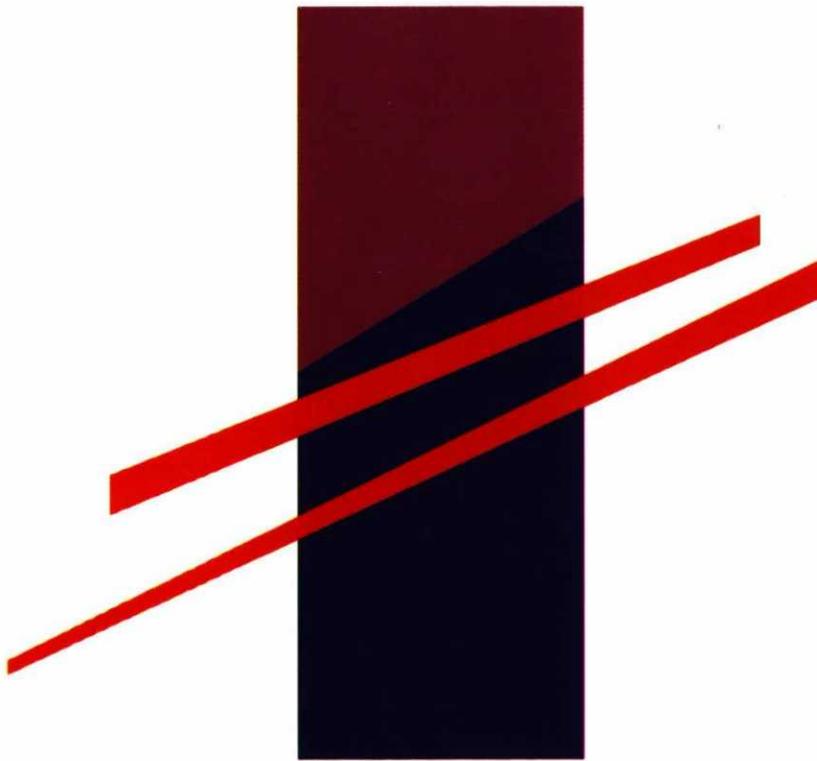


Materiales Didácticos  
Tecnología Industrial II



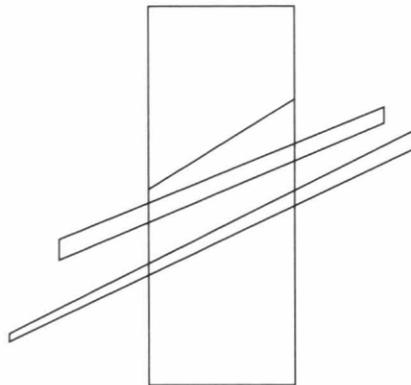
BACHILLERATO



Ministerio de Educación y Ciencia

Materiales Didácticos

201614



Tecnología

---

## Tecnología Industrial II

Autor:

Miguel Tercero Saúco

Coordinación:

Luis González Pérez  
del Servicio de Innovación



---

Ministerio de Educación y Ciencia

**CENTRO DE DESARROLLO CURRICULAR**

DEPARTAMENTO DE PUBLICACIONES

- *Coordinación de la edición:* Ana Francisca Aguilar Sánchez
- *Maquetación y supervisión de pruebas:* Salvador Peña Neva



**Ministerio de Educación y Ciencia**

**Secretaría de Estado de Educación**

Edita: Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica

N. I. P. O.: 176-95-116-3

I. S. B. N.: 84-369-2672-2

Depósito legal: M. 25.037-1995

Imprime: Imprenta Fareso, S. A.

Paseo de la Dirección, 5 - 28039 Madrid

# Prólogo

---

*La finalidad de estos materiales didácticos para el Bachillerato es orientar a los profesores que, a partir de octubre de 1993, impartirán las nuevas enseñanzas de Bachillerato en los centros que han anticipado su implantación. Pretenden facilitarles el desarrollo de las materias de segundo curso, algunas de las cuales continúan las de primer curso. Con estos materiales el Ministerio de Educación y Ciencia quiere facilitar a los profesores la aplicación y desarrollo del nuevo currículo en su práctica docente, proporcionándoles sugerencias de programación y unidades didácticas que les ayuden en su trabajo; unas sugerencias, desde luego, no prescriptivas, ni tampoco cerradas, sino abiertas y con posibilidades varias de ser aprovechadas y desarrolladas. El desafío que para los centros educativos y los profesores supone el haber anticipado desde el curso 1992/93 la implantación de las nuevas enseñanzas, constituyéndose con ello en pioneros de lo que será más adelante la implantación generalizada, merece no sólo un cumplido reconocimiento, sino también un apoyo por parte del Ministerio, que a través de estos materiales didácticos pretende ayudar a los profesores a afrontar ese desafío.*

*El Ministerio valora muy positivamente el trabajo de los autores de estos materiales, que se adaptan a un esquema general propuesto por el Servicio de Innovación, de la Subdirección General de Programas Experimentales, y han sido elaborados en estrecha conexión con los asesores de este Servicio. Por consiguiente, aunque la autoría pertenece de pleno derecho a las personas que los han preparado, el Ministerio considera que son útiles ejemplos de programación y de unidades didácticas para la correspondiente asignatura, y que su utilización por profesores, en la medida en que se ajusten al marco de los proyectos curriculares que los centros establezcan y se adecuen a las características de sus alumnos, servirá para perfeccionar estos materiales y para elaborar otros.*

*La presentación misma, en forma de documentos de trabajo y no de libro propiamente dicho, pone de manifiesto que se trata de materiales con cierto carácter experimental: destinados a ser contrastados en la práctica, depurados y completados. Es intención del Ministerio seguir realizando ese trabajo de contrastación y depuración a lo largo del próximo curso, y hacerlo precisamente a partir de las sugerencias y contrapropuestas que vengan de los centros que se anticipan a la reforma.*

*El Real Decreto 1179/1992 de 2 de octubre, por el que se establece el currículo de Bachillerato, contiene en su anexo la información referida a esta asignatura que aparece reproducida al término del presente volumen.*



# Índice

	<i>Páginas</i>
I. INTRODUCCIÓN .....	7
Objetivo de este trabajo .....	7
Marco curricular oficial .....	7
Reflexión sobre la materia en el contexto del Bachillerato .....	10
Marco psicopedagógico .....	11
Modelos o enfoques en la enseñanza de la materia .....	13
Principios metodológicos generales .....	14
II. ORIENTACIONES DIDÁCTICAS Y PARA LA EVALUACIÓN .....	15
Orientaciones generales .....	15
Orientaciones para la evaluación .....	16
Mapas conceptuales .....	17
III. PROGRAMACIÓN .....	19
Consideraciones previas .....	19
Temporalización y organización .....	20
Bloques de contenidos .....	21
Materiales .....	22
Principios de Máquinas .....	23
Sistemas Automáticos .....	25
Control y programación de Sistemas Automáticos .....	27
Circuitos neumáticos y oleohidráulicos .....	30
IV. DESARROLLO DE UNA UNIDAD: INTRODUCCIÓN A LA AUTOMÁTICA .....	33
Descripción de la Unidad .....	33
Organización y planificación .....	34
Objetivos .....	36

Contenidos y actividades por sesiones .....	36
Lecturas .....	48
V. ANEXO: CURRÍCULO OFICIAL .....	103

# Introducción

---

El presente trabajo tiene la finalidad de facilitar la labor a los profesores que han de impartir la materia de Tecnología Industrial II, en aquellos centros que anticipan la implantación de las nuevas enseñanzas de Bachillerato.

