta material de tiempo, habían tenido que ser dejados de lado anteriormente y, sobre todo, permitían el empleo de algoritmos iterativos imposibles de utilizar sin estos medios de cálculo.

La Investigación Operativa tomaba, en cierto sentido, el relevo de la Econometría, cuyo desarrollo se debía fundamentalmente a la evolución de sus tres componentes básicos: la Economía matemática, la observación estadística y la Estadística matemática.

La Econometría había surgido, pues, del lado de la Economía (aunque sea la Economía matemática) en los años 20. Tiene su ocasión

de desarrollo durante la gran depresión y ha llegado hasta nuestros días mejorando cada vez más sus útiles: los modelos económicos. Modelos usados en el campo de la Macroeconomía, al principio para la descripción y predicción y, posteriormente, para la decisión en política económica a corto plazo y para la planificación del desarrollo a largo.

La Investigación Operativa, como hemos dicho, surge, en cambio, del lado de la Tecnología, de la Ingeniería podríamos decir. Desde su origen militar se aplica rápidamente a la Microeconomía, es decir, al mundo económico empresarial, ayudando al decisor en tres campos donde su experiencia y sentido común no son suficientes. Estos campos son el aleatorio, el combinatorio y el de la lucha o competencia.

Esta incapacidad del decisor, ya destacada en los problemas militares antes citados, la podemos ver en sencillos ejemplos.

Así, es de todos bien conocido que el hombre de la calle no tiene la noción de esperanza matemática, a pesar de que este concepto fue enunciado ya, por Bernouilli, en 1.713 [19]. La abundancia de loterías, de apuestas de toda clase son una prueba evidente. Pero el hombre cultivado, el científico incluso, no escapa a esta incapacidad, ligada al funcionamiento mismo de nuestro cerebro, que es la dificultad de aprehender lo aleatorio.

Igualmente, el sentido común individual se encuentra desamparado ante los fenómenos combinatorios: la facultad de razonar media, privada de la ayuda del análisis combinatorio, no es capaz de evaluar factorial de «n», es decir, el número de elecciones disponibles en una simple permutación de «n» elementos.

Por último, es aún más incómoda la situación del individuo aislado que, frente a un adversario -sea en el campo de la competencia o en el de la lucha o combate- dispone de diferentes posibilidades de acción, pero, ignorando las técnicas de la Investigación Operativa, no sabría solucionar su problema, a la vez aleatorio y combinatorio.

El papel de la Investigación Operativa es, precisamente, el de ayudar -en esta incapacidad manifiesta- al sentido común, suministrándole los métodos de razonamiento que le permitirán utilizar sus conocimientos estadísticos para dominar lo aleatorio; desenredar la madeja de los miles, y aún de los miles de millones de posibilidades, para decidir en lo combinatorio; estudiar su situación con respecto al adversario para desmontar sus ardides y compensar sus acciones agresivas en la lucha o en la competencia.

En cada uno de estos campos han surgido, bajo el epígrafe común de Investigación Operativa, un conjunto de técnicas y métodos que forman un variado y heterogéneo contenido. Citaremos rápidamente algunas de ellas.

En el campo aleatorio tenemos la Teoría de la Fiabilidad [20], la Gestión de Stocks, el Control de Calidad, la Teoría de Colas o fenómenos de espera, la renovación de equipos o maquinaria, la Teoría de la Mantenibilidad [21], etc.

En el combinatorio aparecen la Programación Lineal, la Teoría de Grafos con sus aplicaciones clásicas a los problemas de ordenamiento, las técnicas de afectación o asignación, la optimización discreta, la Programación Matemática en sentido general, las técnicas de rotación de personal o material, los problemas de transporte, etc.

Por último está el campo de la competencia o lucha, donde como ya hemos dicho confluyen los dos anteriores: la aleatoriedad del comportamiento del adversario con la combinatoria elevada de nuestras posibilidades. En él aparecen los juegos de guerra (war games), los juegos de empresa (business games), la Teoría de Juegos y, muy especialmente, la Simulación con sus enormes posibilidades. (Esta última puede ser también empleada en los otros campos citados, haciéndolo en ocasiones como una alternativa, de utilización inductiva, a las restantes técnicas, de utilización deductiva, como se recoge en la Figura 7 de la Sección 6.2).

Esta gran variedad de técnicas surgen, como ya hemos dicho, para completar la experiencia y el sentido común del decisor. En los problemas complejos del campo tecno-económico, donde la combinatoria es tan elevada y lo aleatorio sale al paso en cada momento, las decisiones basadas exclusivamente en el llamado buen criterio pueden encontrarse en el punto opuesto al de las que aprovechan la información existente y aplican criterios racionales, con ayuda de la Investigación Operativa, al proceso de dicha información.

3.2. Definición y método

Llegado a este punto estamos capacitados para proponer una definición suficientemente completa de la Investigación Operativa [22]:

«Conjunto de métodos y técnicas de análisis y de síntesis de los fenómenos de organización utilizados para la preparación racional de las decisiones».

En esta definición aparece la Investigación Operativa como un arsenal («cajón de sastre», se ha dicho en ocasiones) de métodos matemáticos adaptados a la optimización de los procesos organizativos en que hombres, máquinas y productos se hallan en interrelación, de modo que los problemas en ellos planteados tienen un carácter altamente combinatorio y donde frecuentemente se dan cita el azar (lo aleatorio) y la competencia.

Pero hay algo más en el concepto de Investigación Operativa que la caracteriza de una manera claramente diferenciadora y ello es el empleo del método científico. Así, la Investigación Operativa tiene ciertos puntos de contacto con la investigación científica y con la investigación técnica aunque no se confunde con ninguna de ellas. En su método de trabajo y en su objeto -estudio de fenómenos observables- es similar a la primera y en su motivación -presentar resultados utilizables- análoga a la segunda. Como ésta, sirve a la acción, pero su

finalidad no es la de poner a punto nuevos medios, sino la de comparar los disponibles con objeto de orientar la elección.

Para ello, la Investigación Operativa estudia el ambiente en que se sitúa la decisión y analiza el encadenamiento de los fenómenos que provocaría tal o cual elección, con objeto de prever, lo más precisamente posible, las consecuencias de cada una.

La Investigación Operativa parte siempre del problema que se le ha planteado, sin prejuzgar las teorías o las técnicas que utilizará; se servirá de cualquier disciplina matemática que considere útil para proporcionar, al responsable de la decisión, el máximo de elementos de información, dentro del plazo de tiempo compatible con las necesidades de la acción. Su única regla es el empleo del método científico.

Podríamos, pues, definir también la Investigación Operativa de una manera más simple como *«la actividad que tiene por objeto la preparación científica de la decisión»*.

Veamos en qué consiste lo que venimos llamando método científico [23].

Esencialmente, toda decisión pretende modificar o concebir totalmente la estructura de un sistema, empleando aquí otra de las definiciones de sistema de común aceptación: *«conjunto de medios materiales y humanos organizados con vistas a lograr una cierta finalidad»*.

Las formas en que sea posible modificar o concebir ese sistema constituyen un problema, y el problema será tanto más complicado cuanto mayor sea el número de elementos que componen el sistema y más intrincadas sean las relaciones funcionales entre esos elementos. La solución será la mejor forma de modificar o concebir la estructura del sistema.

Así definidos estos elementos, la esencia del método científico consiste en:

- 1º) Lograr una representación abstracta del sistema, lo más simple posible, que recoja los elementos y sus conexiones significativas en relación con el problema planteado, es decir, construir lo que se llama un modelo del sistema.
- 2º) Verificar que el comportamiento del modelo representa, con suficiente precisión, el comportamiento de la realidad.
- 3º) Utilizar el modelo para prever las consecuencias que, en la realidad, tendría cada una de las soluciones posibles del problema.

Con lo expuesto sobre el método científico, quedan ya esquematizadas las etapas que jalonan el proceso de un estudio de Investigación Operativa.

Como se recoge en la Figura 3, los conceptos de PROBLEMA, SISTEMA, MODELO, SOLUCIÓN constituyen pues, los pilares básicos del proceso de la Investigación Operativa y las fases de DEFINICIÓN DEL PROBLEMA, ANÁLISIS DEL SISTEMA [24] Y TÉCNICA DE RESOLUCIÓN, representan los arcos que al unir, respectivamente, estos pilares entre sí tienden el puente que conduce desde el problema a su solución.

3.3. Tendencias actuales de la Investigación Operativa

Dediquemos ahora unas líneas a exponer cuáles son, actualmente, las tendencias más avanzadas de la Investigación Operativa. Estas líneas o tendencias no dejan obsoletas las técnicas clásicas ya citadas sino que, principalmente, lo que hacen es complementarlas y cuando, por excepción, no es así, es que permiten abordar problemas hasta ahora inasequibles.

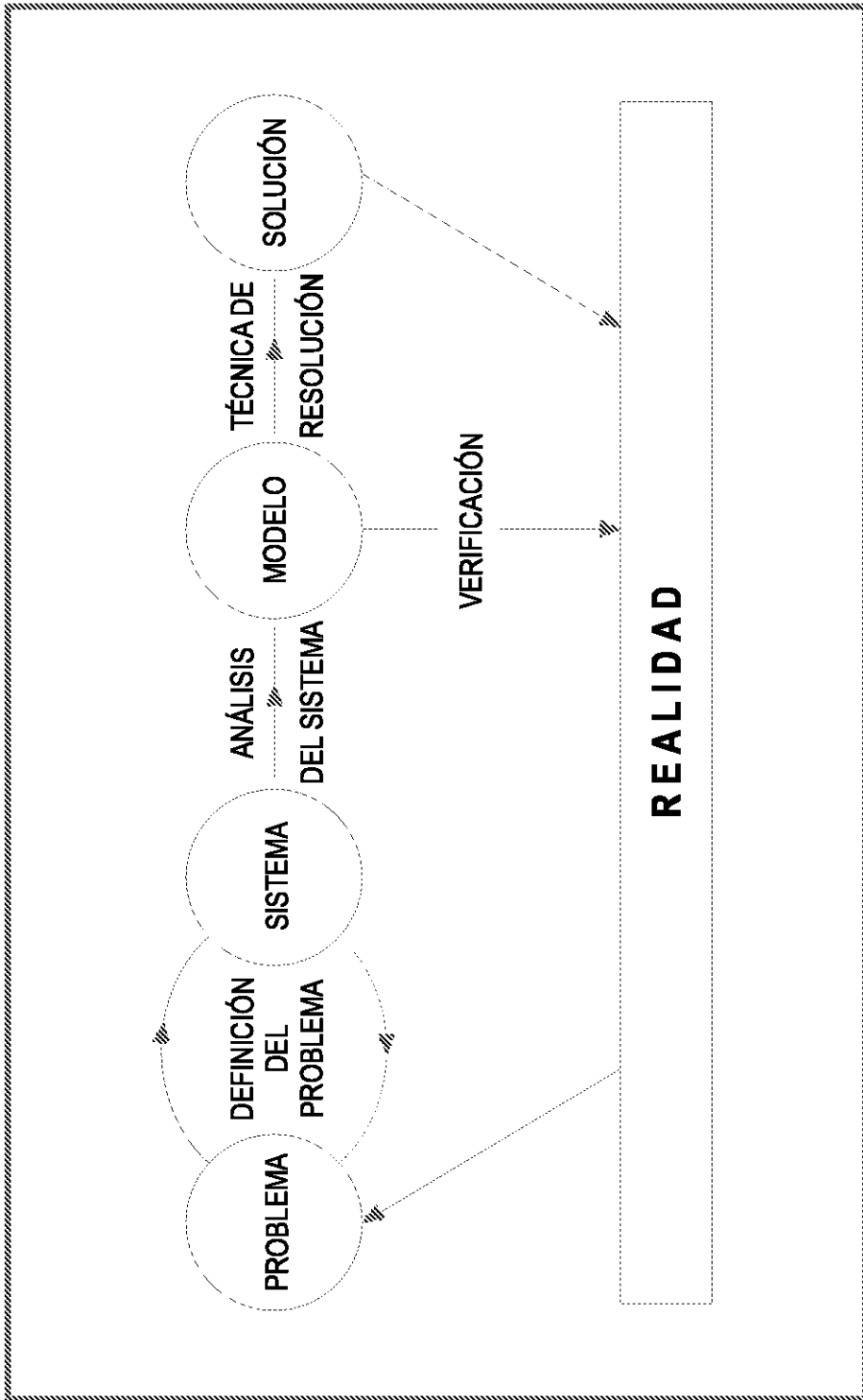


Figura 3 - MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN OPERATIVA -

Estas tendencias son, a criterio nuestro, las siguientes:

Tendencia 1ª: De la simple programación de algoritmos pasamos a la implementación informática de algoritmos.

La implementación, con la ayuda de PC,s y terminales, y a través de sistemas gráficos de representación, se hace prolija y simultánea con el desarrollo del algoritmo. Surgen hardware y lenguajes especializados en Programación Matemática y Simulación, y se habla de hardware científico con procesadores de matrices, reducción de errores de redondeo, procesadores paralelos.

Tendencia 2ª: La Previsión cuantitativa, en el corto plazo, se sofistica con un arsenal de instrumentos muy precisos (como son, por ejemplo, las técnicas de Box-Jenkins para tratar series temporales) a la vez que, en el largo plazo, ya no busca sólo la componente tendencial sino que, bajo el epígrafe de Prospectiva, busca la rotura de esa tendencia, es decir, el factor cambio, el punto de inflexión o la sorpresa.

Tendencia 3ª: Se equilibra el papel de lo heurístico frente a lo algorítmico, que había tomado un gran desarrollo con la utilización de la informática para cálculos relativamente simples, pero repetitivos hasta cotas que los hacían impracticables sin ayuda del ordenador. La heurística, que busca lo funcional por oposición al óptimo, meta de la algoritmia, fue ya usada en técnicas de Investigación Operativa en los años 60, pero ha sido recientemente, con el empleo de los llamados conjuntos difusos y el desarrollo de los «sistemas expertos», en el campo de la inteligencia artificial, donde ha tenido un gran desarrollo.

Tendencia 4ª: Paralelamente a la importancia recobrada por lo heurístico frente a lo algorítmico, el campo combinatorio merece una atención cada vez mayor frente al aleatorio. Al aumentar el

número de variables consideradas, muchas de ellas no cuantificables, descendemos en el rigor cuantitativo que exigíamos a la apreciación de la realidad, imponiéndose la combinatoria como base de las técnicas a emplear. Así tenemos, por ejemplo, la aplicación del análisis estructural y el gran desarrollo de la Teoría de Grafos, que permite el empleo de métodos como el llamado «Branch and Bound».

Tendencia 5ª: Todo lo anterior marcha en la dirección de imponer el enfoque sistémico sobre el enfoque parcial. Significa esto que, a partir de ahora, deberá utilizarse el «approach» basado en el concepto de sistema, con el enfoque holístico o global. Este enfoque introduce por el lado de la observación, es decir de los datos, el Análisis Multivariante o Análisis Multidimensional; por el lado de la acción auspicia las técnicas de Análisis Multicriterio [25]; y, finalmente, por el lado instrumental, nos conduce al diseño de sistemas integrados con la implementación informática de algoritmos complementarios, unos generativos (caso de la Programación Matemática), otros evolutivos (caso de la Simulación).

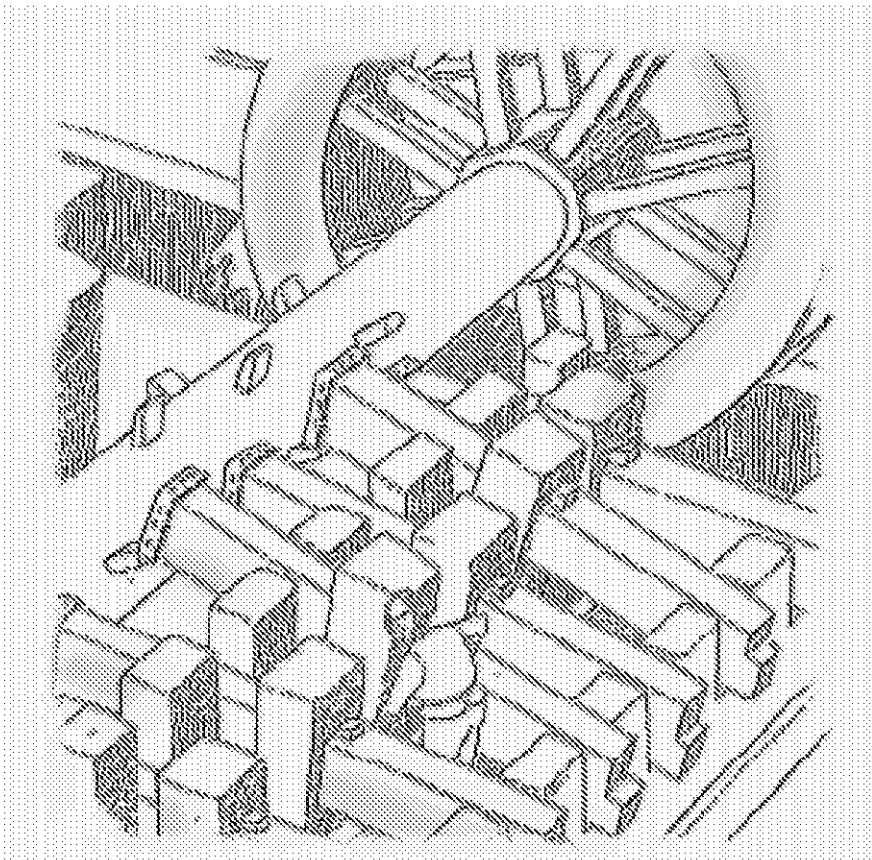
La Investigación Operativa continua pues desarrollándose. Este desarrollo, manifestado en las tendencias señaladas, la relacionan y entrelazan con otras disciplinas [26].

Así ocurre con el Análisis de Sistemas, a través del enfoque sistémico. Y, por otra parte, a través de reducir el rigor de la definición del problema o del sistema que lo representa o del objetivo buscado, con la llamada modernamente Investigación Operativa blanda, o Análisis de Sistemas blandos [27], un ejemplo de la cual son las técnicas del análisis prospectivo.

Ambos Análisis (el de Sistemas y el prospectivo) serán objeto de los próximos capítulos.

4

El Análisis de Sistemas



4.1. El enfoque sistémico

La manera de «aproximarse» a los problemas con criterio sistémico es lo que acostumbramos a llamar «approach» o enfoque sistémico, y ello es el resultado de un deseo, o al menos una actitud, de aprehender el fenómeno o problema a estudiar en toda su amplitud y globalidad.

Veamos un ejemplo, relativamente reciente, en que, faltando el enfoque sistémico, el objetivo buscado fue neutralizado por sus consecuencias nocivas, juzgadas erróneamente como «marginales».

Este es el caso de la construcción de la presa de Assuán, cuyo proyecto, decidido y ejecutado no hace muchos años, fue realizado con un notable esfuerzo y enorme coste, teniendo una serie de nefastas consecuencias que cuestionan muy seriamente su utilidad final.

Gordon R. Taylor las recoge en su libro «El Juicio Final. La pesadilla tecnológica»[28]. Enumeramos, a continuación, las consecuencias más importantes:

1. El hundimiento de la industria sardinera egipcia del Mediterráneo, al ser retenida por la presa la rica carga de limo orgánico que arrastraba el Nilo.
 2. Esta retención del limo supone también que las tierras del valle inferior del Nilo, antes tan fértiles, tienen que ser ahora
-

tratadas con abonos químicos. El gobierno egipcio, en consecuencia, ha debido construir fábricas de fertilizantes que emplean una sustanciosa parte de la energía eléctrica que suministra la presa.