Su pretensión es, pues, centrarse en el llamado tercer nivel de concreción del currículo, o lo que es lo mismo, en la planificación o programación que el profesorado realiza antes del comienzo de curso, para tener un marco o instrumento que les permita tomar decisiones y organizar las distintas actividades que es necesario llevar a cabo para conseguir unos determinados objetivos.

Mediante esta programación pretendemos hacer una **planificación y organización del curso**, y en la misma hemos de determinar:

- Planteamiento global de la materia.
- Principios metodológicos o de procedimiento que vamos a asumir.
- Establecimiento y planificación de las distintas actividades, en las que se ha de especificar el proceso de enseñanza.

Para realizar esta tarea, creemos que hay **dos niveles de análisis previo**:

- a) Revisión del marco curricular oficial, y extraer de él las prescripciones y orientaciones sobre la propuesta curricular de la materia y el marco psicopedagógico.
- b) Del entorno y realidad propia del centro donde se ha de impartir la enseñanza, en lo que se refiere a su organización. Proyecto curricular, características de los alumnos, medios didácticos y materiales disponibles e incluso nuestra propia concepción sobre la materia y la forma de enseñar.

El objetivo de este trabajo es realizar de una forma tentativa e hipotética ese proceso, con la esperanza de que pueda facilitar la labor al profesor aunque sea en una primera instancia, ya que será la situación concreta y la práctica en el aula, las que realmente conformarán y definirán esa programación.

---

## ***Documentos más importantes que se refieren al Bachillerato y a la materia en particular***

Vamos a hacer una breve reseña de las disposiciones más importantes:

La Ley orgánica 1/1990 de 3 de octubre (LOGSE), en sus artículos 25 al 29, ha definido las características básicas del Bachillerato, sus objetivos generales y la organización de las materias, junto con otros aspectos generales.

## **Objetivo de este trabajo**

## **Marco curricular oficial**

El Real Decreto 1700/1991 de 29 de noviembre (BOE 2-12-1991), ha desarrollado la estructura y ordenación del Bachillerato.

El Real Decreto 1178/1992 de 2 de octubre, ha establecido las enseñanzas mínimas tanto de las materias comunes como las de modalidad (BOE 21-10-92).

El Real Decreto 1179/1992 de 2 de octubre, por el que se establece el currículo del Bachillerato para los centros del ámbito territorial de competencia del Ministerio de Educación y Ciencia (BOE 21-10-92).

El Real Decreto 1004/1991 de 14 de junio, por el que se establecen los requisitos mínimos de los centros (BOE 26-6-91).

Las Órdenes Ministeriales: la de 12 de noviembre de 1992 sobre la evaluación de los alumnos; y otra por la que se dictan instrucciones para la implantación anticipada del Bachillerato (BOE 20-11-92).

Orden Ministerial de 10 de diciembre de 1992, regulando la prueba de acceso a la Universidad de alumnos de Bachillerato (BOE 12-1-93).

Resolución de 29 de diciembre de 1992, por la que se regula el currículo de las materias optativas de Bachillerato (BOE 29-1-1993).

El Real Decreto 535/1993, que modifica y completa su homólogo, el 986/1991, por el que se aprobaba el calendario de aplicación de la nueva ordenación del sistema Educativo (BOE del 4 de mayo).

El documento más importante, de cara a la planificación de la materia, es el anexo del Real Decreto 1179/1992 de 2 de octubre, ya que en él se establecen los objetivos, contenidos mínimos, criterios de evaluación y principios metodológicos básicos de cada una de las asignaturas.

Por su interés se ha reproducido totalmente (*Véase Anexo*) la parte correspondiente a Tecnología II. En el punto siguiente vamos a intentar resumir y seleccionar, aquellos aspectos relevantes que puedan tener interés en la programación específica de la materia, no incluyendo cuestiones generales de ordenación académica.

### ***Aspectos relevantes a considerar***

Como decíamos anteriormente se han tenido en cuenta los currículos de Tecnología I y II, y se reproduce en el Anexo de esta publicación el de Tecnología II, entendiendo como tal el conjunto de objetivos, contenidos, métodos pedagógicos y criterios de evaluación.

Los objetivos educativos están formulados en términos de capacidades que se espera que los alumnos alcancen. Por otra parte los contenidos indispensables para alcanzar las capacidades pueden ser de distinta naturaleza, pudiéndose referir a:

- Conceptos y a conocimiento de hechos y principios.
- Procedimientos, o modos de saber hacer.
- Actitudes relacionadas con valores y pautas de acción.

Los conjuntos de contenidos presentados no han de ser interpretados como unidades didácticas o temáticas, ni tampoco tienen por qué ser desarrollados en la programación académica en el orden en que se presentan.

Los criterios de evaluación constan de un enunciado y una breve explicación del mismo. Establecen el tipo y grado de aprendizaje que se espera alcancen los alumnos, y han de servir al profesor

para evaluar no sólo los aprendizajes de los alumnos, sino todo el proceso de enseñanza y de aprendizaje en el grupo de alumnos.

En el establecimiento del currículo adquieren gran relevancia los elementos metodológicos y epistemológicos que se han de corresponder con el tipo de pensamiento y nivel de capacidad de los alumnos que, al comenzar estos estudios, han adquirido en cierto grado el pensamiento abstracto formal, pero todavía no lo han consolidado. El Bachillerato ha de contribuir a ello, así como a la consolidación y desarrollo de otras capacidades sociales y personales.

La metodología educativa en el Bachillerato ha de facilitar el trabajo autónomo del alumno, estimular sus capacidades para el trabajo en equipo, potenciar las técnicas de investigación e indagación, y las aplicaciones y transferencias de lo aprendido a la vida real.

La especialización disciplinar debe complementarse con la presencia en las distintas materias de contenidos educativos imprescindibles en la formación de los ciudadanos, como son la educación para la paz, para la salud, para la igualdad entre los sexos, educación ambiental, educación sexual, educación del consumidor y educación vial.

**Conviene que el Bachillerato cumpla con una triple finalidad educativa:**

- De formación general, en el sentido de favorecer una mayor madurez personal en quienes lo cursan, en su capacidad general y también en las capacidades específicas que se corresponden en los ámbitos culturales de cada modalidad.
- Orientadora, contribuyendo a perfilar y desarrollar proyectos formativos en los alumnos, que se concretarán en posteriores estudios y en la vida activa.
- Propedéutica o preparatoria, de modo que el Bachillerato asegure las bases para los estudios superiores, tanto universitarios como de formación profesional.

Se pretende fomentar la autonomía docente de los centros y la participación del alumnado. Tal planteamiento abierto permite al profesorado adecuar la docencia a las características de los alumnos y a la realidad educativa de cada centro, mediante la elaboración de proyectos y programaciones curriculares adaptadas a las características de los alumnos.

Terminamos transcribiendo los objetivos generales del Bachillerato:

- a) Dominar la lengua castellana y, en Baleares, la lengua propia de esta Comunidad Autónoma.
- b) Expresarse con fluidez y corrección en una lengua extranjera.
- c) Analizar y valorar críticamente las realidades del mundo contemporáneo y los antecedentes y factores que influyen en él.
- d) Comprender los elementos fundamentales de la investigación y del método científico.
- e) Consolidar una madurez personal, social y moral que les permita actuar de forma responsable y autónoma.
- f) Participar de forma solidaria en el desarrollo y mejora de su entorno social.
- g) Dominar los conocimientos científicos y tecnológicos fundamentales y las habilidades básicas propias de la modalidad escogida.
- h) Desarrollar la sensibilidad artística y literaria como fuente de formación y enriquecimiento cultural.
- i) Utilizar la educación física y el deporte para favorecer el desarrollo personal.

---

## Reflexión sobre la materia en el contexto del Bachillerato

En la historia de la humanidad ha sido constante la presencia y utilización de variadas técnicas, instrumentos o artefactos, con los que el hombre ha intentado no sólo su supervivencia sino también mejorar su calidad de vida.

En la actualidad es tal la importancia y desarrollo de esta faceta, que está afectando de forma extraordinariamente significativa a la vida de las personas, y al funcionamiento de las sociedades produciendo al mismo tiempo un considerable impacto medioambiental.

La estrecha interacción entre el avance científico y el desarrollo tecnológico, los cambios culturales y de nuestros sistemas de valores, además de otras implicaciones económicas y políticas derivadas de la realidad tecnológica, hacen especialmente necesario que en el aula se estudie y reflexione sobre este fenómeno.

Por otra parte la formación tecnológica es también una necesidad en un mundo tecnificado. En la Educación Primaria, la formación tecnológica aparece integrada en el área de «Conocimiento del Medio», mientras que en la Educación Secundaria Obligatoria se configura como un área propia, que pretende asegurar que los alumnos adquieran una formación tecnológica mínima que les permita alcanzar una comprensión adecuada de numerosos fenómenos y actividades sociales, y también para poder incorporarse al mundo del trabajo.

Como materia de modalidad en el Bachillerato tiene una función de proporcionar al alumno una formación más específica, preparándole y orientándole hacia unos estudios superiores o hacia la actividad profesional, además de seguir incidiendo en otras dimensiones formativas explícitas en los Objetivos generales del mismo.

Los componentes de la Tecnología del Bachillerato tienen una raíz y finalidad industriales, siendo el papel central de Tecnología Industrial II el estudio teórico y práctico de circuitos y sistemas automáticos, complementado con un conocimiento de materiales y máquinas marcadamente aplicativo y procedimental. (Ver Introducción y objetivos generales en el *Anexo: Currículo Oficial*).

Ha de contribuir a la consecución de los objetivos generales del Bachillerato, y proporcionar la base de conocimientos necesarios para que el alumno interesado pueda continuar estudios superiores.

Es de gran importancia la coordinación con otras asignaturas, sobre todo con aquellas que por su naturaleza puedan complementar a ésta.

### ***Ciencia, Tecnología y Sociedad***

Hemos incluido este punto dentro de la reflexión que estamos haciendo sobre la materia, porque lo consideramos de gran importancia. Las interacciones entre ciencia, tecnología y sociedad, creemos que tienen un especial interés formativo y propician una actitud positiva en el alumno, al abordar temas y fenómenos de gran repercusión en nuestro tiempo.

Desde la materia Tecnología Industrial II es conveniente adoptar esa posición abierta que permita analizar las relaciones mutuas entre ciencia y tecnología, y consecuencias de los avances tecnológicos y científicos tanto positivas como negativas en la sociedad y en el ambiente natural.

También las influencias sociales en el propio desarrollo científico y tecnológico a través de condicionamientos de índole económica y presión política o académica, que influyen en la investigación y en la propia evolución científica y tecnológica.

Creemos que desde esta posición multidisciplinar se pueden entender y abordar determinados problemas y fenómenos, buscar soluciones y adoptar criterios y posiciones críticas, propiciando en el alumnado actitudes y valores positivos.

---

## **Marco de referencia**

En el planteamiento curricular de la Reforma hay implícito un marco psicopedagógico que proporciona una serie de criterios o principios generales basados en la llamada concepción constructivista del aprendizaje y la enseñanza que pretenden ser, sin especificar metodologías concretas de actuación, una referencia para identificar, analizar e intentar dar solución a problemas relacionados con la enseñanza.

Hemos incluido este apartado, porque al ser este trabajo un intento de elaboración curricular queremos extraer esas bases psicopedagógicas al menos en un sentido amplio, de tal forma que nos sirvan de referente a la hora de realizar la programación.

Como el tratamiento que se hace en general de los distintos temas se hace de una forma muy resumida y poco rigurosa, se sugiere al final del apartado una bibliografía para el lector interesado.

## **Concepción constructivista y aprendizaje significativo**

Frente al modelo clásico de transmisión de conocimientos que asume el proceso de aprendizaje como una acumulación de nueva información, y básicamente basta una buena explicación y la realización de ejercicios para garantizar la comprensión y el conocimiento, en la concepción constructivista se le asigna al alumno el papel de protagonista en la construcción de su propio proceso de aprendizaje.

Se considera que el alumno posee una estructura conceptual previa, y su actividad mental constructiva cuando realiza las diversas teorías escolares, es la que construye y relaciona el nuevo conocimiento con el que ya posee.

El profesor en este enfoque adquiere su papel principal como orientador y guía de ese proceso, y ha de crear las condiciones para propiciar el aprendizaje significativo, entendiendo éste como el que tiene sentido para la persona que lo aprende, en función de la relación que establece con esquemas de conocimiento que ya posee, enriqueciendo su memoria comprensiva en vez de la memoria repetitiva, en la que es más fácil que se pierda la información precisamente por la falta de conexiones en su estructura mental.