3. El embalse formado, llamado lago Nasser, tiene 320 Km. de longitud y se esperaba llegar a regar con él 800.000 hectáreas de terreno. Pero la evaporación, en el mismo embalse y canales de riego, es tan grande a causa de la elevada temperatura que, en proporción, se dispone ahora de menos agua que antes.
4. La temible enfermedad de la bilharciasis, que acorta la vida a sólo 25 años, y es conocida desde la época de los faraones, se ha extendido espectacularmente por todo el bajo y alto Egipto. Las aguas cálidas y lentas de las zanjas de riego suministran el medio ideal para el desarrollo de los caracoles portadores de la enfermedad, así como de sus larvas, extendiéndola por todas partes a donde la irrigación llega y haciéndolo, además, a lo largo de todo el año, pues las acequias están ahora siempre llenas de agua.
5. La bilharciasis provoca en el hombre un agotamiento y una lasitud extremos, lo que, a la larga, ha hecho disminuir el rendimiento agrícola, en lugar de incrementarlo, como se había previsto, gracias a la presa.

La primera reflexión que hacemos de esta exposición de desastrosas consecuencias es que el ingeniero tiene hoy día medios que, de usarlos, le hubieran permitido medir los efectos no deseables de la construcción de la presa.

Estos medios están basados en el concepto de sistema y parten del principio de que el todo no es la simple suma de las partes. Es una actitud diferente a la basada en los principios reduccionista y causalista del Cartesianismo que han sido la base del pensamiento racional y

cuyo paradigma científico es la llamada Mecánica Racional, donde la reversibilidad es aceptada.

Cuando el determinismo cartesiano, fruto de los anteriores principios, se ha querido aplicar a complejos fenómenos organizativos, ecológicos, sociales o económicos de hoy día, su fracaso, como el caso citado de la presa de Assuán, ha sido rotundo.

Como señalábamos en la Introducción estamos pasando de la Era Industrial o Era de las Máquinas a la Era de los Sistemas, por ello nos permitimos creer que la presa de Assuán no habría sido construida hoy día.

4.2. Origen y definición del Análisis de Sistemas

Hemos empezado hablando del enfoque sistémico, puesto que su empleo conceptual coincide con el del Análisis de Sistemas, primera escuela, a nuestro juicio, de las escuelas sistémicas (dejando a un lado la presentación en público de la Teoría General de Sistemas, hecha por Bertalanffy en 1937 en la Universidad de Chicago).

El Análisis de Sistemas tiene un origen histórico militar, vinculado a la Investigación Operativa. Aparece, finalizada ya la Guerra Mundial, situándose su fecha de origen en 1948 coincidente con la creación de la Rand Corporation como empresa de asesoramiento sin afán de lucro y financiada inicialmente por la Fundación Ford [29].

Durante largo tiempo, y todavía actualmente, el Análisis de Sistemas se aplicó fundamentalmente a sistemas militares, probando, una vez más, el carácter bélico de la utilización primera de las nuevas técnicas.

Se aplicó luego a sistemas físicos y, finalmente, a partir de 1960 aparecen las primeras tentativas de aplicación a sistemas más complejos de tipo social o humano.

Su vinculación con la Investigación Operativa ha hecho que la misma Rand denominase al Análisis de Sistemas como su «hermano» aunque más refinado y amplio.

Por otra parte, el método que emplea es también el método científico. No obstante, a pesar de la analogía metodológica, existen diferencias claras entre la Investigación Operativa clásica y el Análisis de Sistemas que trataremos de concretar en dos aspectos:

- a) La Investigación Operativa clásica pone el acento en la construcción del modelo lógico y matemático, siendo la tarea del investigador el optimizar una función claramente definida, utilizando técnicas de cálculo apropiadas. En esta tarea, las técnicas matemáticas aparecen más como un sustitutivo que como una ayuda a la decisión.

El Análisis de Sistemas, en cambio, admite el análisis y el cálculo solamente como una ayuda al criterio y al discernimiento del decisor. Aporta el enfoque sistémico, es decir, estudia globalmente situaciones complejas, con objetivos en ocasiones mal definidos, una gama amplia de incertidumbres y un elevado número de variables. El Análisis de Sistemas será el instrumento que guiará la reflexión a realizar antes de la decisión, aprehendiendo el problema en toda su globalidad.

- b) El segundo aspecto diferenciador es que, generalmente, el nivel de utilización de la Investigación Operativa es el nivel medio de la jerarquía organizativa, mientras que el del Análisis de Sistemas es el nivel superior, con una dimensión que podríamos decir estratégica y donde las decisiones tienen siempre una componente económica y el análisis coste-beneficio o coste-eficacia se hacen imprescindibles.

Las definiciones del Análisis de Sistemas son generalmente descripciones de su aportación, del tipo siguiente [30]: «*Conjunto de*

estudios analíticos previos que ayudan al responsable a decidir frente a problemas complejos, y al mismo tiempo le determinan una línea de actuación entre varias alternativas de acción posible conducentes a una misma finalidad, con la comparación cuantitativa de criterios apropiados de los costes y ventajas de las soluciones consideradas».

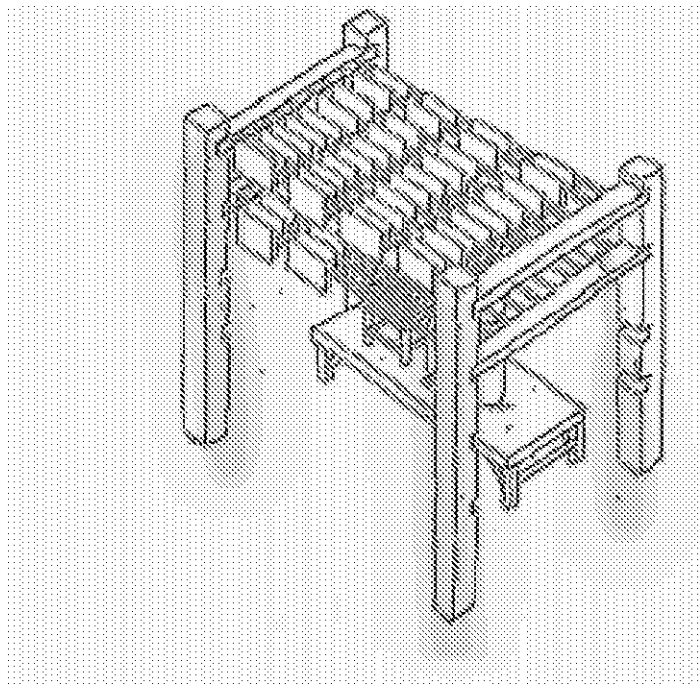
Por otra parte, tanto el enfoque como el análisis sistémico se puede realizar de dos maneras distintas: una cognitiva y otra decisional. Estas dos maneras de «aproximarse» a los sistemas reflejan el doble objetivo de toda la metodología de sistemas: el conocer y el controlar los sistemas mismos.

Por ello, en aras de la simplificación y atribuyendo al Análisis de Sistemas la antigüedad y dimensión que le corresponden, proponemos como definición la siguiente: *«Proceso metódico que permite conocer y controlar los sistemas».*

Veremos en el capítulo siguiente en qué consiste dicho proceso, pero señalamos ahora que sirve igualmente para ambos objetivos y, por tanto, es válido en los dos tipos de enfoque, cognitivo y decisional. (Con un cierto sentido del humor, podríamos decir que la Teoría General de Sistemas, con su objetivo final de unificador de la ciencia [31], se cumple en la propia metodología del Análisis de Sistemas).

5

La metodología del Análisis de Sistemas (sus fases)



Los principales elementos de Análisis de Sistemas fueron señalados en un informe realizado por Charles Hitch a finales de los años 50 para la citada Rand Co. Durante años este informe, conocido por sus siglas RRH (Rand Report Hitch) sirvió de presentación, descripción y definición del Análisis de Sistemas, y es recogido por numerosos estudiosos de esta disciplina [32].

Estos elementos esenciales son los siguientes:

- a) **El objetivo u objetivos.** Lo primero es determinar los objetivos que deseamos alcanzar y señalar hasta qué punto pueden ser alcanzados.
 - b) **Las alternativas técnicas e instrumentalistas** por las cuales los objetivos pueden ser alcanzados. Se trata, en realidad, de los diferentes «sistemas» que dan solución a nuestro problema. El planteamiento es tan amplio que puede tratarse de políticas a seguir o estrategias o empleo de determinados instrumentos o acciones específicas o incluso particulares combinaciones de todo lo anterior.
 - c) **Los «costes» o los recursos** requeridos por cada «sistema». La utilización de los recursos necesarios para cada alternativa implica unos costes y un beneficio o ventaja medible en la mayor o menor consecución del objetivo buscado. Los costes deben entenderse en sentido amplio, no siempre traducible
-

a términos monetarios, como pueden ser riesgos a asumir, pérdidas en vidas humanas, costes sociales, etc.

- d) **El modelo o modelos matemáticos.** Se trata del conjunto de ecuaciones matemáticas que representa la interdependencia entre los objetivos, las alternativas técnicas o instrumentalistas, los recursos y el entorno. Este entorno deberá estar representado en el modelo de tal manera que, en su contexto, que puede ser variable, se puedan calcular los costes del sistema o el consumo de recursos para cada alternativa diferente.
- e) **El criterio o criterios** que relacionan y tratan de medir objetivos y costes o recursos empleados para poder escoger la alternativa óptima o, al menos, preferida. El criterio más comúnmente usado en el Análisis de Sistemas es el de coste/beneficio o de coste/eficacia, hasta el punto que este criterio se ha identificado, en ocasiones, con el propio Análisis de Sistemas.

La debida articulación de estos elementos da lugar a un proceso secuencial, propio del Análisis de Sistemas.

Este proceso se presenta en siete fases que, en ocasiones, son agrupadas, pero sin perjuicio de su secuencia que siempre es la misma.

Estas fases son las siguientes:

1. Formulación.
 2. Exploración.
 3. Comprensión.
 4. Concepción.
 5. Evaluación.
 6. Interpretación.
 7. Selección.
-

La más habitual de sus agrupaciones posibles es la que se lleva a cabo de dos en dos fases, resultando 3 etapas que reciben las denominaciones de Definición, Modelización y Evaluación. (Figura 4).

En la etapa de **Definición** se trata de precisar el entorno y los límites del problema y de concretar los objetivos a alcanzar, buscando los caminos lógicos que los definen e identificando sus componentes esenciales. Se desarrolla normalmente según una estructura de programas que convergen hacia esos objetivos (fases de formulación y exploración).

En la etapa de **Modelización**, de carácter eminentemente analítica, se recogen las informaciones necesarias para comprender el funcionamiento del sistema, buscando a continuación las soluciones alternativas que permitirán realizar los objetivos asignados (fases de comprensión y concepción).

ETAPAS	FASES
DEFINICIÓN	* FORMULACIÓN * EXPLORACIÓN
MODELIZACIÓN	* COMPRENSIÓN * CONCEPCIÓN
EVALUACIÓN	* EVALUACIÓN * INTERPRETACIÓN * SELECCIÓN

Figura 4 - ETAPAS DEL ANÁLISIS DE SISTEMAS -

Finalmente, en la etapa de **Evaluación**, se trata de valorar dichas alternativas, presentándose el resultado bajo una forma que facilite a los responsables la toma de decisiones. Es, en resumen, una etapa de agregación (fases de evaluación, interpretación y selección).

Esta agrupación por etapas nos lleva al método científico expuesto en el capítulo anterior, al tener en cuenta los resultados obtenidos de cada etapa: La definición del sistema, el modelo y la solución, que constituían los tres arcos de puente que nos llevaban del problema a la solución. Y es que, como ya hemos dicho, el Análisis de Sistemas sigue al igual que su «hermana mayor» la Investigación Operativa el método científico, con las características diferenciadoras ya expuestas.

A lo largo de su desarrollo el Análisis de Sistemas procede por iteración. Bajo ese punto de vista el propio proceso constituye un sistema en el que las salidas de cada fase hacen reconsiderar las entradas y en el que, por iteraciones sucesivas, nos aproximamos gradualmente al resultado buscado.

En la Figura 5 G. Latière [30] expone claramente la existencia de los bucles en que se basan las iteraciones y que obligan al analista de sistemas a trabajar en continuo contacto con el decisor, en caso de no coincidir ambos personajes.

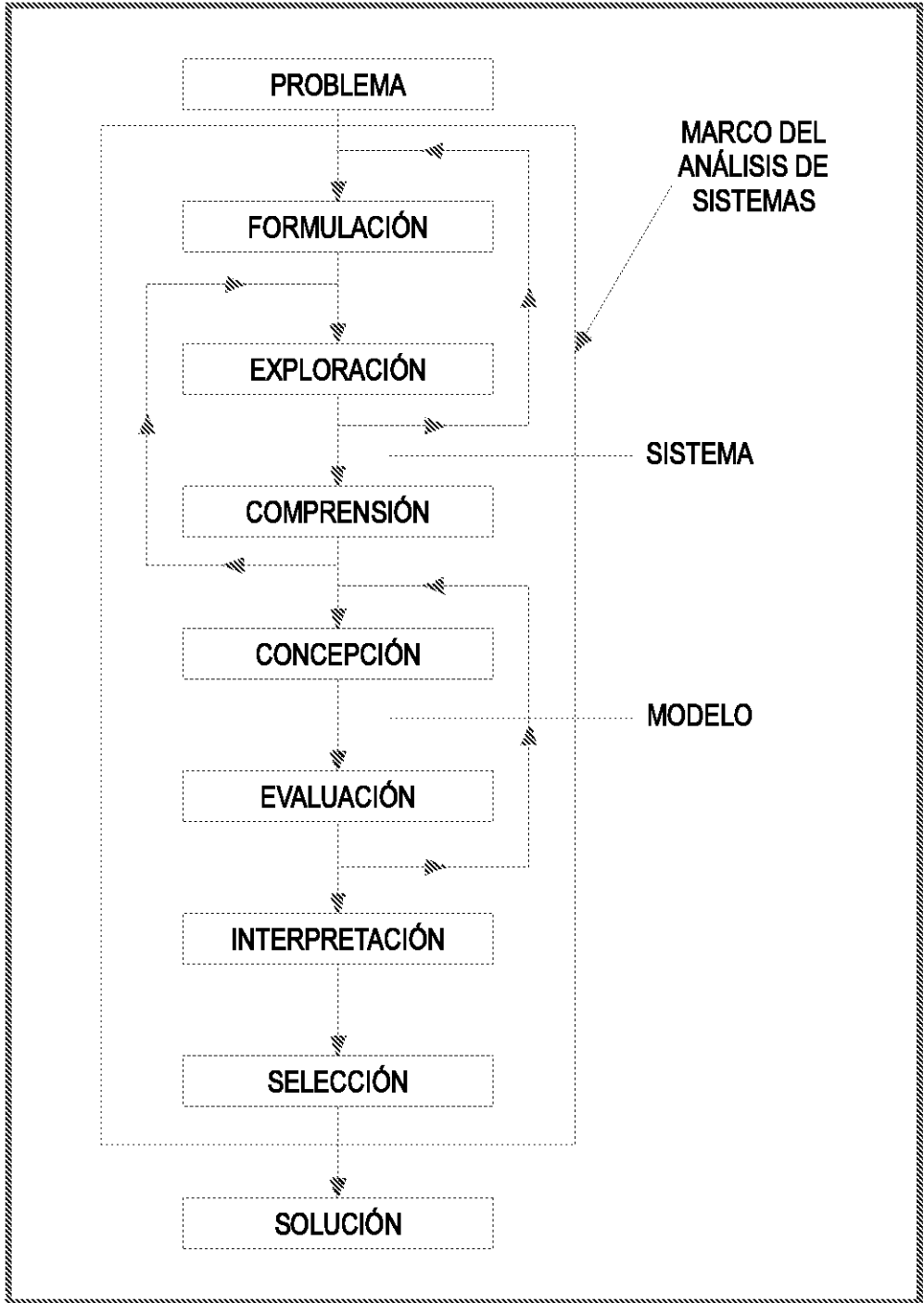
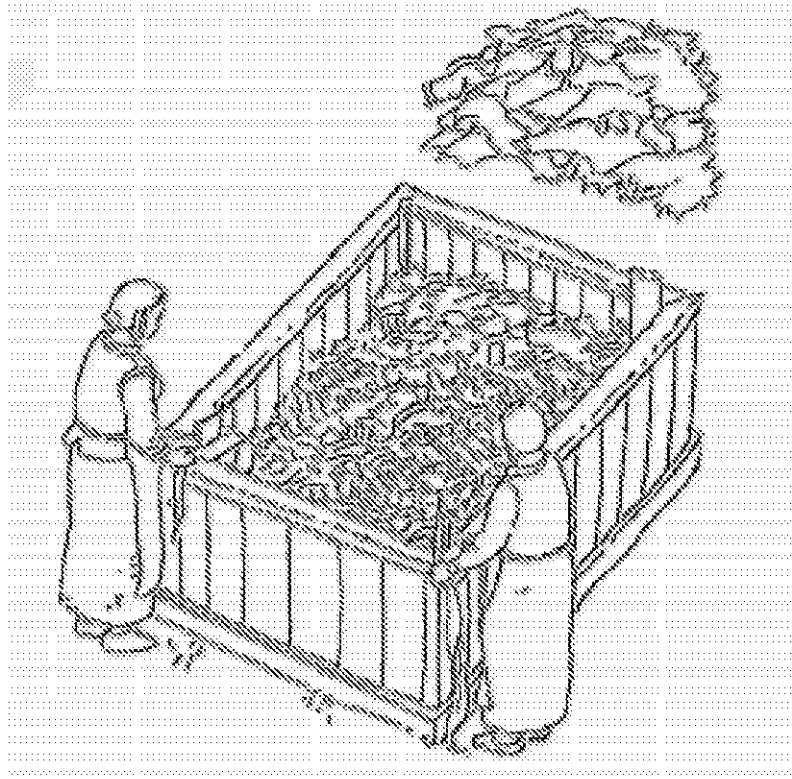


Figura 5 - FASES E ITERACIONES DEL ANÁLISIS DE SISTEMAS -

6

Las técnicas auxiliares del Análisis de Sistemas



En el Análisis de Sistemas se debe distinguir entre el cuadro metodológico, expuesto en el anterior capítulo, y el conjunto de sus técnicas auxiliares. Es importante hacer bien esta distinción y no caer en la tentación de querer reducir lo que es una actitud intelectual que marca las pautas de una metodología a un conjunto de técnicas más o menos sofisticadas, algunas de ellas desarrolladas a la sombra de esta actitud.