Los principios del aprendizaje significativo<sup>1</sup> son:

- *Partir del nivel de desarrollo del alumnado y de sus aprendizajes previos.*
- *Asegurar la construcción de aprendizajes significativos a través de la movilización de sus conocimientos previos y de la memorización comprensiva.*
- *Posibilitar que los alumnos y las alumnas realicen aprendizajes significativos por sí solos.*
- *Proporcionar situaciones de aprendizaje que tengan sentido para los alumnos, con el fin de que resulten motivadoras.*
- *Proporcionar situaciones de aprendizaje que exijan una intensa actividad mental del alumno que le lleve a reflexionar y justificar sus actuaciones.*
- *Promover la interacción en el aula como motor del aprendizaje.*

---

1. Véase Proyecto curricular de Secundaria Obligatoria. MEC, 1992, pág. 49.

---

## **Marco psicopedagógico**

## **Nivel de desarrollo y conocimientos previos**

Las diversas experiencias educativas están condicionadas por el estado inicial del alumno, en el que hay que tener en cuenta básicamente dos factores. Por una parte el nivel de desarrollo cognitivo del alumno, o su nivel de competencia para la realización de determinadas operaciones. En este sentido podemos ver en la introducción del Real Decreto 1.179/1992, de 2 de octubre, ya mencionado, por el que se establece el currículo del Bachillerato, donde se dice:

*«...con el tipo de pensamiento y nivel de capacidad de los alumnos que, al comenzar estos estudios, han adquirido en cierto grado el pensamiento abstracto formal, pero todavía no lo han consolidado y deben alcanzar su pleno desarrollo en él.»*

Otro factor fundamental es la consideración de los conocimientos previos con los que ya cuenta el alumno, adquiridos mediante el aprendizaje escolar o en su vida cotidiana. Esto es importante, ya que como hemos comentado, cualquier nuevo aprendizaje se apoya en los conceptos y conocimientos que ha adquirido anteriormente, por lo que tiene una gran importancia a la hora de organizar los contenidos y la metodología.

Otra implicación importante es que la estructura conceptual previa con la que cuenta el alumno, le sirve o la utiliza para explicar y comprender los acontecimientos que le suceden, así como la nueva información que recibe. En la misma además de conocimientos, posee unas ideas previas o pre-conceptos, que interfieren en la comprensión de nuevos conceptos produciendo errores conceptuales.

El interés del tema ha hecho que se hagan múltiples estudios sobre las ideas y conocimientos previos de los alumnos en diversas áreas. A título de ejemplo, podemos citar: en la revista *Enseñanza de las Ciencias*, 1988, 6(3) sobre «circuitos eléctricos» y también sobre «la corriente eléctrica» en la misma revista citada, 1991, 9(2).

Mediante técnicas y recursos didácticos adecuados, se pretende activar los conceptos previos de los alumnos y confrontarlos con la nueva información y de esta forma favorecer el cambio conceptual.

## **Contenidos y su secuencia**

Como ya se ha indicado, se establece la diferencia entre tres tipos de contenido: hechos y conceptos, procedimientos y actitudes. Esta diferenciación tiene un valor pedagógico, ya que ayuda a la hora de organizar la práctica docente pudiendo también distinguir los procesos de enseñanza y evaluación en cada uno de ellos.

En la organización y secuenciación debe intentarse que esté presente un sentido explícito y comprensible. «La teoría de la elaboración propone presentar en un principio una panorámica global de las principales partes del contenido de la enseñanza, pasando seguidamente a elaborar cada una de ellas y regresando periódicamente a la visión de conjunto con el fin de enriquecerla y ampliarla. Se procede de este modo con todas las partes del contenido, hasta que todas ellas han sido elaboradas en un primer nivel de complejidad» (Coll, 1987 pág. 85).

Factores a considerar en la secuenciación de contenidos de los contenidos educativos (Del Carmen, L.: «Secuenciación de los contenidos educativos», *Cuadernos de Pedagogía*, nº 188, pág. 23):

- Pertinencia en relación al desarrollo evolutivo de los alumnos y alumnas.
- Coherencia con la lógica de las disciplinas que tratan de enseñarse.
- Adecuación de los nuevos contenidos a los conocimientos previos de alumnos y alumnas.

- Priorización de un tipo de contenidos a la hora de organizar las secuencias.
- Delimitación de unas ideas-eje.
- Otros que cita son continuidad y progresión, integración y equilibrio e interrelación.

Un importante recurso para la estructuración y organización de los contenidos son los mapas conceptuales, que tienen una gran aplicación tanto en la programación y preparación de la enseñanza, además de su utilización como técnica de trabajo en el aula.

Se hace patente la necesidad de profundizar en esta tarea durante la práctica en el aula, para solventar las dificultades que se presentan al intentar realizar esta secuenciación y organización de contenidos.

## **Bibliografía**

### **Sobre el marco psicopedagógico**

Ya que este apartado sobre el marco psicopedagógico lo hemos abordado de una forma muy resumida, presentamos a continuación una bibliografía relacionada con este tema para el lector interesado.

AUSUBEL, D. P. *Psicología Educativa: un punto de vista cognoscitivo*. México, Trillas. 1976.

BRUNER, J. S. *Aprendizaje por descubrimiento. Evaluación crítica*. México, Trillas. 1971.

COLL, C. *Psicología y currículum. Una aproximación psicopedagógica a la elaboración del currículum escolar*. Barcelona, Laia. 1987.

COLL, C. *Aprendizaje escolar y construcción del conocimiento*. Barcelona, Paidós. 1989.

COLL, C., PALACIOS, J. y MARCHESI, A. (Comps). *Desarrollo Psicológico y educación (vol II.) Psicología de la Educación*. Madrid, Alianza Editorial. 1990.

NOVAK, J. D. y GOWIN, D. B. *Aprendiendo a aprender*. Barcelona, Martínez Roca. 1988.

STENHOUSE, L. *La investigación como base de la enseñanza*. Madrid, Morata. 1987.

---

Entendemos por modelo o enfoque de enseñanza la forma con que el profesor aborda el modo de organizar y llevar la clase, considerando tanto su planificación, estrategias didácticas, organización del aula y relación con los alumnos.

Así se pueden identificar enfoques como el dirigista, modelo de proyectos, etc. En nuestra opinión, en esta materia en concreto, no conviene adherirse a una vía metodológica preponderante que tenga un nombre o una etiqueta, ya que consideramos que tiene mayor riqueza la complementariedad y en elegir lo mejor según la situación concreta que se plantee.

Lo que sí es necesario para poder hacer la programación es tener una perspectiva metodológica basada en el conocimiento de la materia, y en el análisis de los fines que se pretenden con su enseñanza. En la aplicación práctica tendré la oportunidad de reacondicionar, seleccionar y enriquecer esa perspectiva. Ya que estamos en una materia muy «automatizada» podemos decir, que la realimentación constante que obtengo durante su impartición hará que también modifique el método continuamente.

---

## **Modelos o enfoques en la enseñanza de la materia**

La forma de operacionalizar esa perspectiva, de cara a realizar la programación, será el enunciar unos principios metodológicos que me guíen en esa tarea. En el punto siguiente los hacemos explícitos, y los hemos extraído en este caso fundamentalmente, de todo el análisis precedente que se ha hecho en las páginas anteriores.

---

## Principios metodológicos generales

Entendemos como principios metodológicos, aquellos aspectos que nos guían y orientan en la práctica educativa hacia un fin propuesto. Cada profesor tiene los propios en función de su experiencia docente, materia que imparte y circunstancias concretas. En este caso enunciamos los siguientes:

1. Junto a la enseñanza específica de la materia, contribuir también activamente a la formación general del alumno, de cara a su madurez personal, social y moral.
2. Crear las condiciones para que el alumno tenga la oportunidad de valorar las repercusiones de la actividad tecnológica, manifestando y argumentando sus ideas y opiniones.
3. Mediante el diseño de situaciones de aprendizaje adecuadas, hacer posible un aprendizaje significativo, teniendo en cuenta las capacidades y conocimientos previos de los alumnos.
4. Enseñar formas de sistematizar los procesos de trabajo y resolución de problemas en general, animándoles asimismo a la reflexión e indagación, familiarizándoles con la metodología científica.
5. Plantear actividades que potencien el trabajo en equipo, que lleven a la consecución de proyectos, y realizaciones prácticas llevadas a cabo de forma operativa y participativa.
6. Establecer las condiciones y actividades adecuadas para desarrollar en el alumno autonomía y confianza para inspeccionar, manipular e intervenir en máquinas, sistemas y procesos técnicos y comprender su funcionamiento.
7. Conectar continuamente los conocimientos y realización de actividades académicas con aplicaciones prácticas de la vida real.
8. Proporcionar la motivación adecuada, de cara a fomentar un clima de trabajo y convivencia en el aula.
9. Todas las actividades de enseñanza y aprendizaje han de tener un propósito definido, y se intentará la utilización de materiales diversos para enriquecer la experiencia práctica que se pretende lograr.

### III. Orientaciones didácticas y para la evaluación

---

#### Orientaciones generales

Una vez que he definido el estilo metodológico que voy a llevar a cabo, he de elegir aquellas estrategias o recursos didácticos que se utilizarán para llevar a cabo las actividades de aprendizaje.

Al igual que cada profesor elabora su propia metodología en consonancia con su experiencia y circunstancias del contexto donde imparte la enseñanza, se puede decir otro tanto con respecto a la elección de las estrategias didácticas.

No hay recetas, ya que las distintas situaciones y alumnos pueden demandar formas muy distintas, aparte de lo comentado de la experiencia y concepción del profesor en cada caso.

En este trabajo pretendemos elaborar un boceto de programación y en ese sentido nos definimos en unos principios metodológicos y ahora en unas determinadas orientaciones didácticas que podemos concretar en:

Partiendo de la idea de que el alumno es el verdadero protagonista de su propio proceso de aprendizaje, dependiendo fundamentalmente de él la construcción del conocimiento, las actividades que se planteen han de estar enfocadas a su participación activa en ese proceso.

Su participación activa aludida, puede llevarla a cabo a través de tres líneas básicas, alrededor de las cuales vamos a enfocar las distintas actividades:

- a) Su trabajo individual que consistirá en estudiar, realizar ejercicios, reflexionar, etc.
- b) Su participación con otros compañeros en un grupo o equipo de trabajo, que se formará a principio de curso y en donde se discutirán las lecturas propuestas a lo largo de los distintos temas, así como la realización de prácticas con sus correspondientes fases de análisis, ejecución y presentación de resultados.
- c) La otra gran línea de actuación estará constituida por la exposición didáctica por parte del profesor en clase, que pretenderá con ella dar contenidos, presentar panorámicas y síntesis finales de temas, orientar y obtener mediante preguntas y discusiones información y conocimientos sobre conocimientos previos y progresos de aprendizaje. La actividad del alumno en este caso estará constituida por la atención y reflexión sobre las explicaciones, realización de preguntas, participación en discusiones y coloquios y hacer los ejercicios propuestos en clase.

La importancia de integrar y relacionar conocimientos aconseja, además de tenerlo en cuenta en la exposición y demás actividades, el utilizar alguna técnica potente como la utilización de mapas conceptuales que además la podemos emplear en la detección de conocimientos previos y en evaluación.

Según la Teoría de la Elaboración, es conveniente presentar previamente una visión de conjunto del contenido que se va a impartir, pasando seguidamente a profundizar cada una de sus partes y volviendo sucesivamente a la visión de conjunto.

Conviene buscar conexiones y relaciones con conocimientos de otras materias y la aplicabilidad de los conocimientos que se van adquiriendo en la vida real. Los posibles temas transversales y actividades extraescolares que se puedan tratar y organizar, estarán igualmente incardinados en el proceso de enseñanza.

El hecho de disponer de un Taller de Tecnología, posibilita el disponer de un espacio en el que además de realizar las distintas prácticas, podemos crear un servicio de documentación y archivo con catálogos, artículos, manuales y libros. Conviene que los alumnos asuman las distintas responsabilidades de archivo, organización y reparto del material para prácticas, herramientas e instrumentación, etc., todo ello bajo la supervisión del profesor.

---

## Orientaciones para la evaluación

El artículo 21 del Real Decreto 1179/1992 por el que se establece el currículo del Bachillerato, se refiere a la evaluación, indicando que se realizará teniendo en cuenta los objetivos educativos y los criterios de evaluación establecidos en el currículo. Los criterios de evaluación referidos a Tecnología Industrial II, están en el anexo del mencionado decreto, reproducido en la primera parte de esta publicación.

El proceso de evaluación es un instrumento poderoso en la práctica educativa, y nos puede servir para:

- Planificar y programar las actividades de enseñanza–aprendizaje a partir de la evaluación inicial, que nos proporcionará datos sobre las características y conocimientos previos de los alumnos. Además de conseguir estos datos, esta evaluación inicial tiene una función motivadora en el alumno que se da cuenta mediante ella de sus dificultades, contradicciones y lagunas en el tema que se va a tratar.

Durante el proceso de enseñanza, mediante los datos de evaluación (evaluación formativa) realizada de una forma continua y sistemática, vamos reajustando ese proceso con el fin de adecuar en cada momento la ayuda pedagógica al estado de aprendizaje de los alumnos. Asimismo nos puede servir como un medio que pone a prueba nuestras propias hipótesis y estrategias de trabajo, sirviéndonos como reflejo de esa comprobación práctica, que nos permite tomar decisiones de continuar en la línea que llevábamos, o hacer las variaciones oportunas.

Por último para determinar si se han alcanzado o no los fines educativos (evaluación sumativa); siendo este tipo de evaluación también, una oportunidad para evaluar todo el proceso educativo.

En la programación de las actividades de evaluación, conviene hacerse las siguientes preguntas:

### **¿Qué evaluar?**

La podemos determinar a partir de los criterios de evaluación de la asignatura, así como las necesidades de evaluación de conocimientos previos, del proceso, etc.).

### **¿Cómo evaluar?**

Especificaremos los procedimientos e instrumentos de evaluación.

### **¿Cuándo evaluar?**

La contestaremos haciendo la planificación de las distintas evaluaciones (iniciales, formativas y sumativas).

Otras orientaciones útiles son:

- Valorar los distintos tipos de contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales; por lo que conviene utilizar técnicas variadas que permitan evaluar convenientemente los distintos tipos de contenidos mencionados.
- Dar información previa al alumnado sobre las actividades y criterios de evaluación, así como forma de llevarlas cabo y temporalización.
- Utilización de procedimientos especialmente potentes como la autoevaluación, coevaluación entre alumnos, utilización de mapas conceptuales, etc., junto a la aplicación de las pruebas más clásicas, cuidando la fiabilidad y validez de las mismas.

---

Dentro de este apartado queremos destacar esta técnica o estrategia a la que nos hemos venido refiriendo en varias ocasiones. Los mapas conceptuales son un sistema de representación de los conceptos, así como de las relaciones entre los mismos.