Para ello, lo más clarificador es asociar estas técnicas a cada una de las fases del Análisis de Sistemas, pues se destaca así su aportación, principalmente instrumental. En la Figura 6, esquematizamos las fases y presentamos las técnicas auxiliares a ellas asociadas:

- A la fase 1. **Formulación** se asocian: El análisis estructural, y el Análisis Multidimensional de datos.
 - A la fase 2. **Exploración**: Los análisis exploratorios, los estudios de viabilidad y los estudios prospectivos.
 - A la fase 3. **Comprensión**: Los estudios de situación, y los estudios sobre modelos con ayuda de la Simulación.
 - A la fase 4. **Concepción**: Las técnicas de ayuda a la creatividad (Brainstorming, Sinéctica, Método Morfológico, Árbol de Relevancia, etc.).
-

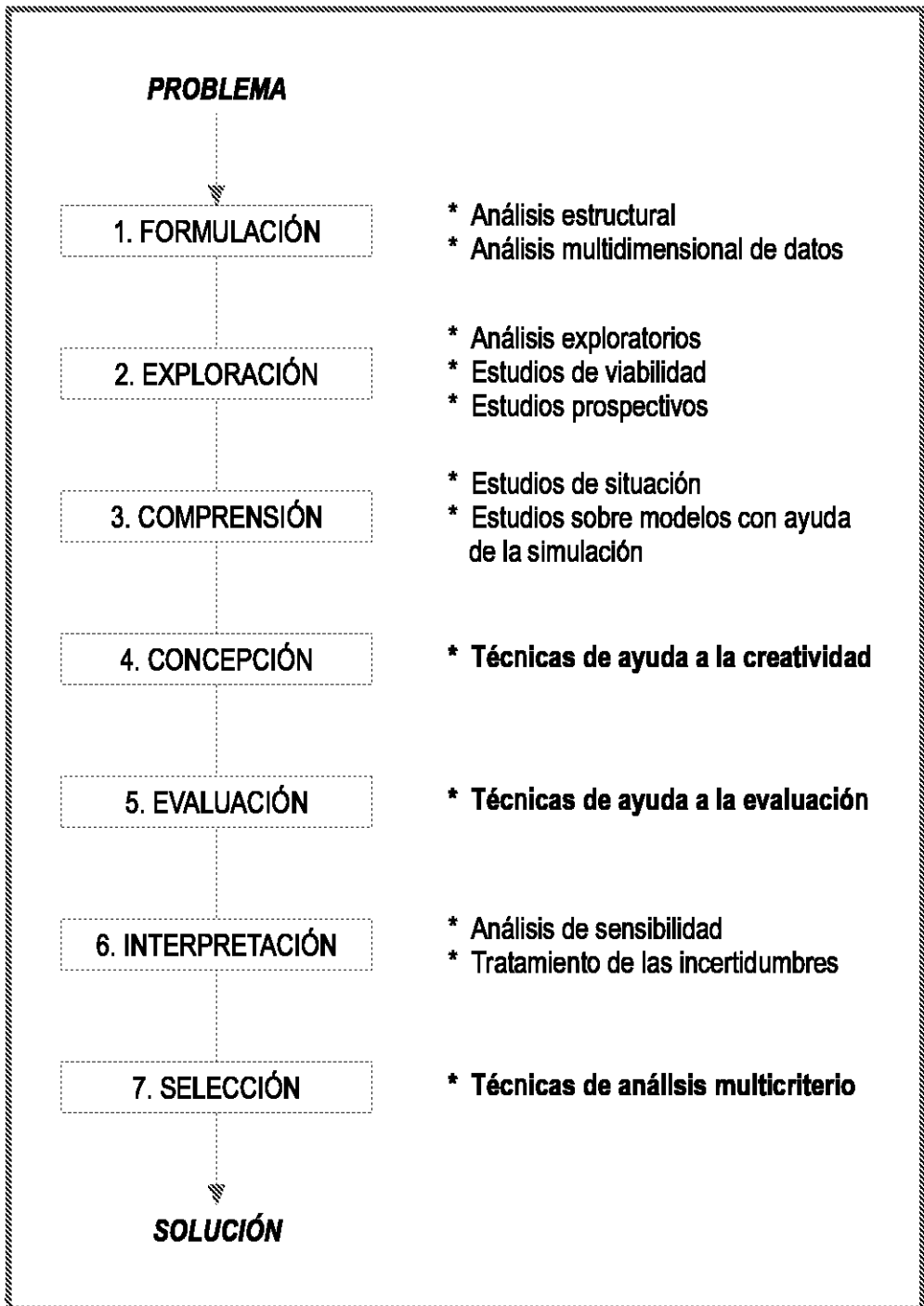


Figura 6 - TÉCNICAS AUXILIARES DEL ANÁLISIS DE SISTEMAS -

- A la fase 5. **Evaluación:** Las técnicas de ayuda a la evaluación, (método de los escenarios, estudio sobre modelos con ayuda de la Simulación, análisis coste/eficacia, método Delphi, etc.).
- A la fase 6. **Interpretación:** El tratamiento de las incertidumbres y el análisis de sensibilidad.
- A la fase 7. **Selección:** Las técnicas de Análisis Multicriterio como los métodos ELECTRE y el CPE.

De las técnicas auxiliares indicadas, vamos a referirnos a dos grupos de ellas: las de ayuda a la creatividad y las de ayuda a la evaluación.

Otro grupo de gran interés es el de las técnicas de Análisis Multicriterio que aparecen en la 7ª fase, pero al ser objeto de la monografía nº 14 [33], nos remitimos a ella y, muy particularmente al método ELECTRE, en ella recogido.

Los citados grupos de técnicas son, a nuestro juicio, los que más se han desarrollado últimamente, presentando además un interesante aspecto de originalidad porque han permitido abordar problemas cuya solución, hasta hace poco, no se podía acometer.

6.1. Técnicas de ayuda a la creatividad

Veremos rápidamente las cuatro más conocidas [34]:

1) El «Brainstorming»

Es una técnica de grupo que pretende hacer producir a un conjunto de personas (una decena) un máximo de ideas. Parte del principio de que la creatividad del grupo es superior a la suma de las creatividades individuales.

Existen tres clases de Brainstorming:

- Brainstorming directo, orientado hacia la búsqueda de ideas positivas.
- Brainstorming inverso, orientado hacia la búsqueda de ideas negativas, objeciones, críticas, etc.
- El método Gordon, en el cual el animador del grupo es el único que conoce el tema exacto de investigación. Ha sido puesto a punto por el equipo de Arthur D. Little.

Obtenida una gran cantidad de ideas, se busca la calidad entre ellas, cuando ya está más avanzado el trabajo de la imaginación.

2) La «Sinéctica»

Contrariamente al «Brainstorming» tiene por objeto encontrar ideas totalmente nuevas, dando más importancia a la calidad de las mismas que a la cantidad.

Para ello se reúnen durante varias horas un grupo de unas seis personas de especialidades diferentes, a las cuales se les ha enseñado anteriormente a adoptar una manera de pensar original. El mecanismo utilizado es de naturaleza metafórica.

3) El Método Morfológico

Fue puesto a punto en 1942 por el astrónomo del Instituto Tecnológico de California Zwicky. Trata de enumerar todas las soluciones de un problema, por la descripción exhaustiva de sus parámetros y sus especificaciones fundamentales.

A continuación se trataría de evaluar todas las soluciones con objeto de seleccionar el sistema o sistemas a realizar.

4) El Árbol de Relevancia

Se trata de un método de razonamiento y de representación esquemática que, aunque no es nuevo, ha tenido últimamente un importante desarrollo.

Esta técnica consiste en efectuar un análisis sistemático de las relaciones existentes entre elementos pertenecientes al sistema, efectuando a continuación, con la ayuda de la Teoría de Grafos, su representación lógica y jerarquizada.

Esta representación recibe el nombre de árbol de relevancia, estructura de árbol, grafo de apoyo, grafo de pertinencia, arborescencia, etc.

La técnica Arbol de Relevancia es la base de otras numerosas técnicas más sofisticadas, como son el método PATTERN y el método C.P.E. (del Centro de Prospectiva y Evaluación del Ministerio de Defensa francés), el método SCORE (desarrollado por North American Aviation para la programación de la investigación) y las técnicas de control presupuestario Tipo PPBS (que implantó MacNamara en el Departamento de Defensa americano, extendiéndose luego a toda la Administración).

6.2. Técnicas de ayuda a la evaluación

Examinemos las técnicas que contribuyen a dar solución al problema de la evaluación, que siempre ha de preceder a toda selección.

1) Método de los «escenarios»

Concebido por H. Kahn, del Hudson Institute, este método trata de mostrar cómo se puede llegar -partiendo de una

situación conocida y a través de una secuencia lógica de sucesos razonables- a una probable situación futura.

De este método hablaremos más extensamente en los próximos capítulos.

2) El estudio sobre modelos. La Simulación

Esta técnica trata de resolver la imposibilidad, en la mayoría de los fenómenos socio-económicos, de experimentar directamente sobre la realidad, haciéndolo entonces sobre modelos matemáticos concebidos a tal fin. La utilización experimental de dichos modelos es lo que constituye la Simulación (la Simulación de sistemas discretos ha sido objeto de la monografía de la serie nº 12) [35].

Con esta técnica se puede, al hacer variar determinados parámetros en cada experiencia, seleccionar aquellas «políticas» de entre las que son simuladas que más nos convengan según un criterio cuantitativo previamente fijado.

Por lo general, es imprescindible el empleo de ordenadores, señalándose también que la Simulación es más que una técnica de «evaluación», pudiendo hacerse uso de ella en otras fases del análisis de sistemas, como, por ejemplo, en la de «comprensión».

Este papel múltiple que ejerce la Simulación en el Análisis de Sistemas, particularmente en sus fases de comprensión y de evaluación/interpretación, no hace más que reflejar su participación, como técnica auxiliar, en la doble vocación del Análisis de Sistemas: el conocer y el controlar los sistemas.

Por otra parte, esta técnica ha sido enormemente potenciada con la denominada Simulación Visual, que aporta la creciente

sofisticación de un hardware y un software específicos que nos permiten, no sólo la representación visual del entorno y de las diversas alternativas o sistemas, sino también la posibilidad de la animación en un mundo tridimensional creado sintéticamente, así como el tratamiento de todo tipo de vicisitudes, con la evaluación de sus consecuencias sobre las distintas alternativas.

Todo ello nos introduce en un auténtico mundo virtual (realidad virtual), lleno de enormes posibilidades y que, como se observa en la Figura 7, nos «devuelve» al modelo físico (que se encontraba frente al modelo matemático), con la sensación, en el caso de la realidad virtual, de encontrarnos inmersos en la experimentación real.

3) Los análisis coste/eficacia

Se trata en este tipo de análisis de evaluar cada una de las diferentes alternativas, basándonos en la estimación de dos aspectos de sumo interés: el coste y la eficacia.

Las dificultades del método residen en la definición, estructura y determinación precisa de los mismos [36]. La monografía nº 15 que estudia el coste del ciclo de vida de los sistemas, expone con detalle los análisis de coste/eficacia.

Otros factores incidentes en los estudios de coste/eficacia son la consideración del tiempo y de la incertidumbre y el riesgo de error que acompañan a todas las estimaciones. El recurso a la Teoría de la Decisión estadística es entonces necesario.

6.3. El método Delphi

El método Delphi lo hemos presentado dentro de las técnicas de evaluación, pero, al estar en los orígenes de la metodología

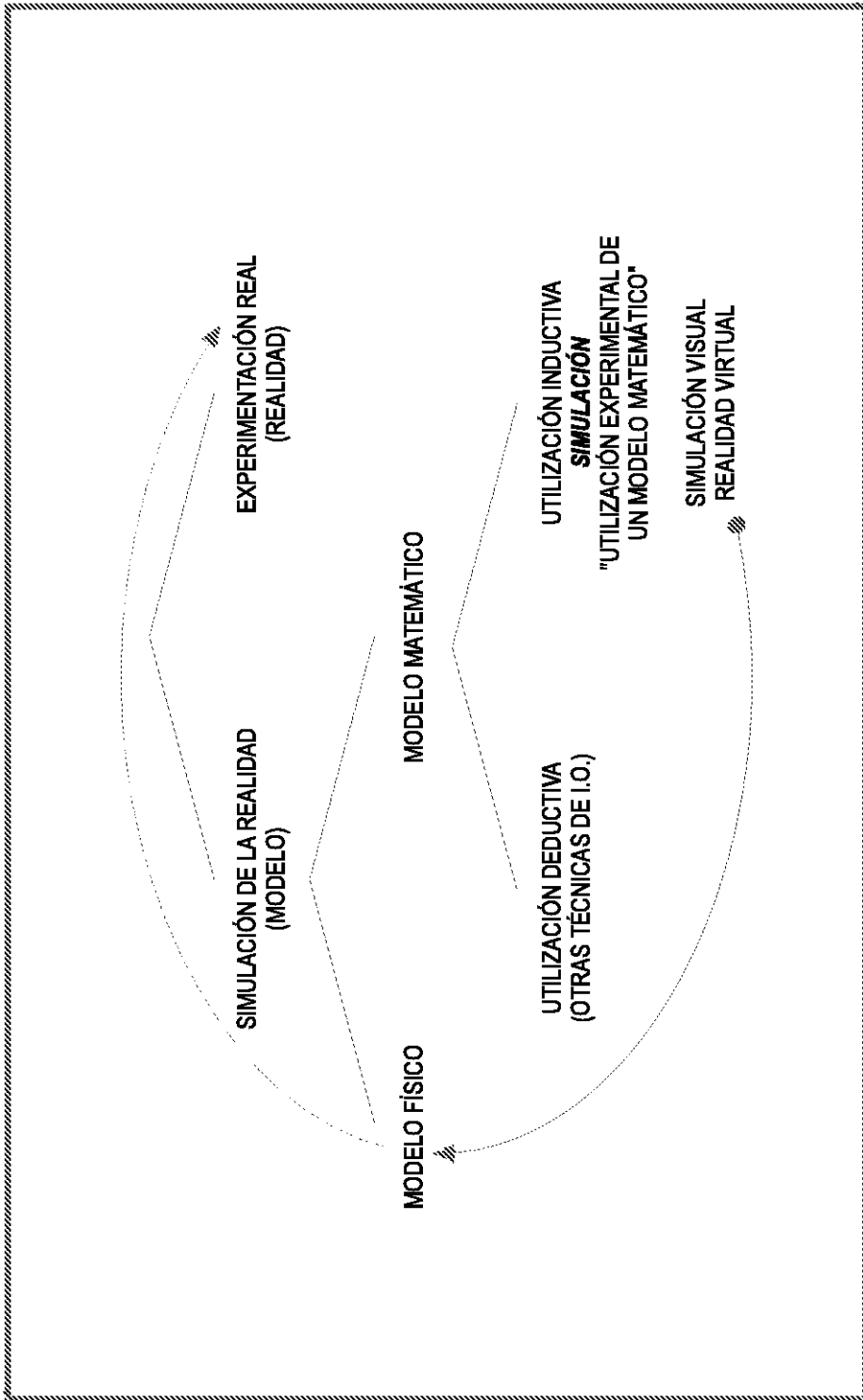


Figura 7 - LA SIMULACIÓN -

prospectiva de los Impactos Cruzados, que veremos en el capítulo 8, creemos de interés extendernos y profundizar un poco más en él.

El método fue puesto a punto por Olaf Helmer y T.J. Gordon [37] en el seno de la Rand Co. a principios de los años 60. Rompía con la tendencia del momento de aprovechar la creatividad del grupo (como ya vimos en las técnicas de ayuda a la creatividad), pues se trataba de interrogar individualmente a una selección de personas, con el objeto de evaluar, vía estimación subjetiva, probabilidades o fechas de acaecimiento de sucesos.

Las características del método Delphi según Dalkey [38] son las siguientes:

- 1) **Anonimato en las respuestas.** La opinión de los miembros del grupo se obtiene por medio de un cuestionario formal, siendo consultados a distancia y garantizándoles el anonimato.
- 2) **Iteración controlada.** El método consiste en una secuencia de procesos iterativos en los que el resultado de cada uno de ellos sirve de información al siguiente.
- 3) **Respuesta estadística del grupo.** La opinión del grupo se define como una agregación conveniente de las opiniones individuales. Calculándose una medida de posición central (la mediana) y otra de dispersión (el espacio intercuartílico).

Al igual que en otras técnicas de evaluación subjetiva, en el método Delphi actúan dos grupos: el grupo de expertos, que son las personas consultadas a distancia y el grupo de analistas, que analiza las respuestas y realiza la evaluación buscada.

El grupo de expertos tiene por misión la elaboración de estimaciones, mediante un proceso de razonamiento, que poste-

riormente será contrastado, corregido y completado en fases sucesivas de estimación por medio de un encuestamiento activo.

Formarán el grupo de expertos personas que posean un conocimiento de la estructura del sistema en estudio, conocimiento que implicará una capacidad de anticipación al cambio, en la evolución del mismo.

Por otra parte, los analistas tienen por misión controlar el proceso de confirmación del juicio de los expertos, sin introducir en el mismo ningún sesgo.

Sus funciones son:

- Estructuración de los cuestionarios.
- Formulación de las preguntas, con visita personal al encuestado a partir de la segunda iteración.
- Recensión de las respuestas.
- Análisis de las respuestas en sus diferentes etapas: analítica, explicativa y sintética o agregativa.
- Redacción del informe final, con la presentación de datos, esquemas analíticos y sintéticos e interpretación.

El proceso del método Delphi es, como ya hemos dicho, de naturaleza iterativa con una sucesión de etapas, en las cuales el resultado de la etapa precedente se comunica a los expertos como medio de disminuir la dispersión de las opiniones individuales. Su objetivo es pues obtener y precisar evaluaciones.

Cada una de estas etapas consta de los cálculos siguientes:

- Normalización de las respuestas.
-

- Cálculo de la mediana del grupo.
- Cálculo del espacio intercuartílico.

La representación de la distribución de las respuestas normalizadas se ajusta con frecuencia a una curva logarítmico-normal (Figura 8).

Esta distribución expresa que el dominio de variación de las respuestas es muy grande. La dispersión de respuestas viene medida por la distancia intercuartílica (Q_1, Q_3) que agrupa las respuestas del 50 por cien de los expertos.

A lo largo del proceso iterativo, en ciertos casos se van acercando las respuestas al valor de la mediana, llegando a una convergencia, que se considera realizada cuando las respuestas obtenidas en un momento determinado se encuentran en el espacio intercuartílico anterior.

A pesar de su sencillez el método tuvo un enorme éxito desde sus inicios. Su carácter de indefinición lo califica como una técnica SSM o correspondiente a la Metodología de Sistemas Blandos [39].