Fueron ideados por Joseph D. Novak desde el marco teórico del aprendizaje significativo, y pueden ser de gran ayuda en la construcción de nuevos significados y constituir una herramienta útil en varios aspectos, que podemos resumir en:

- Detección de conocimientos previos.
- Como actividad de enseñanza-aprendizaje, tanto a nivel individual como en grupo.
- Medio para mejorar la comprensión y el recuerdo.
- Preparación de la programación o preparación de la clase (Véase el mapa conceptual previo correspondiente a la Unidad didáctica que se presenta como ejemplo de desarrollo).
- Como técnica de evaluación.

Los elementos fundamentales de un mapa conceptual son:

- Los conceptos que se representan en una elipse o recuadro y son los puntos de confluencia o nódulos.
- Las palabras-enlace que sirven de nexo entre los conceptos.
- Las proposiciones que constan de dos o más conceptos unidos por palabras-enlace.

Nuestro propósito es sólo expositivo y recoger a este nivel los recursos y todo aquello que nos pueda ayudar en la preparación de la materia. Para profundizar sobre el tema véase la bibliografía siguiente:

### **Bibliografía básica**

NOVAK, J. D. y GOWIN, D. B. *Aprendiendo a aprender*. Barcelona, Martínez Roca. 1988.

ONTORIA, A. y OTROS. *Mapas conceptuales. Una técnica para aprender*. Madrid, Narcea. 1992.

---

## **Mapas conceptuales**



# Programación

---

## Consideraciones previas

Los centros concretarán y completarán el currículo de Bachillerato, mediante la elaboración de **proyectos curriculares** que respondan a las necesidades de los alumnos, y que incluirán entre otros los siguientes elementos (artículos 18 y 19 del Real Decreto 1.179/92 de 2 de octubre):

- a) *Organización de las materias propias de las modalidades impartidas en el centro y de las materias optativas ofrecidas.*
- b) *Criterios sobre la evaluación de los alumnos, en particular, sobre el modo de llevar a efecto la evaluación colegiada de los mismos.*
- c) *Criterios sobre la evaluación del currículo en las enseñanzas de Bachillerato.*
- d) *Plan de orientación educativa y profesional.*
- e) *Las programaciones elaboradas por los departamentos o seminarios.*

Respecto a estas programaciones, el artículo 19 dice:

*«Estas programaciones deberán contener una adecuación de los objetivos de la respectiva materia al contexto socioeconómico y cultural del centro y de las características del alumnado, la distribución y el desarrollo de los contenidos, los principios metodológicos de carácter general, y los criterios sobre el proceso de evaluación, así como los materiales didácticos para uso de los alumnos.*

*Las decisiones relativas a la secuencia de contenidos y a los materiales de uso del alumnado tendrán validez para cada grupo de alumnos a lo largo de los dos cursos del Bachillerato».*

En definitiva, la elaboración de la programación corresponde a lo que se ha llamado el tercer nivel de concreción del currículo, y se utiliza con el fin de planificar las diversas actividades que se han de llevar a cabo durante el curso en una determinada materia, teniendo en cuenta las características y organización del centro, así como las peculiaridades propias del grupo de alumnos para el cual se hace y también los medios de que se disponen.

En vez de presentar en este caso un desarrollo de la programación en unidades didácticas, hemos optado por hacerlo a partir de los bloques temáticos tal como vienen en el anexo del decreto del currículo de Bachillerato para Tecnología Industrial II, ya que en cualquier caso cada profesor ha de hacer una **adaptación a su propia realidad**, donde tenga que impartir la clase, y por tanto, la organización en unidades didácticas, secuencia, temporalización y forma definitiva de acuerdo con esa realidad.

Presentaremos para cada uno de los bloques de contenidos que son prescriptivos, sugerencias sobre objetivos didácticos, contenidos y actividades como un material que puede ser útil para la elaboración de las programaciones.

En este sentido hemos hecho, porque era necesario para llevar a cabo el planteamiento apuntado anteriormente, una propuesta de temporalización, teniendo en cuenta los cinco bloques de contenidos y actividades asociadas a cada uno de ellos, así como otros aspectos referidos a la organización del curso.

Creemos interesante transcribir parte del apartado VII, de la Orden Ministerial sobre evaluación de alumnos de Bachillerato (BOE 20.11.92), que trata sobre evaluación de las programaciones y del proyecto curricular. En su punto 19, indica:

«3. *Los elementos de las programaciones sometidos a evaluación serán, principalmente, los siguientes:*

*Oportunidad de la selección, distribución y secuenciación de los contenidos a lo largo del curso.*

*Idoneidad de los métodos empleados y de los materiales didácticos propuestos para uso de los alumnos.*

*Adecuación de los criterios de evaluación.*

4. *Las modificaciones que se deriven de la evaluación de cada programación se harán constar en un informe y serán incorporadas a la programación del curso siguiente».*

---

## Temporalización y organización

El actual modelo de currículo abierto proporciona al profesorado una cierta autonomía y flexibilidad, que le permite organizar la enseñanza, su secuencia, organización de unidades didácticas y temporalización, en función de las características de sus alumnos y del centro de enseñanza. En este sentido, la propuesta que desarrollamos a continuación tiene carácter orientativo.

Como materia de modalidad le corresponden cuatro horas semanales de impartición.

Al tener que examinarse los alumnos de este segundo curso de la prueba de selectividad, hay que considerar que terminan a finales de mayo a efectos de impartir la materia. Teniendo en cuenta esto se dispone de 112 horas lectivas efectivas, que podemos distribuir de la siguiente forma:

*Presentación y panorámica global de Tecnología Industrial II.* Anuncio de la organización del curso, cuestiones metodológicas y sistema de evaluación. Formación de los grupos de alumnos. Realización de alguna prueba para detección de conocimientos previos y discusión: 4 horas.

*Materiales:* 20 horas.

*Principios de máquinas:* 20 horas.

*Sistemas automáticos (incluido Control analógico):* 28 horas.

*Control y programación de sistemas automáticos. Circuitos lógicos combinacionales y secuenciales. Control programado:* 24 horas.

*Circuitos neumáticos y oleohidráulicos:* 12 horas

*Recapitulación y síntesis de la materia:* 4 horas.

En el caso de *Circuitos neumáticos y oleohidráulicos*, hemos cambiado el orden poniéndolo a continuación de haber visto *Circuitos lógicos*, ya que puede utilizarse como aplicación de lo visto en ese bloque de *Control y programación de sistemas automáticos*.

Si existe la posibilidad de realización de alguna actividad de tipo transversal intentar ponerla en el primer trimestre.

Es una materia muy amplia y con los tiempos muy ajustados como se puede observar. En este sentido conviene ver la posible coordinación con otras materias como Electrotecnia y Mecánica para tener en cuenta conocimientos similares que se han impartido en éstas.

Asimismo al tener que haber incluido todos los contenidos que prescribe el decreto del currículo del Bachillerato, el nivel de profundización que se podrá alcanzar en cada uno de ellos no podrá ser muy elevado, siendo prioritario la claridad de ideas y los rudimentos más importantes, en vez de un estudio detallado y pormenorizado de todo, que obviamente no es factible por la extensión de la materia y la limitación de tiempo.