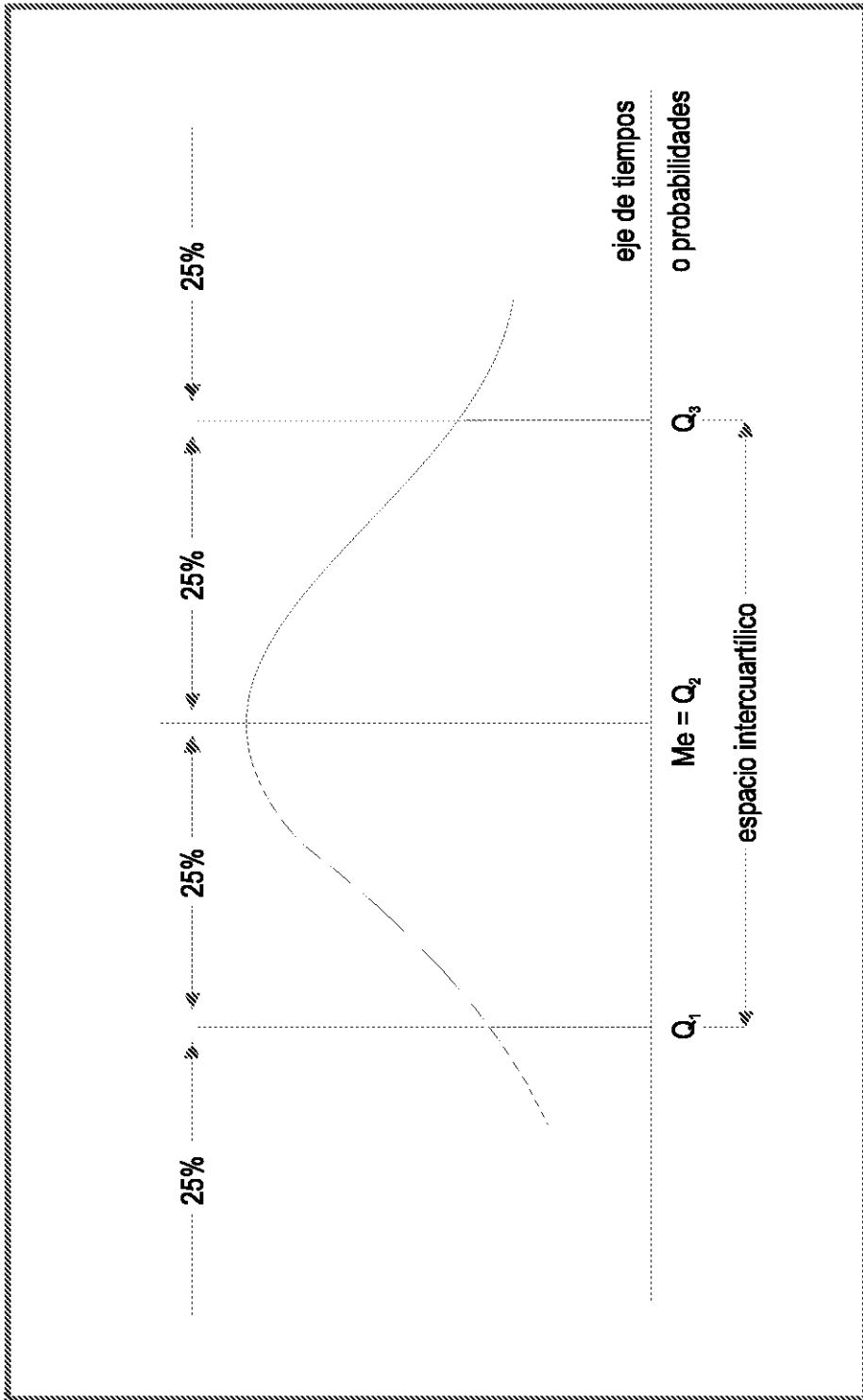
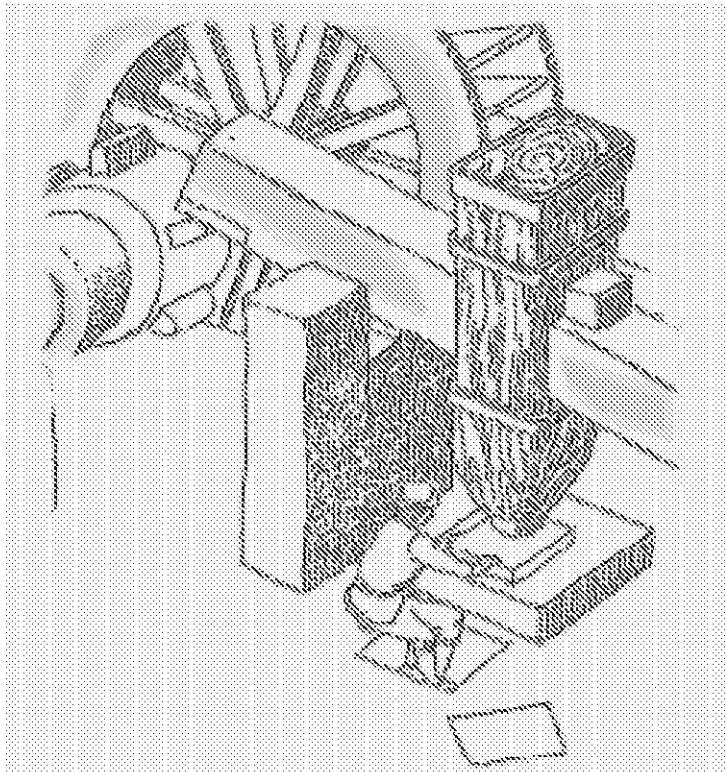


Figura 8 - EL MÉTODO DELPHI -

7

El Análisis de Sistemas en los estudios prospectivos



7.1. La Prospectiva y la actitud prospectiva

Generalmente se considera a Bertrand de Jouvenel como padre de la Prospectiva, a la que definió como disciplina encargada de la «exploración de los futuribles» en su famoso libro, publicado en 1965, «L'Art de la Conjecture». (El concepto futurible aparecía como contracción de las palabras futuro y posible).

A pesar del desarrollo que ha experimentado en los últimos años la Prospectiva y su metodología y de las múltiples aportaciones conceptuales a ella incorporadas, sigue siendo válida la definición de Jouvenel. Esto es debido a que en ella se recoge lo más importante de la Prospectiva, que es la actitud activa frente al futuro.

La actitud activa está supuesta en la exploración de los futuros posibles [40], por oposición a la actitud pasiva (a lo sumo adaptativa) que correspondía al concepto de esperanza matemática, ya citado en la Sección 3.1 como base de la previsión clásica y enunciado por Bernouilli 250 años antes en un libro con un título similar al de Jouvenel: «Ars Conjectandi».

Esta actitud activa frente al futuro, propia de la Prospectiva, parte del principio de que el futuro no puede predecirse, pues no está predeterminado y que, básicamente, a lo que debemos aspirar es a configurarlo.

Es decir, es la postura contraria a la idea del fatalismo, para el cual los hechos del futuro tienen la misma entidad que los del pasado. Están ahí, ocultos, y sólo falta adivinarlos o descubrirlos o, fatalmente, esperar a que sucedan. El futuro, para el fatalismo, es ignorado; en cambio, para la Prospectiva el futuro es, simplemente, incierto.

En resumen, la Prospectiva nace por el deseo de las sociedades contemporáneas de ser protagonistas de su futuro, pasando de una actitud pasiva o adaptativa, que generaba la Previsión cuantitativa clásica, a otra activa y creativa frente a su propio porvenir.

La actitud prospectiva es definida por Gaston Berger [41] como un «etat d'esprit» ejercido sobre cuatro pilares:

- Ver a lo lejos.
- Ver con amplitud.
- Analizar en profundidad.
- Hacerlo de una manera aventurada.

El primer pilar implica el largo plazo, que es donde la Prospectiva tiene su campo de actuación.

El segundo supone el análisis global e interdisciplinario propio del enfoque sistémico que, como varias veces hemos apuntado ya, se hace imprescindible ante la complejidad del futuro.

El tercero (analizar en profundidad) exige el empleo de criterios y métodos racionales que, con base científica, alejan la Prospectiva de la adivinación.

Por último, el cuarto principio supone el uso fructífero y creativo de la imaginación que debe acompañar a todo análisis prospectivo (Recordemos el famoso slogan «L'imagination au pouvoir», el más impactante «graffiti» de las revueltas estudiantiles de mayo del 68, un año después de la publicación del libro de Berger «L'Attitude Prospective»).

7.2. Previsión versus Prospectiva

La inquietud por la concreción conceptual de la Prospectiva en los años 60 es acompañada por las primeras aplicaciones de una metodología emergente, principalmente en los Estados Unidos. No obstante, es en la década de los 70 cuando llega el auge de la Prospectiva, al manifestarse como insuficientes las técnicas de la Previsión cuantitativa [42].

Literariamente podemos decir que la Previsión cuantitativa consiste, en primer lugar, en observar el pasado buscando en él algo cuantitativamente invariante, para, a continuación, postular su permanencia en el futuro. (Lo invariante puede ser de carácter superficial, como una tasa de crecimiento, o algo más profundo, como la matriz de coeficientes técnicos de una tabla INPUT-OUTPUT).

Naturalmente, los estudios de previsiones cuantitativas se han realizado desde hace mucho tiempo, pero es en la segunda mitad de este siglo (digamos que a partir de la 2ª Revolución Industrial) cuando, al hacerse el mundo tecno-económico más complejo, la necesidad de prever se convirtió en una componente muy importante de la fe en el futuro. Pertenece la Previsión al mundo de la Investigación Operativa y su campo de actuación es el campo aleatorio.

Pues bien, la crisis del petróleo iniciada en el 73/74 cogió de sorpresa a todas las autoridades responsables de la Economía occidental. Por ejemplo, las decisiones que, en materia de energía, fueron adoptadas durante 1972 en la vecina Francia (cuna conceptual de la Prospectiva), se hicieron sobre la base de que el precio del crudo petrolífero seguía una tendencia al descenso, prevista, al menos, hasta el quinquenio 1980/85.

Si nos atenemos al caso español, en el Tercer Plan de Desarrollo, a realizar entre los años 1972 y 1975, no había la menor referencia a la crisis que, durante él, tendría lugar. Incluso en el non-nato, pero sí conce-

bido y redactado, Cuarto Plan, previsto para el período 1976-1979, cuesta trabajo encontrar alguna mención al punto de rotura o inflexión de las tendencias del momento.

Todo esto hizo bascular la expresión de «previsión necesaria» a «previsión insuficiente», poniendo de manifiesto la necesidad de complementar el uso de las técnicas de Previsión con las de la Prospectiva y su metodología.

Puntualizamos, a continuación, cuál es la aportación complementaria que realiza la Prospectiva a la Previsión cuantitativa (Figura 9):

- Como dijimos, el enfoque prospectivo es sistémico o global, mientras que el de la Previsión es parcial, basándose en el «ceteris paribus» (lo demás permanece constante).
 - Las variables consideradas en los estudios prospectivos son cuantitativas o cualitativas y de apreciación objetiva o subjetiva. En la Previsión las variables son de carácter cuantitativo y siempre de apreciación objetiva.
 - Las relaciones entre las variables se consideran, en la Prospectiva, de tipo evolutivo (nacen, se transforman, desaparecen). Por el contrario, en la Previsión, son relaciones fijas.
 - Para la Prospectiva el futuro es plural e incierto. Para la Previsión, uno y cierto.
 - La actitud Prospectiva, como ya hemos dicho, es activa y creativa, y busca el futuro deseado. Por el contrario, la actitud, en la Previsión, es pasiva y se adapta a un futuro por venir.
 - En Prospectiva se dice que «el futuro es la razón de ser del presente», es decir, el futuro buscado justifica las decisiones
-

	PREVISIÓN CUANTITATIVA (METODOLOGÍA DURA)	PROSPECTIVA (METODOLOGÍA BLANDA)
VISIÓN	PARCIAL	GLOBAL (ENFOQUE SISTÉMICO)
VARIABLES	CUANTITATIVAS OBJETIVAS	CUANTITATIVAS, CUALITATIVAS SUBJETIVAS
RELACIONES	FIJAS	EVOLUTIVAS
FUTURO	UNO Y CIERTO	PLURAL E INCIERTO
ACTITUD	PASIVA, ADAPTATIVA	ACTIVA, CREATIVA
EXPLICACIÓN	EL PASADO EXPLICA EL FUTURO	EL FUTURO ES LA RAZÓN DE SER DEL PRESENTE
MÉTODO	* MODELOS CUANTITATIVOS * MODELOS ECONOMÉTRICOS	* MODELOS CUALITATIVOS (ANÁLISIS ESTRUCTURAL) * ANÁLISIS INTENCIONAL X-I, DELPHI

Figura 9 - COMPARACIÓN ENTRE PREVISIÓN Y PROSPECTIVA -

tomadas en el presente. En cambio, en la Previsión «el pasado explica el futuro».

- Por último, las técnicas que constituyen la metodología prospectiva se apoyan en el análisis estructural, en modelos cualitativos, en métodos intuitivos (tipo Impactos Cruzados y Delphi) y en el análisis intencional. En la Previsión, las técnicas se basan o en el análisis aislado de series (como son los métodos de medias móviles, alisados exponenciales, descomposición temporal de series, análisis espectral, métodos Box-Jenkins y cadenas de Markov) o en las relaciones entre variables (análisis de elasticidades, correlación y regresión, métodos causales deterministas y modelos econométricos).

La Previsión cuantitativa clásica comprende un conjunto de técnicas como ya hemos dicho propias de la Investigación Operativa; en cambio, las técnicas de la Prospectiva podemos encuadrarlas, por todo lo arriba recogido, en el marco del Análisis de Sistemas blandos, o, según el léxico de Checkland, en el de la Metodología de Sistemas Blandos (Soft Systems Methodology).

Por otra parte, existe una idea de complementariedad de los dos conjuntos de técnicas, de manera que los modelos de previsión son utilizados en un determinado marco de hipótesis, fijado previamente por un estudio prospectivo. Es decir, el auge de la Prospectiva no debe conducirnos a rechazar la cuantificación, pues los resultados cifrados de los modelos matemáticos y econométricos son indispensables para los decisores que quieran apreciar las consecuencias de determinadas acciones.

Lo que ocurre es que esas acciones serán tomadas dentro de un marco de hipótesis determinado. Y a ese marco de hipótesis coherentes es a lo que denominamos escenario, y lo proporciona el análisis prospectivo.

Con este mecanismo, que ha sido llamado por algunos autores «la nueva previsión», se resuelve un problema de racionalidad planteado por las dos escuelas que, en Estados Unidos, son las elaboradoras de las técnicas de prospección del futuro.

En la costa atlántica se encuentra la escuela del MIT con Forrester a la cabeza, padre de la Dinámica de Sistemas [43]. Esta escuela usa modelos cuantitativos pero muy sofisticados que, basados en la experimentación, buscan la componente tendencial del fenómeno estudiado.

En la otra costa, la del Pacífico, se encuentran la Rand Corporation (creadora, como hemos visto, del Análisis de Sistemas) y el Centro de Investigación de Stanford (el SRI). En ellos, equipos dirigidos por Hassan Ozbekam, Olaf Helmer y T.J. Gordon han puesto a punto técnicas que, partiendo de juicios de opinión (es decir, apreciaciones subjetivas) y basándose, por tanto, en la intuición, tratan de encontrar el factor sorpresa, ruptura o cambio.

El primer informe al Club de Roma, «Los límites del crecimiento» (1972), fue elaborado con las técnicas de la escuela atlántica y redactado por el matrimonio Meadows, discípulo de Forrester. En cambio, el segundo, que lleva por título «La humanidad ante la encrucijada» (1974) [44] emplea un juego de escenarios propios de la escuela del Pacífico. A partir de entonces se puede decir que gran parte de los informes al Club de Roma utilizan la «nueva previsión» al experimentar, en un marco prospectivo, con los modelos representativos de los sistemas que estudia.

Volviendo a la definición inicial de Bertrand de Jouvenel, subrayamos lo ya dicho: que la expresión «exploración de los futuribles» sigue siendo válida en la acepción actual de la Prospectiva y acorde con su metodología.

Efectivamente, la metodología surgida no va en contra de esta definición, sino que lo que ha permitido es cerrar el abanico de todos los futuros posibles (siempre enormemente alto), dejándolo reducido a

los futuros probables, para, entre estos, poder escoger el más favorable, de acuerdo con nuestro sistema de valores (Figura 10).

Después, ya no nos quedaría más (ni menos) que influir en los que llamamos, en Prospectiva, los actores, es decir, los decisores, para que tomen las acciones conducentes a ese futuro querido o, al menos, las que evitarían los futuros no deseados.

7.3. El método de los escenarios

Para la marcha prospectiva (Figura 10), que nos permite ir de «lo que será» (los futuros posibles o futuribles) a «lo que puede ser» (los futuros probables o futurables), y luego entre ellos escoger «lo que debe ser» (futuro preferido o futurido entre los probables), existen técnicas elaboradoras de escenarios, que ayudan además a jerarquizarlos por su probabilidad.

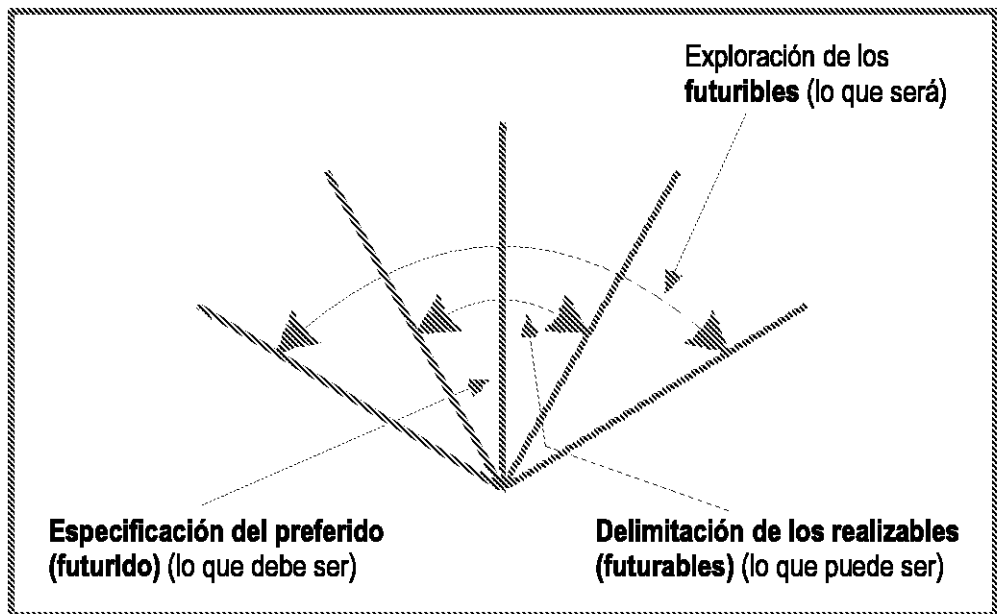


Figura 10 - LA APROXIMACIÓN PROSPECTIVA -

Bastará, pues, reducir la exploración a aquellos escenarios más probables, identificando los futuros con sus escenarios representativos [45]. La definición completa de escenario así nos lo permite: «Se entiende por escenario *el conjunto formado por la descripción de una situación futura y el encaminamiento coherente de sucesos que, partiendo de la situación actual, nos hace llegar a esa situación futura*». (Esta definición detalla lo que más arriba hemos querido decir por marco futuro de hipótesis coherentes e incorpora claramente la actitud activa propia de la Prospectiva).

A este respecto, conviene recordar que, aunque se considera como padre del método a H. Kahn, la palabra escenario fue traída a la Prospectiva por Erich Jantsch, autor del interesante libro «Technological Forecasting» [46] y gran aficionado al teatro. Lo hacía con el significado que tiene en francés «scenarío», es decir, argumento o guión. En ese sentido debemos usarlo en Prospectiva. No se trata, pues, de un «decorado» posible en que nos vamos a desenvolver en el futuro, sino de un verdadero «argumento» que nos lleva, de una manera coherente, del presente a una determinada situación futura.

Existen dos tipos fundamentales de escenarios: los exploratorios y los de anticipación.

Los escenarios exploratorios describen, a partir de la situación presente y de las tendencias actuales, una relación de sucesos que conducen de una manera lógica y coherente a un futuro «tendencial».

En cambio, en los escenarios de anticipación, su punto de partida es la imagen de un futuro posible y deseable, descrito por un conjunto dado de objetivos a realizar, dentro de una determinada escala de valores. Su punto de llegada es la situación actual (estos escenarios son, por esencia, los verdaderos escenarios prospectivos).

Es decir que los exploratorios van del presente al futuro, mientras que, los de anticipación realizan el camino inverso.

Estos dos grandes tipos de escenarios engloban otras diversas categorías (Figura 11). Así entre los escenarios exploratorios, tendremos, además de los tendenciales, los denominados de encuadramiento. De una manera análoga entre los escenarios de anticipación, encontramos los normativos y los contrastados.

Mientras los escenarios exploratorios tendenciales se apoyan únicamente en la fuerza de la inercia del sistema estudiado, que traduce la permanencia de las tendencias fuertes; los de encuadramiento son escenarios exploratorios que tratan de delimitar el «cono» de los futuros probables, haciendo variar paramétricamente y de una manera límite las hipótesis de trabajo sobre la evolución de las tendencias del presente.

Con respecto a los escenarios normativos, éstos determinan un conjunto dado de objetivos a realizar, cuya síntesis produce una imagen del futuro deseado y a la vez describe el camino desde ese futuro al presente; pues bien, los escenarios contrastados describen un futuro aún deseable pero situado en la frontera del cono delimitado de los posibles; es decir, pasamos a la idea del futuro preferido entre los futuros considerados probables.

Este futuro preferido es el cuadro de referencia en los estudios de planificación actuales.

Con respecto a las técnicas elaboradoras de escenarios, aplicables sobre todo al campo de la Defensa, cabe destacar el método de los Impactos Cruzados. Este método, que se puede considerar como «hijo» desarrollado del método Delphi, es de gran interés por sus enormes posibilidades y gran versatilidad. A él le dedicaremos el Capítulo siguiente.

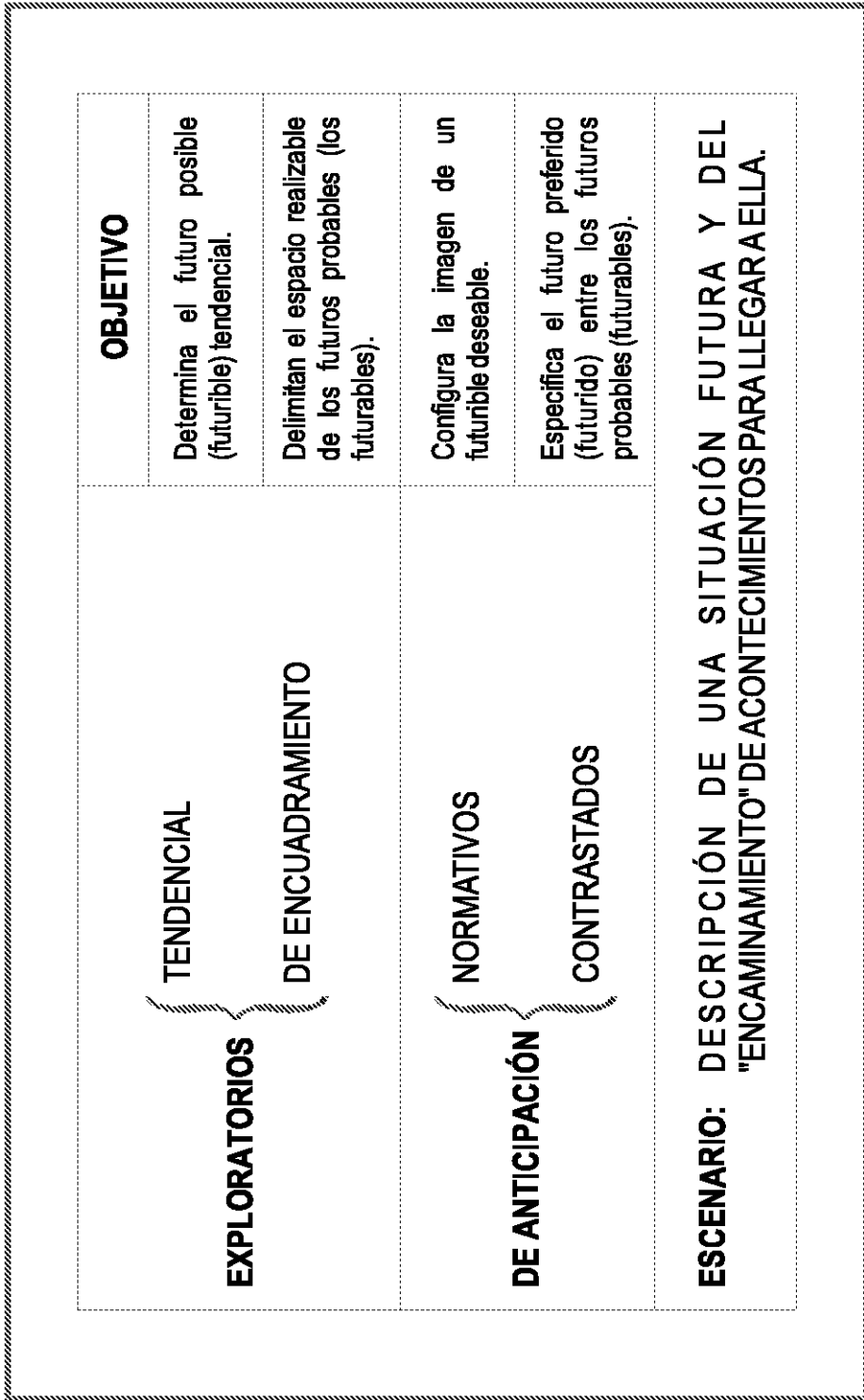
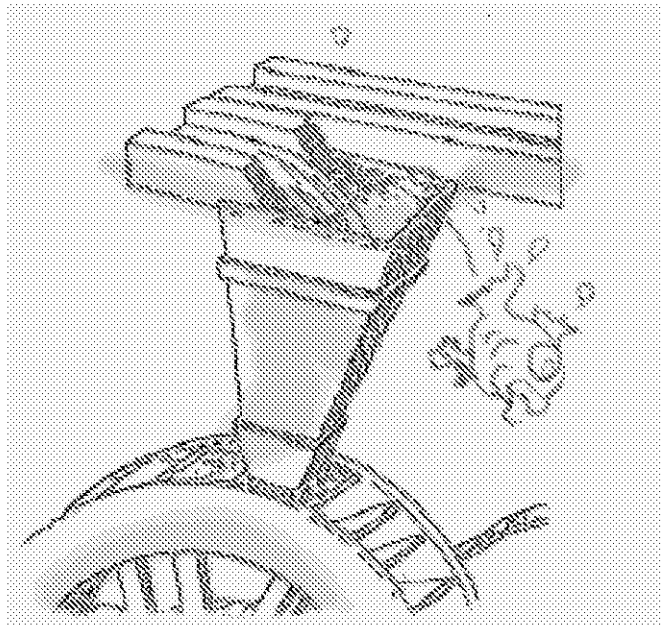


Figura 11 - TIPOS DE ESCENARIOS -

8

Una aplicación del Análisis de Sistemas (el método de los Impactos Cruzados)



8.1. El método de los Impactos Cruzados, sus características y fundamento matemático

El método Delphi, anteriormente expuesto en la Sección 6.3, presenta el defecto de no tener en cuenta la interacción entre sucesos. Es decir, deja al analista la responsabilidad total del enfoque sistémico, sin tenerlo incorporado a la metodología.

Para resolver esta laguna surgió el método de los Impactos Cruzados o Cross Impact (X-I) que toma en consideración, a la vez, las opiniones expresadas vía cuestionario y la interdependencia entre las cuestiones planteadas, suministrando, en definitiva, una «parrilla» de lectura más coherente. Es decir, un enfoque más global, más sistémico, y por tanto, más prospectivo.

Entre las diversas técnicas que se engloban bajo el término genérico del método de los Impactos Cruzados nos vamos a referir concretamente a las técnicas tipo SMIC o Battelle [47], perfeccionadas por el Instituto de Prospectiva español a principio de los años 80, y cuyo objetivo final es la búsqueda de los escenarios más probables (futurables) de entre todos los posibles futuros (futuribles), dejando de lado aquellas técnicas que se limitan solamente a la depuración de las probabilidades e impactos estimados.

Podemos destacar como características del método las siguientes:

- a) **Es un método prospectivo.** La utilización ideal del método está en el campo de la prospectiva o largo plazo.
- b) **Está basado en información subjetiva.** El análisis de los impactos cruzados utiliza la opinión de expertos como datos de partida. Estos datos podrán ser suministrados mediante el método Delphi utilizando el panel de expertos ya descrito en ese método. La información suministrada por el experto se entiende que estará fundamentada en datos conocidos por éste, su experiencia en el campo sometido a estudio y su actitud prospectiva frente al futuro.
- c) **Su objetivo es dar información probabilística sobre futuros sucesos y futuros escenarios.** Un escenario en esta metodología, queda definido por la ocurrencia o no ocurrencia de una serie de sucesos, siendo suceso todo fenómeno considerado como importante para el objeto en estudio y que puede adoptar dos estados, ocurrir o no ocurrir, dentro de un horizonte temporal previamente marcado. De esta forma, para «n» sucesos considerados el número de escenarios posibles viene dado por 2^n .

El método busca como objetivo no sólo la probabilidad de los sucesos en estudio, sino también la de los escenarios posibles.

- d) **Considera las interrelaciones entre acontecimientos.** Como se ha expuesto, el método de los Impactos Cruzados toma en consideración la realidad sistémica de la existencia de relaciones entre sucesos (impactos), de tal forma que la ocurrencia de cualquiera de ellos puede aumentar o disminuir la probabilidad de los demás. Así, las probabilidades iniciales, obtenidas por un Delphi, deben ser modificadas a tenor de los supuestos de ocurrencia o no ocurrencia de cada suceso.
-

Es decir, extendemos la apreciación de las probabilidades absolutas de los sucesos a las llamadas, en Estadística matemática, probabilidades condicionales de cada uno de ellos con respecto al supuesto de ocurrencia de los demás.

En el desarrollo del método intervienen, al igual que en el método Delphi, dos grupos de personas: los analistas, encargados de realizar el estudio y los expertos que deben suministrar las estimaciones necesarias.

Para su ejecución, el método requiere como datos iniciales los siguientes:

- 1) Un horizonte temporal T , fijado por el grupo de analistas.
- 2) Una lista de « n » sucesos relevantes para el objeto de estudio, obtenidos por el grupo de analistas, generalmente con el empleo de algunas de las técnicas de ayuda a la creatividad, vistas en la Sección 6.1.
- 3) Las probabilidades absolutas de acaecimiento de cada suceso « i »: $P(i)$, para el período de tiempo T considerado (estas probabilidades son estimadas por el grupo de expertos).
- 4) Las probabilidades condicionales de los sucesos tomadas dos a dos: $P(i/j)$ probabilidad del suceso « i » si ha ocurrido el suceso « j » (igualmente suministradas por el grupo de expertos).

Estas dos últimas informaciones podrán ser obtenidas por una secuencia Delphi.

Se trata, en esta técnica de los Impactos Cruzados, de que las probabilidades de los acontecimientos sean consistentes con la

Es decir, extendemos la apreciación de las probabilidades absolutas de los sucesos a las llamadas, en Estadística matemática, probabilidades condicionales de cada uno de ellos con respecto al supuesto de ocurrencia de los demás.

En el desarrollo del método intervienen, al igual que en el método Delphi, dos grupos de personas: los analistas, encargados de realizar el estudio y los expertos que deben suministrar las estimaciones necesarias.

Para su ejecución, el método requiere como datos iniciales los siguientes:

- 1) Un horizonte temporal T , fijado por el grupo de analistas.
- 2) Una lista de « n » sucesos relevantes para el objeto de estudio, obtenidos por el grupo de analistas, generalmente con el empleo de algunas de las técnicas de ayuda a la creatividad, vistas en la Sección 6.1.
- 3) Las probabilidades absolutas de acaecimiento de cada suceso « i »: $P(i)$, para el período de tiempo T considerado (estas probabilidades son estimadas por el grupo de expertos).
- 4) Las probabilidades condicionales de los sucesos tomadas dos a dos: $P(i/j)$ probabilidad del suceso « i » si ha ocurrido el suceso « j » (igualmente suministradas por el grupo de expertos).

Estas dos últimas informaciones podrán ser obtenidas por una secuencia Delphi.

Se trata, en esta técnica de los Impactos Cruzados, de que las probabilidades de los acontecimientos sean consistentes con la

axiomática del cálculo de probabilidades, que concretamos de la manera más simple posible, en estas dos exigencias:

$$\forall i, 0 \leq P(i) \leq 1$$

$$P(i/j) \cdot P(j) = P(j/i) \cdot P(i) = P(i,j)$$

Es decir, dado que las probabilidades estimadas (tanto absolutas como condicionales) no cumplen, en principio, con la igualdad arriba indicada, trataremos de «depurarlas», de modo que sí la cumplan.

Estas nuevas probabilidades, que denominaremos depuradas, las calcularemos buscando la diferencia mínima cuadrática con respecto a las estimadas por los expertos.

La solución matemática se traslada, pues, a la resolución de un programa clásico de Programación Cuadrática [48].

Al expresar las probabilidades depuradas en función de las probabilidades de los escenarios posibles [49] conseguimos obtener, como subproducto de la resolución del programa, la relación de dichos escenarios jerarquizados por su probabilidad. La totalidad del proceso se recoge esquemáticamente en la Figura 12.

Como se observa, el método es una mezcla específica de subjetividad y objetividad.

La subjetividad aparece, a través de los analistas, con la elaboración de la lista de los sucesos a retener, como definidores de los futuros escenarios posibles, y con la fijación previa del horizonte temporal. A través de los expertos, aparece con la apreciación personal de las probabilidades absolutas y condicionales (estas últimas, a efectos prácticos, se obtienen en forma de impactos, luego fácilmente convertibles en probabilidades).

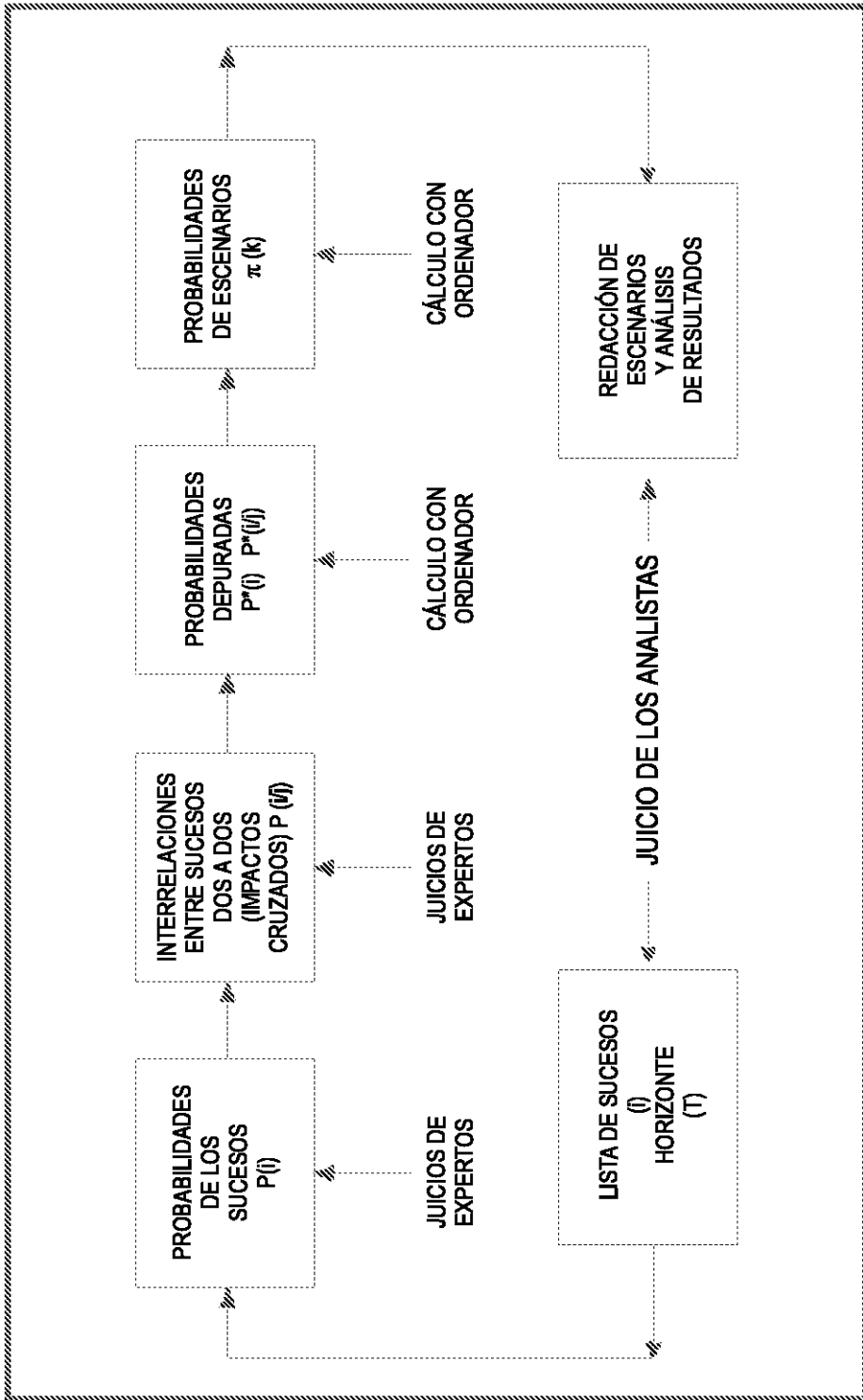


Figura 12 - MÉTODO DE LOS IMPACTOS CRUZADOS -

La objetividad es aportada por el cálculo matemático efectuado por el ordenador al minimizar la función cuadrática citada, obteniéndose las probabilidades depuradas $P^*(i)$ y $P^*(i/j)$ y las probabilidades de los escenarios, $\pi(k)$, variando «k» de 1 a 2^n .

Finalmente, es de destacar, que el verdadero aprovechamiento del método pasa por su empleo periódico, con la reconsideración previa de los sucesos retenidos y su nueva evaluación probabilística. A este carácter dinámico de su empleo se debe unir su validez, sobre todo, como instrumento de reflexión.

8.2 El método de los Impactos Cruzados como una aplicación del Análisis de Sistemas

El método de los Impactos Cruzados (X-I), arriba descrito, podemos descomponerlo en 5 fases. Estas fases son las que sirven de pauta para su aplicación, por ejemplo, al estudio de zonas conflictivas, siguiendo la doctrina de empleo de dicha metodología, propia de la Escuela de Guerra Naval española.

En realidad se trata de un particular agrupamiento de las fases del Análisis de Sistemas visto en el Capítulo 5, fácilmente detectable.

Veámoslo con ayuda de la Figura 13.

Fase I: Recibido el encargo de realizar un estudio prospectivo en un determinado teatro geográfico, los analistas estudian en profundidad los países pertenecientes a la zona conflictiva en cuestión e investigan los factores que pudieran generar sucesos portadores de futuro, dentro del horizonte temporal marcado [50].

Coincide esta Fase I con la de FORMULACIÓN del Análisis de Sistemas.