En esta línea, al realizar esta previsión de tiempo y organización de temas, nos planteamos la necesidad de seleccionar cuidadosamente las actividades a realizar, en función de los recursos disponibles y el decantarnos por unos temas con respecto a otros.

Por ejemplo en *Control programado*, si nos decidimos a estudiar más detenidamente el autómatas programable, evidentemente el microprocesador como tal, habrá que verlo a nivel de diagramas de bloques y nociones fundamentales, sin posibilidad de hacer ejercicios prácticos con el mismo.

En *Principios de máquinas* también es viable esta línea de, viendo todo, seleccionar en función de las disponibilidades, aquellos temas que se consideren de mayor peso con respecto a otros.

En general en los otros bloques habrá que tomar decisiones en este sentido, para rentabilizar al máximo los recursos y el tiempo disponible.

La experiencia práctica de impartición de la materia, probablemente proporcionará ajustes a esta temporalización que, como todo lo que se planifica *a priori*, es hipotética.

---

Para cada uno de los bloques presentamos objetivos, contenidos, temporalización, actividades concretas de enseñanza y aprendizaje y bibliografía básica.

Los **contenidos** son los medios mediante los cuales se intentarán conseguir los objetivos o fines educativos. Existen de tipo conceptual, procedimental y actitudinal y habrán de programarse de forma conjunta.

Los contenidos se trabajan mediante las actividades propuestas, de acuerdo con unos principios metodológicos y estrategias didácticas que hayamos estipulado.

Los contenidos de tipo **conceptual** incluyen conceptos, hechos y principios y son los más directamente relacionados con el tema tratado en la Unidad didáctica.

Los contenidos **procedimentales** son procedimientos y estrategias que se refieren a habilidades, estrategias de actuación, al saber-hacer, métodos, etc.

Los contenidos sobre **actitudes, valores y normas** siempre han estado presentes en el aula, aunque formando parte de lo que se ha llamado el currículo oculto, ya que se adquirían a pesar de que normalmente no se les había planificado o programado. Se trata de que la programación recoja estos contenidos, para fomentar la adquisición de los valores, actitudes y normas positivas, propiciando el clima y las situaciones educativas que los produzcan de una forma intencionada y sistemática.

## Bloques de contenidos

## **Materiales**

---

### **Objetivos**

- Analizar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales, en función de su estructura interna.
- Explicar la necesidad e importancia de los tratamientos térmicos, en la modificación y mejora de las características de los materiales.
- Describir el tratamiento necesario para conseguir unas determinadas modificaciones de las características de un material, dando unas condiciones de partida.
- Elegir el ensayo idóneo para evaluar una determinada propiedad o característica de un material dado.
- Identificar los materiales más utilizados en la industria en función de sus aplicaciones.
- Valorar la importancia económica y social de la reutilización de materiales.
- Conocer los riesgos de la transformación, elaboración y desecho de materiales.

### **Contenidos**

- Estructura atómica.
- Estructura cristalina.
- Propiedades:
  - Físicas.
  - Químicas.
  - Mecánicas.
- Aleaciones.
  - Diagramas de equilibrio.
  - Aleaciones hierro-carbono.
  - Aleaciones comerciales.
- Tratamientos térmicos de los aceros.
  - Normalizado y recocido.
  - Temple.
  - Revenido.
  - Termoquímicos.
- Oxidación y corrosión.
  - Corrosión y efectos de la misma.
  - Mecanismo general de corrosión.

- Causas de la corrosión.
- Protección contra la corrosión (recubrimientos electrolíticos, por inmersión, metalización, chapado, tratamientos de difusión, recubrimientos no metálicos).
- Procedimientos de ensayo y medida de materiales.
  - Ensayos de composición.
  - Análisis térmicos.
  - Ensayos de propiedades mecánicas (tracción, compresión, resiliencia, dureza).

## Temporalización

El tiempo asignado es de cinco semanas que totalizan veinte horas.

## Actividades

- Lectura y trabajo en grupos de un texto o artículo, sobre la importancia económica y social de la reutilización de materiales.
- Lectura y comentario de recortes de prensa o en revista especializada, sobre investigación y desarrollo de nuevos materiales.
- Realizar mapas conceptuales sucesivos a lo largo del desarrollo del tema, integrando la nueva información con la anterior.
- Manejar y manipular diversos materiales, realizando dentro de las posibilidades con las que se cuenten ensayos prácticos, para identificar sus propiedades características.
- Manejo de catálogos, prontuarios, revistas, etc.

## Bibliografía básica

GUY, A. G. *Fundamentos de Ciencia de Materiales*. México. Mc Graw-Hill. 1980.

ENCICLOPEDIA CEAC DEL DELINEANTE. *Materiales y Tecnología mecánica*. Barcelona, Ediciones CEAC. 1986.

ROSIQUE, J. y COCA, P. *Ciencia de los Materiales*. Madrid, Pirámide. 1990.

## Principios de máquinas

---

### Objetivos

- Resolver ejercicios en los que se apliquen los conceptos fundamentales explicados sobre las máquinas.
- Explicar adecuadamente el funcionamiento de los motores eléctricos, térmicos y del sistema frigorífico.
- Analizar las diversas aplicaciones de los distintos tipos de máquinas.
- Comparar las diferentes clases de máquinas, en función de sus aplicaciones.

- Poner en marcha algunas de las máquinas disponibles, y regular su funcionamiento.
- Expresar con el vocabulario adecuado las partes constituyentes de las diversas máquinas, y las condiciones adecuadas de mantenimiento.
- Conocer normas de protección y seguridad en el uso de las máquinas.

## **Contenidos**

- Conceptos fundamentales.
  - Energía útil.
  - Potencia de una máquina.
  - Par motor.
  - Pérdidas de energía en las máquinas.
  - Rendimiento.
- Motores de corriente continua.
  - Motor elemental de corriente continua.
  - Reacción del inducido.
  - Fuerza contraelectromotriz.
  - Velocidad.
  - Tipos de motores de corriente continua.
  - Control de arranque y velocidad.
  - Aplicaciones.
- Motores asíncronos de inducción.
  - Fundamento y principio de funcionamiento.
  - Puesta en marcha.
  - Regulación de la velocidad.
  - Motores trifásicos. Tipos.
  - Motores monofásicos. Tipos.
  - Aplicaciones.
- Motores térmicos. Clasificación general.
- Motores alternativos.
  - Principio de funcionamiento.
  - Partes fundamentales.
  - Potencia.
  - Tipos y aplicaciones.

- Motores rotativos. Aplicaciones.
- Circuito frigorífico.
  - Principio de funcionamiento.
  - Elementos fundamentales (Evaporador, condensador, compresor, y elemento de expansión).
  - Instalación y mantenimiento. Aplicaciones.
  - Bomba de calor.

## Temporalización

El tiempo asignado es de cinco semanas que totalizan veinte horas.