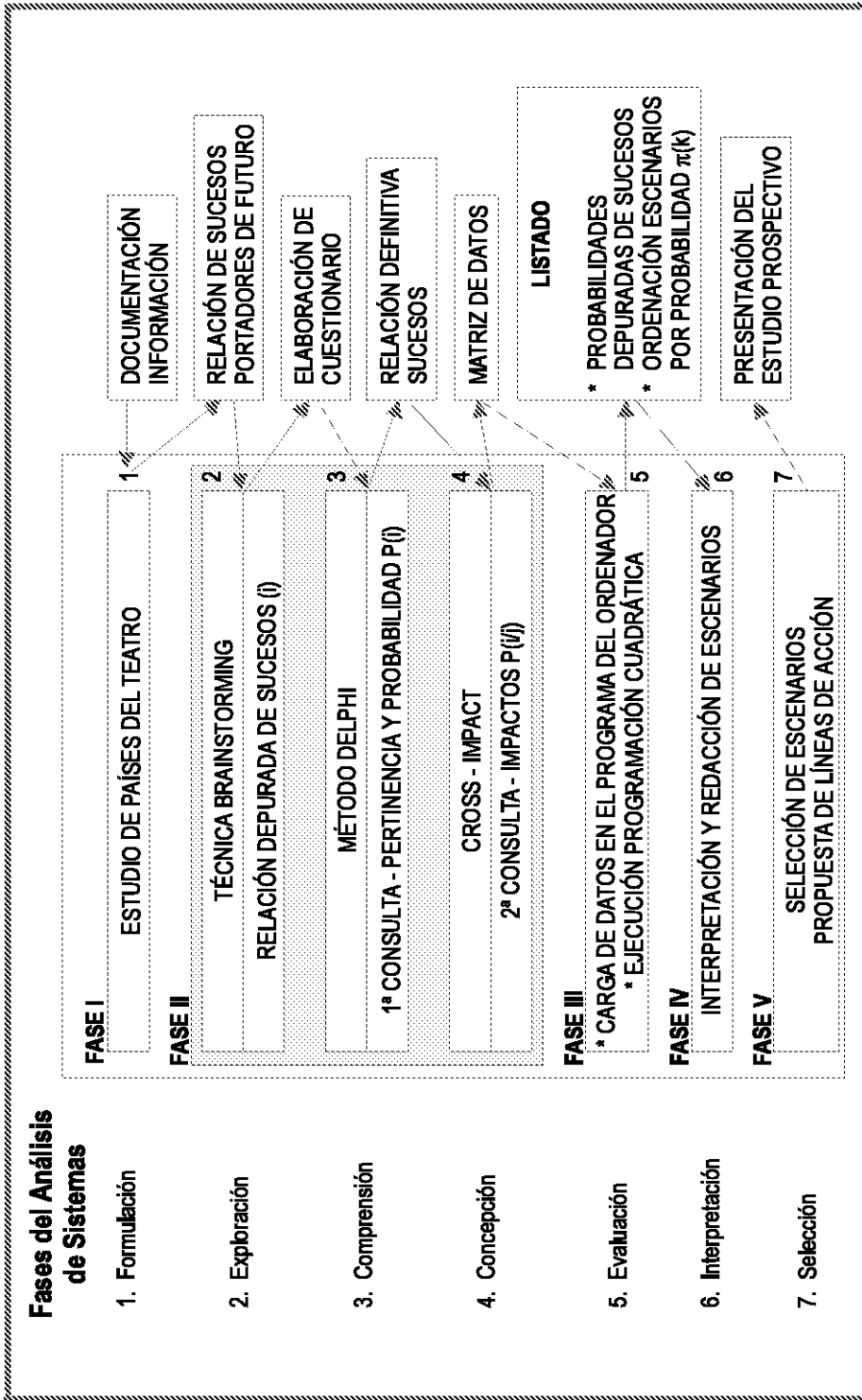


Figura 13 - PROCESO X-I -

Fase II: En esta fase, a través de técnicas de ayuda a la creatividad, los analistas deberán elaborar la relación de sucesos definidores del «sistema» estudiado (se trata de los elementos que forman parte de ese sistema de futuro).

A continuación, por vía de consulta al panel de expertos que participe en el estudio, se trata de estimar las probabilidades absolutas de cada suceso. Se puede, al mismo tiempo, obtener la opinión de los expertos sobre la pertinencia o no de cada uno de los sucesos en el estudio en cuestión. Esta última información ayudará a los analistas a acabar de perfilar la lista de sucesos a retener.

En una 2ª consulta, o serie de consultas, se estiman los impactos, que serán fácilmente convertibles en las probabilidades condicionales.

Teniendo en cuenta que en este proceso los elementos que constituyen el sistema son los sucesos retenidos y las relaciones entre estos elementos son las probabilidades condicionales, podemos manifestar que, con los pasos anteriores, hemos recorrido las fases de EXPLORACIÓN, COMPRENSIÓN y CONCEPCIÓN del Análisis de Sistemas, y disponemos, al final de esta Fase de un modelo representativo del sistema a estudiar.

Fase III: Los analistas, después de realizar la agregación de las estimaciones sobre las probabilidades recogidas de los expertos en la Fase anterior, proceden, con el empleo de la Programación Cuadrática, a depurar las probabilidades citadas, obteniendo, como subproducto, las probabilidades de los escenarios.

Esta última información servirá para jerarquizarlos y poder así reducir el número de ellos a analizar posteriormente.

Esta Fase coincide con la de EVALUACIÓN del Análisis de Sistemas.

Fase IV: Consiste en analizar los escenarios más probables para redactarlos a continuación. Recordemos aquí que un escenario en Prospectiva es la descripción de una situación futura (En el X-I esta situación se expresa por una relación de sucesos, de los cuales unos ocurren y otros no) a la que hay que añadir el encaminamiento para, desde la situación actual, llegar a ella.

El número de escenarios a analizar, debería ser tal que sus probabilidades de acaecimiento acumuladas sumasen más del 50%. En ese caso lo más probable es que ocurriese alguno de ellos frente la totalidad del resto. Téngase en cuenta que si el número de sucesos retenidos fuese 10, el número de escenarios posibles sería $2^{10} = 1024$; y si fuese 20, serían, naturalmente, más de 1 millón (sin el cierre del «abanico» de los futuribles, como se veía gráficamente en la Figura 9, sería imposible su «exploración»).

La fase del Análisis de Sistemas equivalente a esta Fase IV de los Impactos Cruzados es la de INTERPRETACIÓN.

Fase V: Finalmente, el grupo de analistas deberá seleccionar, entre los escenarios más probables (futurables) redactados en la Fase anterior, aquél (o aquéllos), que sea el preferido (futurido), para proponer, a continuación, las líneas de acción a seguir por los decisores.

Nos encontramos, en la última fase del Análisis de Sistemas: la de SELECCIÓN.

Por otra parte, el tipo de Análisis de Sistemas que se aplica a la metodología de los Impactos Cruzados es claramente de carácter «blando», según la terminología de Peter Checkland.

Esto se hace patente por la indefinición de los objetivos en los estudios prospectivos (se van poniendo de manifiesto con el estudio y no se concretarán hasta la propuesta de las líneas de acción). Existe la indefinición también en la propia estructura del sistema considerado (los elementos -sucesos- que lo componen variarían cada vez que se repitiese el estudio, así como las relaciones entre ellos -las probabilidades- que dependerían del grupo de expertos consultados).

Por todo ello, la metodología de los Impactos Cruzados, generadora de escenarios en los estudios prospectivos, es un ejemplo de la Metodología de los Sistemas Blandos (SSM) en pleno desarrollo actual, dentro del amplio marco del Análisis de Sistemas.

Recogemos de un interesante trabajo de David C. Lane [51] que, en esta metodología blanda con respecto a la dura, se pone el énfasis más en la adaptación que en la optimización, más en el aprendizaje que en la consecución de una meta, más en la exploración de los posibles que en la determinación de tendencias del pasado. Todo esto se manifiesta claramente en la metodología prospectiva.

8.3. La Estrategia de lo deseable

Los estudios de Análisis Prospectivo nos permiten la reflexión sobre la actitud de los «actores» en los planteamientos estratégicos. Creemos que estos estudios tienen una clara aplicación en el campo de la Seguridad y Defensa, por lo que no resistimos la tentación de dedicar unas líneas a este tema.

La evolución de la Estrategia a lo largo de este siglo (digamos desde la 2ª Revolución Industrial) está marcada por tres hechos de importancia mayor que han conmocionado al mundo contemporáneo. Estos son: la dimensión mundial de las dos grandes guerras en coexistencia con numerosas y distintas guerras revolucionarias, la aparición del componente nuclear y el desarrollo de técnicas lógico-matemáticas en la racionalización de las decisiones.

El último de los hechos señalados, y del que hicimos expresa mención al hablar de Investigación Operativa (Capítulo 3), está ligado, hoy día, al desarrollo de las Nuevas Tecnologías de la Información, base de los actuales Sistemas de Mando y Control, imprescindibles en su uso frente a la complejidad de la amenaza y el acortamiento del tiempo de respuesta.

Por otra parte, hemos insistido, a lo largo de esta monografía, en la evolución de los instrumentos de ayuda a la racionalización de las decisiones, basando los últimos desarrollos en este campo, en el enfoque o Análisis de Sistemas y en la actitud prospectiva y su Metodología de Sistemas Blandos.

De modo que, frente a la Estrategia clásica de lo «real», podemos hoy colocar la Estrategia de lo «deseable» [52].

La primera hace referencia a un futuro previsible, que cubre normalmente el corto y medio plazo y se apoya en la continuidad de las tendencias detectadas. Las decisiones, tomadas en su marco, se justifican por las inercias fuertes del presente con grandes posibilidades de prolongarse en el futuro.

El pensamiento clásico de la Estrategia de lo real se apoya en un proceso intelectual en el que la lógica y la argumentación reposan en las enseñanzas de la historia. La Polemología es su ciencia de base y sus leyes permiten la extrapolación de las conclusiones, o principios de actuación, desde un cierto contexto a otro similar del momento actual o futuro.

En cambio, la Estrategia de lo deseable difiere sensiblemente de la actitud mental anteriormente expuesta pues pone en duda la linealidad del proceso de relación causa/efecto (recordemos que era uno de los principios del Cartesianismo) y encauza su proceso mental hacia la exploración, con imaginación y creatividad, de los futuros posibles en esa actitud que hemos denominado, reiteradas veces, prospectiva.

Necesita esta Estrategia de lo deseable un método de trabajo y éste puede ser, a nuestro parecer, el método de los Impactos Cruzados aquí presentado [53]. Se deberá usar, como ya hemos indicado, de una manera dinámica, en el sentido de repetitiva, y como instrumento de reflexión.

El método proporciona entonces al decisor un criterio que le permite, no solamente opinar, sino argumentar sus acciones conducentes a configurar ese futuro preferido entre los probables analizados.

Veamos, como ilustración de lo dicho, el resultado de un trabajo reciente, realizado solamente con fines didácticos [54].

El teatro geográfico del estudio es el Mar Meridional de China. Supongamos que las primeras fases de la metodología expuesta en la Sección 8.2 han sido ya realizadas, encontrándonos en la penúltima de ellas, la Fase IV.

El resultado es el cuadro expuesto en la Figura 14.

En él se observan los escenarios (relación de sucesos en la que unos ocurren y otros no) jerarquizados por probabilidad y en un número tal que la probabilidad acumulada llegue al 50%. En este caso es suficiente con los 11 primeros.

Aparecen también en el cuadro las probabilidades absolutas, $P(i)$, de los 7 sucesos que, en este estudio, fueron retenidos como elementos definidores del sistema de futuro analizado.

P(i)	SUCECOS (i)	ESCENARIOS (k)												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
.41	Reconocimiento internacional mayoritario de TAIWAN		X	X			X	X				X		
.43	Conflicto militar territorial entre THAILANDIA y CAMBOYA			X	X	X				X				
.51	Grave inestabilidad política en CHINA por la muerte de DENG		X	X			X	X					X	X
.53	Expansión de CHINA en el MAR de la CHINA MERIDIONAL		X	X				X			X			
.70	ANSEA se convierte en una potencia económica por incorporación de nuevos países	X	X	X		X			X		X		X	X
.46	Ruptura de hostilidades entre CHINA y TAIWAN		X	X				X	X					
.52	ANSEA se convierte en una organización de seguridad colectiva frente a CHINA		X	X						X	X		X	X
	Probabilidad del escenario (π_k)	.105	.085	.066	.034	.034	.034	.034	.033	.030	.028	.027	.025	
	Probabilidad acumulada	.105	.190	.256	.290	.324	.358	.391	.421	.449	.476	.501		

Figura 14 - EJEMPLO ILUSTRADO DEL RESULTADO DEL X-I -

Dichas probabilidades, junto con las condicionales estimadas, que no aparecen en el cuadro, constituyeron los datos de partida que, al ser depurados con ayuda del modelo matemático ya expuesto, permitieron obtener como subproducto las probabilidades de los escenarios que se observan en el cuadro.

Seguimos ahora las pautas de la aproximación prospectiva, ya varias veces repetida y que se presentaba en la Figura 10 del Capítulo 7.

Los 11 escenarios a los que reducimos nuestro análisis constituyen el «cono» de los futuros probables (futurables), extraído de los $2^7 = 128$ futuros posibles o futuribles.

Estos futurables deberán ser, además, redactados literariamente, sin olvidar que se necesita incorporar en dicha redacción el «encaminamiento» de sucesos y acciones que nos conducirán a él, desde la situación actual.

A continuación, de entre ellos, buscamos aquél que sea el preferido (futurido) y que justificará la propuesta de acciones de configuración a realizar para lograr su consecución.

Con el fin ilustrativo con que estamos exponiendo este ejemplo haremos algunos comentarios que, en la aproximación prospectiva, podrían, en este caso, ser formulados por los analistas:

- Según la escala de valores dominante en el mundo occidental, el escenario preferido debería ser aquél en que no aparecen los sucesos representativos de conflicto. Sería pues el escenario 1 (y quizá también el 8).
 - En ambos escenarios aparece el suceso 5, es decir que la asociación ANSEA (Asociación de Naciones del Sureste Asiático) en que no participa China, [55] «se convierte en una
-

potencia económica por incorporación de nuevos países». La línea de acción recomendada, por tanto es: «favorecer esta ampliación».

- En el escenario 8 aparece además el suceso 1 «reconocimiento internacional mayoritario de Taiwan». No parece aconsejable, sin embargo, proponer el apoyo a las medidas conducentes al mismo, pues dicho suceso aparece, coexistiendo con otros conflictivos, en otros escenarios no deseables y con mayor probabilidad de acaecimiento (caso de los escenarios 2, 3, 6 y 7).
- La «conversión de ANSEA en una organización de seguridad colectiva frente a China» (suceso 7) acarrea, al menos aparentemente, la presentación de otros sucesos que convierte los escenarios en indeseables (escenarios 2, 3, 6, 7, 8 y 9).
- La presencia, en algunos de los escenarios citados, del suceso 5 (ANSEA, potencia económica) no contrarresta el efecto «nocivo» del suceso 7 (ANSEA, organización de seguridad). Podríamos decir, coloquialmente, que no conviene «provocar» a China con esa evolución de la asociación ANSEA hacia el campo de la seguridad: Debe limitarse a los fines económicos iniciales, favoreciéndose incluso su ampliación.
- Etc.

Como vemos la «parrilla» de escenarios resulta una sugerente fuente de ideas que proporciona al decisor un criterio que, sin un instrumento similar, le sería prácticamente imposible de adquirir. Este criterio se refuerza, amplía y matiza a medida que el estudio se va repitiendo con la periodicidad, al menos, que exija la evolución del teatro.

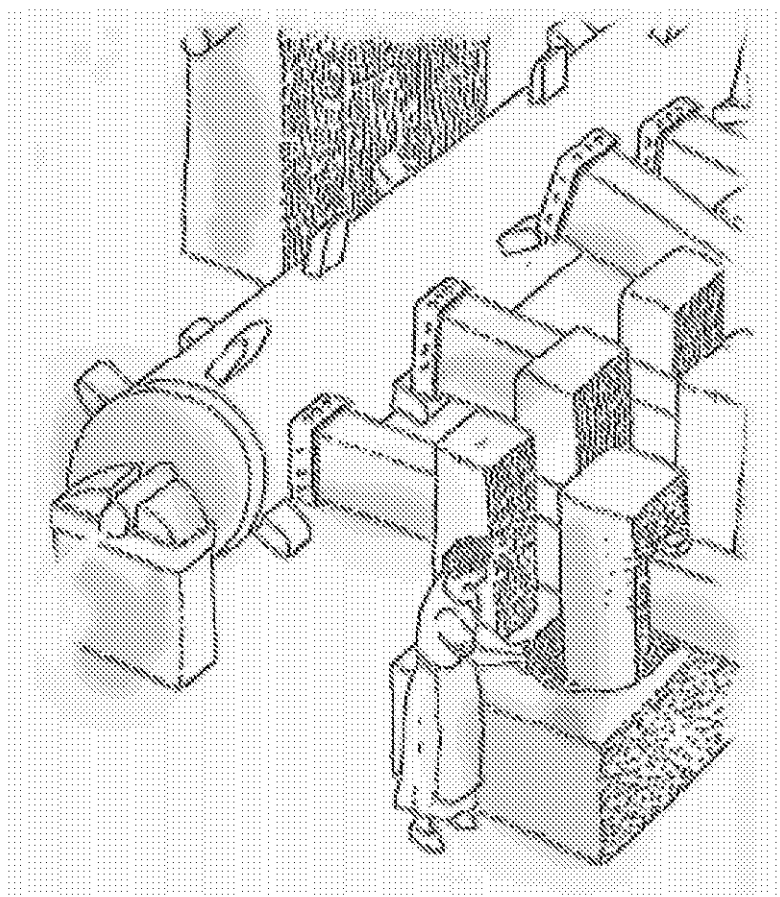
Por último, queremos señalar que los escenarios que suministra la técnica de los Impactos Cruzados o X-I son del tipo de los que hemos

definido como prospectivos propiamente dichos, es decir de anticipación, pero con un aspecto singular: el método los presenta jerarquizados por su probabilidad de acaecimiento, dejando la exigencia del cumplimiento de los objetivos buscados (característica del escenario normativo, dentro de los de anticipación) a la labor del analista, cuando selecciona de entre los más probables, aquél o aquéllos que mejor cumplan los objetivos marcados, según una escala de valores.

Post Scriptum: Estando ya la monografía en imprenta, el 19 de febrero ocurre el fallecimiento del dirigente chino Deng Xiaoping. Como este hecho forma parte de uno de los sucesos retenidos en este ejemplo ilustrativo, no tiene interés el mantenerlo, pues carece de sentido explorar la posibilidad de acaecimiento de algo que ya ha sucedido. El carácter dinámico del método y la evolución del teatro nos exigiría, ahora, repetir el estudio.

9

Conclusiones finales cara al futuro



9.1. La responsabilidad del ingeniero

En el Capítulo anterior hemos tratado de poner de manifiesto la necesidad del empleo, en un campo tan importante del ámbito de la Defensa como es la Estrategia, de instrumentos de ayuda a la decisión basados en el Análisis de Sistemas y las metodologías blandas que en su marco se han desarrollado, como es el Análisis Prospectivo.

Por otra parte, en dicho ámbito de la Defensa serán los ingenieros militares los responsables principales de la puesta a punto y utilización de las Nuevas Tecnologías, entre las que podemos incluir las que ayudan al proceso de la decisión y han sido objeto de ésta y otras monografías de la serie [56].

Pues bien, el papel que el decisor técnico, el ingeniero, juega en esa ayuda a la decisión tanto en el ámbito militar como en el civil, no ha hecho más que aumentar, haciéndose hoy día imprescindible su intervención.

Para enmarcar estas reflexiones, sobre la responsabilidad del que ha de desarrollar, introducir y usar las tecnologías en la sociedad de esta naciente Era de los Sistemas, reproducimos en la Figura 15 un sencillo pero sugerente gráfico que recoge Erich Jantsch en su libro «Prospectiva y Política».

En él aparece representado el sistema naturaleza-hombre-sociedad-tecnología. Esta estructura sistémica es enormemente fértil

en los posibles análisis de los seis subsistemas bipolares resultantes, en tres de los cuales forma parte la tecnología y son los que la figura hace patentes: tecnología-naturaleza, tecnología-sociedad y tecnología-hombre.

El ingeniero deberá tenerlos siempre presentes y, por ello, deberá preocuparse de la adecuada utilización de las Nuevas Tecnologías, cuyas repercusiones en los tres subsistemas citados, tanto en el presente como en el futuro, sabrá evaluar acertadamente a la vez que será consciente de los límites existentes en cada uno de ellos.

Por otra parte, deberá también tener presente que, hasta ahora, la utilización social de la Ciencia y la Tecnología ha sido con un objetivo único de crecimiento económico, que se inició con la Revolución Industrial, e identificó la cultura occidental con la acción tecnificada sobre el mundo y la búsqueda del consiguiente poder. Ello la diferencia de los fines perseguidos por otras culturas que, por ejemplo, en el caso

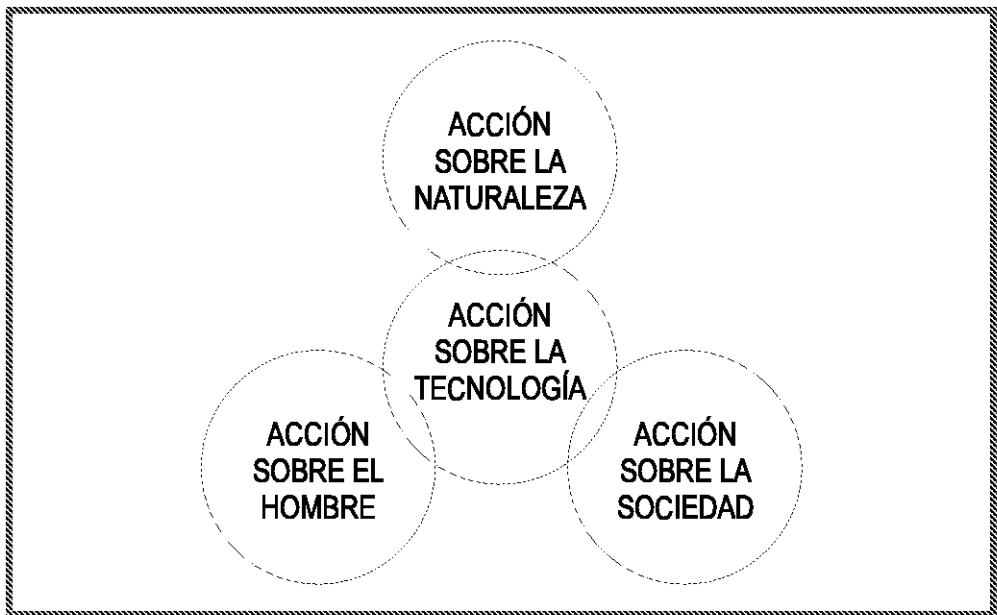


Figura 15 - SISTEMA NATURALEZA-HOMBRE-SOCIEDAD-TECNOLOGÍA -

extremo de rechazo del crecimiento, orientan su saber a la comprensión gratificante de la realidad o al goce sereno de nuestro mundo interior.

Por supuesto creemos que toda cultura necesita disponer de un soporte material, creado y mejorado por la actividad tecno-económica. Pero el desbordamiento de este soporte hasta el desarrollismo actual (que no desarrollo) es un fenómeno que aparece en la cultura occidental cuando el modelo fruto de la Segunda Ola se está agotando.

Esto es fácilmente comprensible si contemplamos nuestro campo de actuación como un sistema cerrado (de hecho nuestro mundo, la Tierra, lo es si hacemos abstracción de la energía procedente del Sol).

En efecto, en todo sistema cerrado ocurre que el desarrollo de un subsistema sólo se logra a costa de los demás. En nuestro caso, el desarrollo industrial lleva consigo la degradación de la naturaleza; el desarrollo de ciertos países se consigue a costa del de otros; y la preferencia por el consumo de objetos -lo que se ha llamado sociedad de consumo- implica el raquitismo de nuestra vida interior.

Y es que el crecimiento indefinido en un mundo finito constituye una utopía. La reflexión del párrafo anterior nos conduce al reconocimiento de que existen límites físicos en la naturaleza a la que pertenecemos que acotan los recursos que en ella se encuentran; así como límites socio-políticos entre estados y estratos sociales de esos estados, bien patentes con sólo recordar las tensiones intra e internacionales que estamos viviendo en esta última década de nuestro siglo; y, por último, un límite individual, en nuestro propio ser, origen incluso de perturbaciones mentales, como resistencia a deshumanizar al hombre y reducirlo a un mero productor y consumidor.

Le cabe, ahora, al ingeniero reconsiderar su obra y ser consciente del papel que juega entre la cultura y el desarrollo, y orientar éste hacia el bienestar.

¿Cómo hará para ayudar a configurar esa nueva cultura, ese nuevo «habérmolas con la realidad», como la define Zubiri?

Como ya hemos dicho, lo hará con la adecuada utilización de las Nuevas Tecnologías y, muy particularmente, con las Nuevas Tecnologías de la Información.

9.2. La adecuada utilización de las Nuevas Tecnologías

Si consideramos al ingeniero inmerso en la Tercera Ola y colocado ya en el próximo siglo, primero de la Era de los Sistemas, el problema que se le plantea, a nuestro juicio, es que las opciones económico-tecnológicas, de las que como ingeniero es responsable, no son sólo eso, sino que son opciones sociales esencialmente.

Es decir, el problema central del cambio tecnológico, como consecuencia de la introducción de los sistemas desarrollados con las Nuevas Tecnologías, no es de carácter tecnológico, sino de carácter social y, por lo tanto, cultural.

Por si sola, la innovación tecnológica no va a garantizarle ni la competitividad, ni el crecimiento económico, ni el desarrollo, ni el bienestar individual o colectivo. Para alcanzar tales objetivos y, concretamente el del bienestar, debe inscribir el cambio tecnológico en un proceso de innovación social.

La transformación industrial y social son dos aspectos de un solo proceso, no dos procesos separados que ocurren en mundos distintos, independientes o incluso en oposición.

Esto resulta especialmente evidente con los sistemas pertenecientes a las Nuevas Tecnologías de la Información/Comunicación. Todas las Nuevas Tecnologías, y éstas en particular, plantean un doble desafío que es necesario recoger en su totalidad: por una parte, exigen

la adquisición de su dominio industrial, clave para hacer frente a la competitividad mundial y, en particular, a la europea; por otra, requieren el dominio de sus nuevas utilizaciones posibles y deseables.

Al ingeniero no le corresponde sólo el hacer frente al primer desafío. Nuestra tesis es que debe enfrentarse también con el segundo, al que hemos denominado adecuada utilización de las Nuevas Tecnologías. Y ello sin olvidar que dicha utilización va a tener lugar tanto, en el ámbito civil como en el militar, en los puestos de trabajo como en el hogar, en la escuela como en el hospital, en el campo del medio ambiente como en el de la seguridad en carretera, etc. La adecuada utilización deberá asegurar la cohesión social y la difusión aceptada de esas tecnologías.

Y es que, fundamentalmente, queremos destacar que la nueva problemática planteada huye de los enfoques exclusivamente cuantitativos y parciales. Se han acabado los «ceteris paribus», tan corrientes en los análisis económicos clásicos. Es decir, ya no podemos basarnos en el supuesto de que «lo demás permanece constante».

En la tarea de seleccionar la adecuada tecnología, o su adecuada utilización, para satisfacer las necesidades de seguridad, económicas y sociales de un colectivo, se habrá de prever el alcance de sus efectos posibles no sólo sobre las variables económicas e industriales sino sobre las personas, el entorno local, la cooperación internacional, etc. Todo influye sobre todo. El enfoque sistémico se impone y sobre él se ha de contemplar el futuro como una consecuencia de las acciones tomadas en el presente, es decir, se ha de adoptar una actitud prospectiva.

La aportación a esta labor de las Nuevas Tecnologías de la Información es fundamental y revolucionaria.

Así, a lo largo de la Segunda Ola, el ingeniero se dedicó al manejo de las magnitudes materia y energía, consiguiendo la disminución

y progresiva desaparición de la necesidad del esfuerzo físico que trasladaba a las máquinas por él inventadas. Pero surge ahora una nueva magnitud que al tenerla en cuenta todo lo cambia: la información.

Con ella están las Nuevas Tecnologías que la tratan en su forma de textos, datos e imágenes (la microelectrónica, las telecomunicaciones, la informática, la automatización) y en su nueva forma de conocimiento (la inteligencia artificial, los sistemas expertos), con el aporte espectacular de los últimos desarrollos informáticos (simulación visual, animación, realidad virtual). Y aparejado con ello se entra en la Era de los Sistemas al establecerse y consolidarse el concepto de sistema, que diseña el hombre siguiendo, en cierto sentido, la pauta de los seres vivos, cuyos organismos son gobernados por dicha magnitud, la información, que adquiere su máxima y más compleja utilización en la denominada información genética.

Muchos ingenieros tienen ya un profundo conocimiento de la interacción de los sistemas que les capacita para entrar en la actual complejidad que se manifiesta, y lo hará cada vez más, en el campo tecno-económico, como fruto de la Tercera Ola.

Hasta ahora se ha tendido a ver a la Ingeniería y a la Gestión como entidades que descansan en bases distintas -la Ingeniería en la Ciencia y la Gestión en la Economía- cuando, en realidad, la Gestión, la Economía y gran parte de la Ingeniería comparten bases comunes en cuanto al comportamiento, comprensión y descripción de los sistemas realimentados [57]. En ese isomorfismo, que se encuentra también en otros campos, se fundamenta la denominada Teoría General de Sistemas.

Otro medio, apoyado a su vez en el concepto de sistema, que el ingeniero debe utilizar en su labor instigadora del encauzamiento de los cambios políticos, económicos y sociales (culturales, en suma) y al que hemos dedicado los dos capítulos anteriores, es el de la Prospectiva.

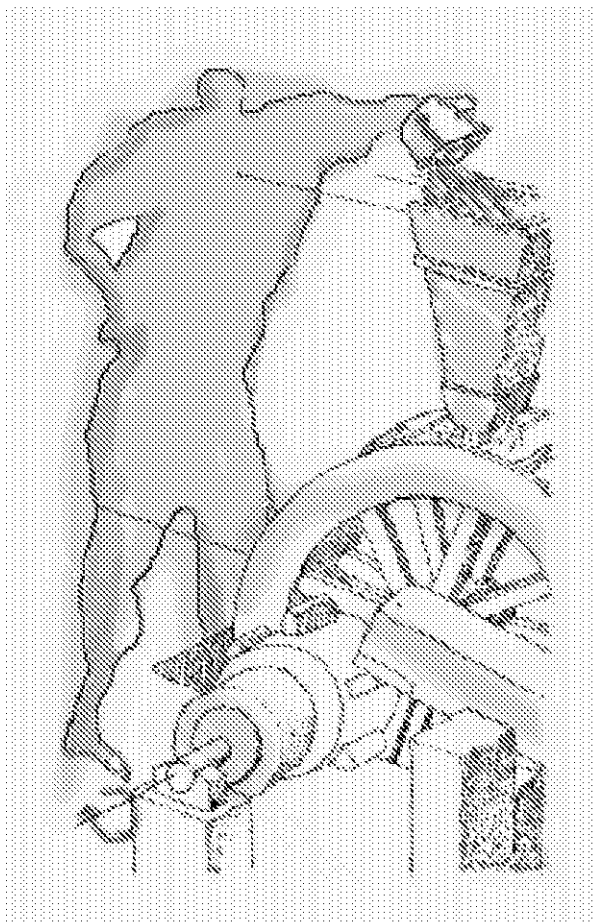
Para Russell L. Ackoff [58] prever, planificar y ejecutar es, en esencia, el ciclo que recorren los sistemas socio-técnicos avanzados. La Prospectiva proporciona esa capacidad de reflexión y raciocinio aplicada a lo todavía por llegar, a la exploración de los futuros posibles.

La predicción o prospectiva exploratoria, la imaginación o prospectiva propiamente dicha y la planificación o prospectiva normativa constituyen tres componentes de una misma actividad que el ingeniero debe conocer y saber utilizar en nuestros días.

Por último, recordemos que es aceptado históricamente que cada época se ha forjado los útiles que ha necesitado [59]. Y así ha sido no sólo con respecto a las máquinas, sino también en el campo de la decisión donde, como hemos visto, han surgido en su momento oportuno el taylorismo, el fayolismo, la Investigación Operativa, etc.

Pues bien, en este momento en que entramos en la Era de los Sistemas, donde se manifiesta ya la sociedad informatizada como sociedad post-industrial, en que el desarrollismo es denunciado y denostado, el medioambiente deteriorado hasta, a veces, puntos de no retorno y el ritmo del cambio imposible de medir, el ingeniero dispone de los instrumentos que necesita para configurar la nueva cultura, la nueva civilización emergente. A algunos de estos instrumentos, bajo el epígrafe de Análisis de Sistemas, hemos hecho aquí referencia. Usémoslos inteligentemente.

Referencias



[1] Peter Checkland en «Systems Thinking Systems Practice», Chichester, U.K., Wiley, 1981, páginas 134 y 135. Este libro es de lectura recomendada para todos aquellos interesados en la evolución de la ciencia sistémica.

[2] Alvin Toffler hace referencia al símil de las tres «Olas» en varios de sus libros, pero es naturalmente en «La Tercera Ola», Barcelona, Plaza y Janés, 1980, donde expone su esquema con toda amplitud. Toffler desde 1970 publica un libro fundamental cada 10 años, que rápidamente se convierte en referencia obligada de los estudiosos del futuro.

[3] Quizá sea el modelo de los ciclos de Kondratiev la base más sugerente para presentar las 3 revoluciones industriales. A cada revolución le corresponderían dos grandes ciclos, durante el primero de los cuales se lanzan las innovaciones básicas, mientras que en el segundo se complejizan las aplicaciones, se le asocia nuevas tecnologías y se transforma la organización social. Según esta teoría estamos en el arranque del quinto ciclo (primero de la 3ª Revolución Industrial).

[4] Para un conocimiento más detallado de dicha utilización, y sus implicaciones en una tipología más refinada de las técnicas de ayuda a la decisión que la que recogemos en esta monografía, se puede acudir al libro de Peter Checkland ya citado en la Referencia [1], páginas 126/129.

[5] En las primeras páginas de dicho libro, Blanchard define claramente la naciente Era de los Sistemas («System Engineering Management», New York, Wiley, 1991).

[6] La «Presentación» de las monografías, que viene a ser como un «prólogo» de la Serie, le dedica a esta idea un apartado que abarca las páginas 7/10.

[7] Recomendamos la relectura de la Introducción y Epílogo de la monografía nº 4 de Donald Drew: «Dinámica de Sistemas Aplicada».

[8] L. von Bertalanffy, junto con otros colaboradores, es considerado el padre de la «Teoría General de Sistemas» a la que se ha dedicado la monografía nº 2 escrita por Angel Sarabia. La definición citada también es recogida por otros autores, y es de destacar que aquellas otras definiciones que han sido enunciadas con más amplitud y detalle no la invalidan («General Systems Theory», New York, George Braziller, 1968).

[9] En las páginas 20 y 21 de la monografía nº 1, Blanchard hace referencia al esfuerzo analítico que debe realizar el ingeniero. Menciona a continuación los métodos de Investigación Operativa, define el Análisis de Sistemas y remite, finalmente, a una escogida bibliografía.

[10] En la monografía nº 5, redactada por ISDEFE sobre «Ingeniería de Sistemas Aplicada», se encuentra la metodología del Análisis de Sistemas en algunos de los trabajos presentados. Así se pone de manifiesto en el Epílogo (pág. 190 y sucesivas).

[11] En la monografía nº 2, se dedica el Capítulo 15 al «Análisis sistémico, simulación y diseño». No se trata del Análisis de Sistemas definido por la Rand Co. y que es objeto de esta última monografía nº 16.

[12] Javier Aracil, en la monografía nº 3 sobre «Dinámica de Sistemas», al referirse a la Metodología Sistémica (páginas 10, 11 y 12) habla del «análisis de un sistema», al tiempo que hace referencia

a la «síntesis» del mismo, como otra parte de igual importancia en el proceso a seguir.

[13] En el apartado «El Enfoque Sistémico» de la «Presentación» de la serie (pág. 10 y sucesivas) se recogen las siete características que se destacan en dicho enfoque. Estas son: posibilidad de generar conocimiento, consideración teleológica, realimentación, multidisciplinariedad, consideración del ciclo de vida, dinamismo y empleo de la relación coste/eficacia.

[14] «Una teoría de la Historia Económica» del Premio Nobel Sir John Hicks es un extraordinario libro de aconsejable lectura. La versión en castellano fue publicada por Aguilar en 1974.

[15] Los principios cartesianos y las consecuencias de su aplicación están recogidos en la «Presentación» y en la monografía nº 2 (cap. 5 y 11) de la Serie.

[16] Así lo recogen numerosos autores como J.F. Mc Closkey en «Operations Research for Management», John Hopkins Press., 1956 y Arnold Kaufmann en «Méthodes et Modèles de la Recherche Operationnelle», París, Dunod, 1962. Ambos son de los primeros divulgadores de la Investigación Operativa.

[17] Las ecuaciones de Lanchester que modelizan el enfrentamiento de dos contendientes, tuvieron su aparición en la 1ª Guerra Mundial («Aircraft in Warfare. The dawn of the Fourth Army». London. 1961). Sin embargo, aún no habían aparecido los grupos de Investigación Operativa, ni siquiera se había acuñado el término. Remitimos al lector a la monografía nº 4 de D. Drew, que, en su Sección 4.3, «Modelos clásicos de atrición», hace amplia referencia a las ecuaciones de Lanchester.

[18] En las Fuerzas Armadas españolas existe el Servicio de Investigación Militar Operativa desde 1965, creado por una Orden de la Presidencia del Gobierno, dentro del Alto Estado Mayor y Ministerios

de Tierra, Mar y Aire de entonces. En la actualidad están organizados Gabinetes de I.O. en los tres Cuarteles Generales de los Ejércitos y un Centro de I.O. en el Ministerio de Defensa.

[19] En realidad el «Ars Conjectandi» fue un libro póstumo, pues Jacques Bernouilli había fallecido 8 años antes. El concepto de esperanza matemática (es decir, lo que cabe esperar que ocurra) era definido para el caso de los juegos de salón de entonces, como esperanza de ganancia de un juego.

[20] La «Fiabilidad» es el tema de la monografía nº 8, redactada por Joel A. Nachlas.

[21] La «Mantenibilidad» es el tema de la monografía nº 9, redactada por Jezdimir Knezevic. El mismo autor ha redactado la monografía nº 10, sobre el tema de «Mantenimiento», en estrecha relación con la monografía anterior.

[22] Esta definición es la propuesta por Robert Faure en «Eléments de la Recherche Operationnelle», París, Gauthier-Villars, 1968, pero cambiando la colocación del calificativo «racional», que, en dicha definición, aparece con «métodos y técnicas» y, en la nuestra, aparece acompañando a la palabra «preparación».

[23] La expresión de «método científico» con las fases que aquí recogemos fue empleada a partir de mediados del Siglo XIX.

[24] Podemos aquí repetir algo similar a lo recogido en las referencias [11] y [12], sobre la necesaria distinción entre lo que es el «análisis del sistema» en el método de la Investigación Operativa y el «Análisis de Sistemas», objeto de esta monografía.

[25] Las técnicas del «Análisis Multicriterio» son el objeto de la monografía nº 14 bajo el título de «Análisis de las Decisiones Multicriterio» redactado por Carlos Romero.

[26] Durante la serie de monografías, se ha hecho referencia explícita en múltiples ocasiones a la Investigación Operativa y a sus técnicas. Especialmente en las siguientes:

Monografía nº 1. Ingeniería de Sistemas, pág. 20 y 21.

Monografía nº 2. Teoría General de Sistemas, pág. 140 y 146.

Monografía nº 4. Dinámica de Sistemas Aplicada, pág. 170/180.

Monografía nº 14. Análisis de las Decisiones Multicriterio, pág. 14/19.

[27] La revista «System Dynamics Review» en su volumen nº 10 de 1994 recoge un interesante artículo de David C. Lane en que se presenta la Investigación Operativa clásica o «dura» frente a la Investigación Operativa «blanda» o la «metodología de los sistemas blandos» (SSM) en terminología de Checkland (expuesta en el ya citado libro de la Referencia [1]). En la Sección 8.2 de esta monografía se vuelve a hacer referencia a ese artículo de Lane.

[28] Gordon R. Taylor en su libro «Juicio Final. La pesadilla tecnológica», Madrid, Bruguera, 1972, intenta hacer tomar conciencia a los decisores sobre múltiples errores técnicos cometidos en los últimos años, bajo la bandera del desarrollo tecnológico. G. Taylor se hizo muy popular dirigiendo el programa científico «Horizonte» en la BBC de Londres.

[29] En el libro de Peter Checkland, arriba referenciado se detallan las vicisitudes del nacimiento del Análisis de Sistemas y de la Rand Corporation (pág. 134/138).

[30] Ejemplos de esta definición son las recogidas por Gerard Latière en «Analyse de système et techniques décisionnelles», París, Dunod, 1971 o la de Quade y Boucher en «Systems Analysis and Policy Planning. Application in Defence», Elsevier, 1968.

[31] La idea de la unificación de la Ciencia es propia de los generalistas de sistemas, seguidores de la Teoría General de Sistemas

(monografía nº 2). L. von Bertalanffy publicó en 1951 un libro con un título enormemente sugerente «General System Theory: A new Approach to Unity of Science».

[32] El informe «RRH» de C.J. Hitch, encargado por la Rand en 1955, lleva el título «An appreciation of Systems Analysis» y es recogido por varios estudiosos del Análisis de Sistemas.

[33] En la monografía nº 14: «Análisis de las Decisiones Multicriterio», Carlos Romero, hace una amplia referencia al método ELECTRE en su Capítulo 4º: «Métodos multicriterio discretos». Nació el método ELECTRE en el seno de la Dirección científica de la SEMA de Jacques Lesourne a finales de los años 60.

[34] Como veremos más adelante, al hablar de Prospectiva en el Capítulo 7, la mayoría de estas técnicas han sido desarrolladas por la que, podríamos llamar, escuela californiana o de la costa del Pacífico (Gordon, Osborn, Ozbekan, Zwicky, etc.)

[35] La simulación discreta es el tema de la monografía nº 12 de Jaime Barceló, bajo el título «Simulación de Sistemas Discretos». Dicha técnica estudia el comportamiento de un sistema, a través de los cambios de estado de su modelo, a lo largo del tiempo, considerando incrementos discretos del mismo.

[36] En la monografía nº 15: «Análisis del Coste del Ciclo de Vida de los Sistemas» redactada por Wolter Fabrycky, se expone, ilustrado por numerosas aplicaciones, el análisis de coste/eficacia (capítulos 4 y 5).

[37] Una de las primeras aplicaciones publicadas del método Delphi lleva el nombre de «Prospectiva a Largo Plazo» y fue realizada por T. J. Gordon y Olaf Helmer. Esta obra fue traducida al castellano en el marco del programa prospectivo ESPES 2000 del Ministerio de Educación, a principio de los años 70.

[38] Entre los primeros libros que expusieron las características y principios del método Delphi está la obra de N. C. Dalkey: Méthode Delphi. París, Dunod, 1975 (versión francesa).

[39] Remitimos, de nuevo, al lector a la Referencia recogida en [1].

[40] El Teniente General D. José Faura Martín, Jefe del Estado Mayor del Ejército español, denomina esta actitud «espíritu de frontera», considerándola, sugerentemente, heredera del espíritu de exploración geográfica de otras épocas. (Artículo publicado en ABC el 9 de junio de 1996 con el título: «El Ejército español ante los desafíos del Siglo XXI».)

[41] Gaston Berger publica dos importantes libros en los albores de la disciplina Prospectiva «Phenomenologie du temps et Prospective», Puf, 1964 y «L'attitude prospective», París, Puf, 1967. En este último expone los componentes básicos de esa actitud.

[42] Esta situación está recogida en un libro publicado en aquellas fechas: «Crise de la prévision. Essor de la Prospective» París, Puf, 1977, de Mitchel Godet. En un artículo posterior, publicado en la revista Futuribles, de diciembre de 1979, el citado autor reconsidera parcialmente su tesis, en la línea de lo que se denominó «nueva previsión», y a la que nos referimos más adelante.

[43] La Dinámica de Sistemas, es el tema de las monografías 3 y 4.

[44] Los informes, que son ya una treintena, son siempre «al» Club de Roma y no «del» Club de Roma (excepto «La 1ª Revolución Global» publicado en 1990).

[45] Un notable documento sobre el «Método de los Escenarios» fue realizado en 1975 por un equipo de profesores de la Universidad de Quebec formado por P. A. Julien, P. Lamonde y D. Latouche.

[46] Para ciertos autores la introducción de la palabra escenario es atribuida al padre del método, Herman Kahn, autor de numerosos trabajos prospectivos, de los cuales el más famoso es el «Año 2000».

[47] Para más detalles les remitimos a la revista METRA, vol. XIII, nº 4, 1975: Method SMIC de Duperrin y Godet.

[48] Se trata de una técnica clásica de Investigación Operativa englobada en la denominada Programación Matemática. En la Programación Cuadrática, las restricciones son lineales y la función a minimizar es una función cuadrática.

[49] Para obtener las probabilidades de los escenarios es necesario añadir a los datos suministrados por los expertos otros complementarios propios del instrumento o método empleado. Ello dio lugar a una polémica sobre el fundamento matemático de esta metodología, a final de los años 70, recogida, por ejemplo, en un artículo de la revista «Futures» de 1976 escrito por R. B. Mitchell y J. Tydeman. Posteriormente han surgido investigaciones que permiten, al adicionar determinadas limitaciones, calcular las probabilidades de los escenarios con verdadero rigor matemático. Es en esta línea donde somos defensores del método.

[50] El arduo problema de «descubrir» los sucesos portadores de futuro es la primera dificultad con que se encuentran los analistas. La lectura de libros, publicaciones y periódicos de actualidad no es generalmente suficiente. El recurso a entrevistar en profundidad a personas con actitud prospectiva, conocedoras del sistema a estudiar, y realizadas por el conjunto de los analistas es recomendable. A ello hay que añadir el empleo de las técnicas de ayuda a la creatividad.

[51] Remitimos al lector al número y artículo de la revista «System Dynamics Review» citado en la referencia [27].

[52] Este doble planteamiento de la Estrategia es recogido en «La Sécurité en Europe» de Bertrand Gentric y Patrice Leclerc en un

artículo de los «Dossiers de l'École Supérieure de Guerre». París, 1990.

[53] El TRADOC, organismo ocupado del Adiestramiento y Doctrina del Ejército de Tierra americano, emplea el método llamado «Assumption Based Planning» (ABP), puesto a punto por la Rand Co. para dicho organismo en 1994. El ABP tiene cierta similitud con el Método de los Impactos Cruzados.

[54] El trabajo ha sido realizado, con fines exclusivamente didácticos, por un grupo de alumnos de la Escuela de Guerra Naval de la Armada española, pertenecientes a la promoción XLIV del Curso de Guerra (1996/97).

[55] ANSEA es la «Asociación de Naciones del Sureste Asiático» formada por Vietnam, Tailandia, Filipinas, Indonesia, Malasia y Brunei. Asisten también como observadores Laos, Camboya y Papúa-Nueva Guinea, así como Corea del Sur, con un estatuto especial.

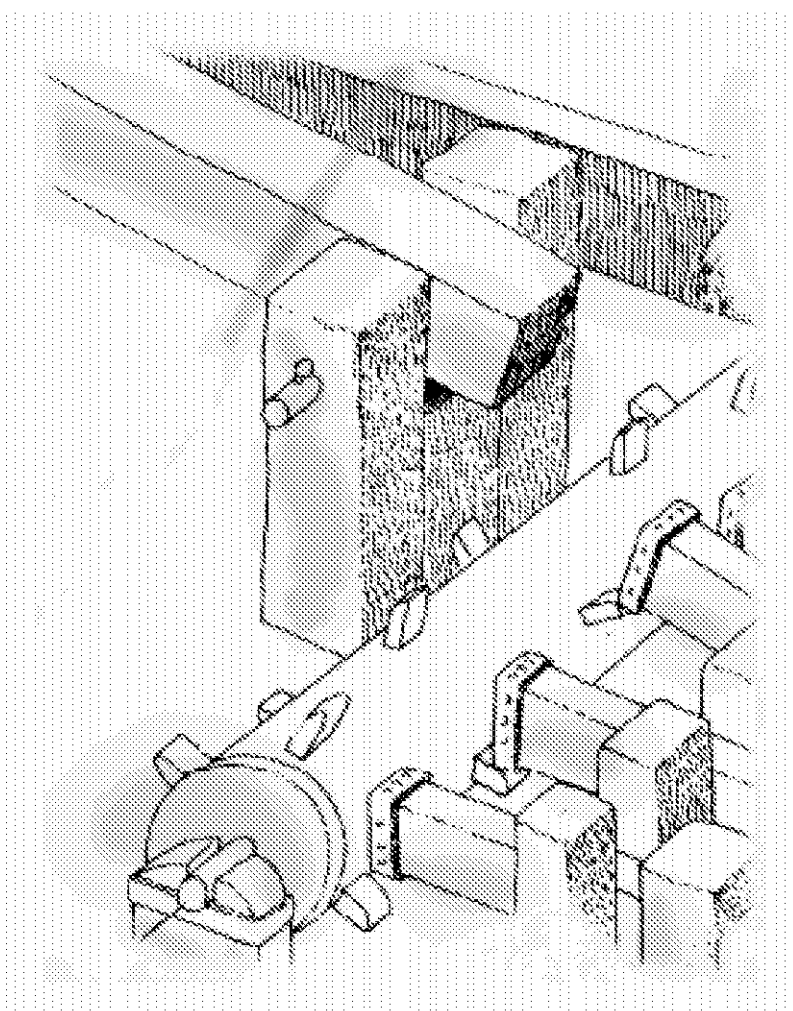
[56] Conviene quizás recordar que, en la misma Ingeniería de Sistemas, la más «dura» quizás de las escuelas sistémicas (al menos en sus inicios), se reconoce, desde el primer momento, que cubre un aspecto primordial de gestión, al más alto nivel de decisión en el campo del material.

[57] Como recogemos en la referencia anterior [56], en la Ingeniería de Sistemas se pone de manifiesto esa imbricación entre la Ingeniería y la Gestión.

[58] Russell L. Ackoff es uno de los autores más interesantes en el doble campo sistémico y prospectivo. Además de su conocido libro «Redesigning the Future», New York, Wiley, 1974, recomendamos su aportación «Science in the Systems Age: IE, OR and MS», a «Operations Researchs», 1973.

[59] Esta idea es recogida por Gerard Latière en su libro ya referenciado en [30].

Bibliografía

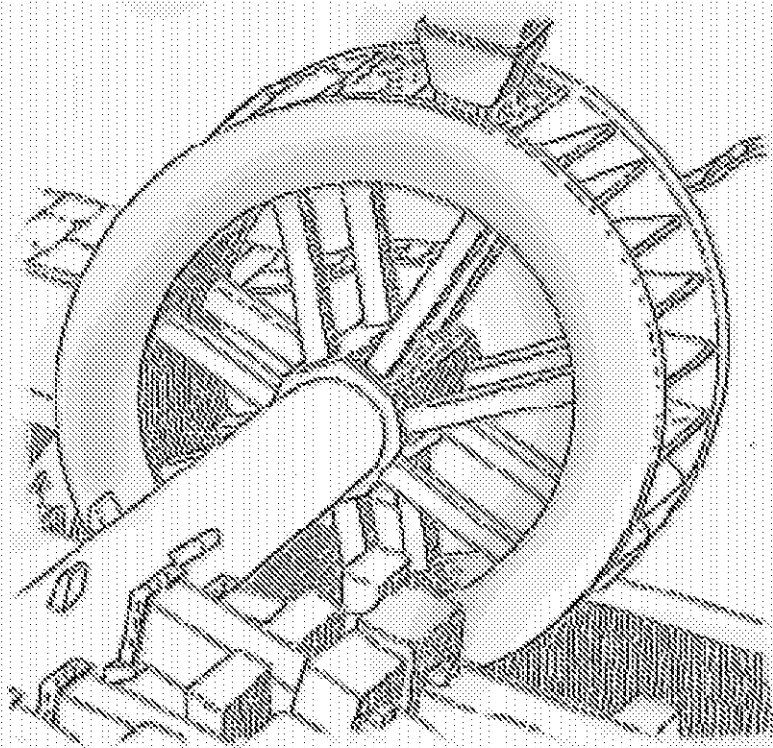


- Aracil, J.:** *Introducción a la dinámica de sistemas*, Madrid, Alianza Ed., 1978.
- Aracil, J.,
D. Gabor, J.W.
Forrester & otros:** *Lecturas sobre dinámica de sistemas*, Madrid, Subsecretaría de Planificación, 1977.
- Bingham, J.E. &
G.P. Davis:** *A Handbook of Systems Analysis*, Londres, McMillan, 1978.
- Castells, M. &
otros:** *Nuevas tecnologías, economía y sociedad*, Madrid, Alianza, 1986.
- Checkland, P.B. &
J. Scholes:** *Soft Systems Methodology in Action*, Chichester, U.K., Wiley, 1990
- Churchman, C.W.:** *The Systems Approach*, New York, Dell Publishing Co., 1968.
- Churchman, C.W.,
R.L. Ackoff &
E.L. Amoff:** *Analysis of the Organization*, New York, Wiley, 1971
- Dormido, S.,
J. Morales &
L.V. Abad:** *Sociedad y nuevas tecnologías*, Madrid, De. Trotta, S.A., 1990.
- Duperrin, J.C. &
M. Godet:** *Prospective des systèmes et construction de scénarios. Méthode SMIC*, París, Metra vol. XIII, nº 4, 1975.
- Durand, D.:** *La systèmique*, París, Puf, 1979.
- Equipo del informe
FAST de la CEE:** *Europa 1995. Nuevas tecnologías y cambio social*, Madrid, Fundesco, 1986.
- Forrester, J.W.:** - *Principles of Systems*, Cambridge, Mass., Wright-Allen Press, 1968.
- *World Dynamics*, Cambridge, Mass., Wright-Allen Press, 1971.
- Gamella, M. &
M. Hernández
de Felipe:** *Nuevas tecnologías y orden económico internacional*, Madrid, Fundesco, 1991.
- Gregory, G.:** *Decision Analysis*, New York, Plenum, 1988.
- Gujarali, D.N.:** *Basic Econometrics*, New York, McGraw-Hill Book Co. 1988.
- Hammer, C. &
J. Champy:** *Reingeniería de la empresa*, Barcelona, Parramón Ed. 1994.

-
- Hillier, F.S. & G.J. Lieberman:** *Introduction to Operations Research (5ª ed.)*, New York, Plenum, 1992.
- Informe OCDE:** *Las nuevas tecnologías en la década de los noventa*, Madrid, OCDE, 1990.
- Jackson, M.C.:** *Systems Methodology for the Management Sciences*, New York, Plenum, 1992.
- Jantsch, E.:** *Prospective et Politique*, París, OCDE, 1979.
- Lesourne, J.:** - *Les mille sentiers de l'avenir*, París, Seghers, 1981.
- *Les systèmes du destin*, París, Dalloz économie, 1976.
- Meadows, D.L., D.H. Meadows, J. Randers & W.W. Behrens:** - *Los límites del crecimiento*, Madrid, Aguilar, 1972.
- *Más allá de los límites del crecimiento*, Madrid, Aguilar, 1992.
- Mitchel, G.:** *The Practice of Operational Research*, New York, Wiley, 1993.
- Naisbitt, J. & P. Aburdene:** *MEGATRENDS 2000*, París, FIRST, 1990.
- Peccei, A.:** *La calidad humana*, Madrid, Taurus ed., 1977.
- Petrella, R. (del grupo de Lisboa):** *Los límites de la competitividad*, Buenos Aires, Ed. Sudamericana, 1996.
- Pestel, E. & M. Messarovic:** *La humanidad en la encrucijada*, Madrid, Subsecretaría de Planificación, 1975.
- Popper, K.R.:** *The Logic of Scientific Discovery*, New York, Harperand Row Co., 1976.
- Prigogine, I. & I. Stengers:** *La nueva alianza, metamorfosis de la ciencia*, Madrid, Alianza Ed., 1990.
- Ríos, S., M.J. Ríos-Insúa & S. Ríos-Insúa:** *Procesos de decisión multicriterio*, Madrid, Endema, 1989.
- Salvador, A.:** *Nuevas tecnologías y viejas culturas*, Madrid, Fundesco, 1986.
- Saaty, T.L. & K.P. Kearus:** *Analytical Planning. The Organization of Systems*, Oxford (U.K.), Pergamon Press., 1985.
-

- Toffler, A.:** - *El choque del futuro*,
Barcelona, Plaza & Janés, 1970.
- *El cambio del poder*,
Barcelona, Plaza & Janés, 1990.
- Torrón, R.:** - *La Prospectiva y su metodología*,
Madrid, Memorial Ingeniería de Armamento nº 77, 1980.
- *Tendencias actuales de la Investigación Operativa*,
Madrid, Actas 1^º RIMO, 1985.
- *La Economía y el desarrollo de la Ingeniería*,
Madrid, 3^º Congreso Nacional de Ingeniería, 1991.
-

Glosario



1. ANÁLISIS DE SISTEMAS. Conjunto de estudios analíticos previos que ayudan al responsable a decidir frente a problemas complejos, y al mismo tiempo le determinan una línea de actuación entre varias alternativas de acción posible, conducentes a una misma finalidad, con la comparación cuantitativa de criterios apropiados de los costes y ventajas de las soluciones consideradas.

2. ESCENARIO. En Prospectiva: conjunto formado por la descripción de una situación futura y el encaminamiento coherente de sucesos que, partiendo de la situación actual, nos hace llegar a esa situación futura.

En el método de los Impactos Cruzados: relación de sucesos tal que unos ocurren y otros no, dentro de un horizonte temporal prefijado.

3. FUTURABLE. Contracción de las palabras «futuro» y «realizable». En determinadas metodologías, como la de los Impactos Cruzados, se entiende por realizable de relativa alta probabilidad, es decir de ocurrencia «probable».

4. FUTURIBLE. Contracción de las palabras «futuro» y «posible». Este concepto fue introducido por Bertrand de Jouvenel.

5. FUTURIDO. Contracción de las palabras «futuro» y «preferido». Se entiende que dicho futuro ha sido seleccionado entre los futuros realizables o probables (futurables).

6. INGENIERÍA. Capacidad del ser humano para aplicar los conocimientos científicos y técnicos a la utilización y transformación de los recursos materiales, fuentes de energía e información, con el fin de obtener bienes y servicios para mejorar las condiciones de vida y conseguir el bienestar social e individual.

7. INVESTIGACIÓN OPERATIVA. Conjunto de métodos y técnicas de análisis y de síntesis de los fenómenos de organización utilizados para la preparación racional de las decisiones.

8. PROSPECTIVA. Disciplina que trata de la exploración de los futuribles. Se engloba normalmente en este concepto las técnicas de Análisis Prospectivo.

9. SISTEMA. Conjunto dinámico de elementos en interrelación.

10. TECNOLOGÍA. Conjunto de herramientas, sistemas, métodos y procedimientos para la utilización y transformación de los recursos materiales, fuentes de energía e información.

*Esta primera edición de
EL ANÁLISIS DE SISTEMAS
de la serie de
Monografías de Ingeniería de Sistemas
se terminó de imprimir el día
3 de marzo de 1997.*