## Actividades

- Realizar ejercicios y problemas en los que se manejen y apliquen los conceptos fundamentales.
- Manejar catálogos y bibliografía relacionada.
- Realizar esquemas conceptuales específicos para cada tipo de máquina y uno global.
- Realizar el montaje y desmontaje de alguna máquina.
- Puesta en marcha y regulación de funcionamiento de las máquinas disponibles.
- A nivel de grupos de alumnos, especializarse cada uno de ellos en un tipo de motor, y posteriormente exponer al resto de sus compañeros las conclusiones y opiniones de su trabajo.

## Bibliografía básica

- CONAN, J. G. *Refrigeración industrial*. Madrid, Paraninfo. 1990.
- DUMON, R., CHRYSOSTOME, G. *La bomba de calor*. Barcelona, Toray-Masson. 1981.
- ENCICLOPEDIA CEAC DEL DELINEANTE. *Motores y Máquinas*. Barcelona, Ediciones Ceac. 1986.
- GIACOSA, D. *Motores endotérmicos*. Barcelona, Omega. 1988.
- PERAGALLO, R. *Manual básico de motores eléctricos*. Madrid, Paraninfo. 1990.

## Sistemas automáticos

---

### Objetivos

- Reconocer la importancia actual de los sistemas automáticos en los ámbitos industrial, social y personal.
- Describir los conceptos fundamentales de sistema, realimentación, función de transferencia y estabilidad, así como su manejo y aplicación.
- Analizar los elementos constituyentes de un sistema de control, y distinguirlos por la función que realizan.

- Profundizar en el estudio y manejo de cada uno de los componentes de un sistema de control.
- Representar, con la simbología adecuada, un sistema de control automático.
- Realizar el montaje y manipulación práctica en el laboratorio, de sistemas de control analógicos sencillos.

## Contenidos

- Introducción a los sistemas automáticos.
  - Definiciones y conceptos fundamentales.
  - Historia del control automático.
  - Estado actual de la técnica. Implicaciones.
  - Clasificación de los sistemas automáticos.
- Estructura de un sistema automático.
  - Concepto de sistema. Entrada, proceso, salida.
  - Función de transferencia.
  - Sistemas de control en lazo abierto y cerrado. Concepto de realimentación.
  - Representación de los sistemas de control. Elementos principales de que consta.
  - Función de transferencia total de un sistema. Reglas de simplificación.
- Tipos de control.
  - Tipos de señales: analógicas,  
digitales,  
convertidores A/D y D/A.
  - Tipos de control: analógico,  
lógico,  
híbrido,  
con ordenador.
- Componentes de un sistema de control.
  - Transductores y captadores: Posición,  
Velocidad,  
Presión,  
Temperatura.
- Comparadores.
- Actuadores.
- Control analógico de sistemas.
  - Noción de estabilidad.
  - Ejemplos prácticos.

## Temporalización

El tiempo asignado es de siete semanas, que totalizan 28 horas.

## Actividades

Además de la exposición, realización de ejercicios a nivel individual y en grupo, y las actividades propias de detección conocimientos previos, proponemos como actividades concretas:

- Lectura y trabajo en grupos de un texto o artículo, sobre la importancia, relevancia e implicaciones de la automatización y posterior discusión en clase.
- Redacción por parte de los alumnos de una definición de automatización, teniendo en cuenta que toda definición ha de contestar a las preguntas:
  - ¿Qué objetivo persigue?
  - ¿Cómo lo hace?
  - ¿Con qué?
  - ¿Para qué?
- Buscar en el diccionario términos relacionados con los conceptos que se estén manejando, y buscar ejemplos que ilustren esos conceptos.
- Hacer diagramas de bloques de sistemas automáticos, así como de sistemas biológicos y su aplicación también en otras ciencias, manejando el concepto de sistema en lazo abierto y cerrado.
- Hacer ejercicios de simplificación, hallando la función de transferencia global de un sistema y cálculo de estabilidad (criterio de Routh).
- Manejo de catálogos y revistas especializadas.
- Manipulación y observación de elementos reales de un sistema de control.
- Montaje de un sistema de control analógico

## Bibliografía básica

CREUS, A. *Control de procesos industriales*. Barcelona, Marcombo. 1988.

DISTEFANO, J. y OTROS. *Retroalimentación y sistemas de control*. México, McGraw-Hill. 1987.

DORF, R. *Sistemas modernos de control*. México, Addison-Wesley Iberoamericana. 1989.

SCHMITT, N. y FARWELL, R. *Robótica y sistemas automáticos*. Madrid, Anaya Multimedia. 1988.

VARIOS AUTORES. *Introducción a los sensores*. Madrid, CSIC/CDTI. 1987.

VARIOS AUTORES. *Electrónica y Automática industriales. Vol. I y II*. Serie: Mundo Electrónico. Barcelona, Marcombo. 1981.

## Control y programación de sistemas automáticos

---

### Objetivos

- Describir adecuadamente la conceptualización de un sistema de control lógico.
- Realizar correctamente ejercicios con funciones lógicas y simplificación de las mismas.

- Conocer los distintos tipos de elementos que pueden constituir un sistema de control lógico.
- Diseñar y realizar circuitos lógicos combinacionales, que resuelvan un problema de control planteado.
- Analizar las técnicas de control programado mediante microprocesadores, así como sus campos de aplicación.
- Manejar y programar el autómata programable, de cara a resolver problemas de automatización dados.

## **Contenidos**

- Introducción a los sistemas digitales.
- Funciones lógicas.
  - Función igualdad.
  - Función unión.
  - Función intersección.
  - Función negación.
  - Función NAND.
  - Función NOR.
  - Función OR y NOR exclusivas.
- Puertas lógicas.
  - Puertas AND y NAND.
  - Puertas OR y NOR.
  - Puertas NOT.
  - Puertas lógicas eléctricas, neumáticas y electrónicas.
- Álgebra de Boole.
- Simplificación gráfica por Karnaugh.
- Circuitos lógicos combinacionales.
  - Concepto y características generales.
  - Método de resolución.
  - Ejemplos de lógica combinatoria.
- Circuitos lógicos secuenciales.
  - Concepto y características generales.
  - Función memoria y función temporización.
  - Biestables.

- Ejemplos de lógica secuencial.
- Microprocesador como elemento de control programable.
  - Fundamentos de funcionamiento.
  - Programación.
  - Aplicaciones.
- Autómata programable.
  - Distinción entre lógica cableada y programada.
  - Características generales.
  - Programación.
  - Campos de aplicación.
  - Ejercicios prácticos.

## Actividades

- Realizar ejercicios sobre representación de funciones lógicas, simplificándolas y dibujando el esquema correspondiente a las mismas.
- Diseñar circuitos combinacionales y secuenciales sencillos, y posterior montaje o prueba sobre entrenador, para verificar su funcionamiento.
- Aprender a manejar y programar el autómata programable y aprovechar la posibilidad de poder realizar ejercicios anteriores, tanto combinacionales como secuenciales, mediante esta técnica.
- Manejo de bibliografía y catálogos relacionados con el tema.
- Hacer un estudio comparativo entre una solución de lógica cableada y otra a través de un autómata programable de una aplicación concreta, recogiendo aspectos económicos, necesidades de espacio, versatilidad, etc.

## Temporalización

El tiempo asignado es de seis semanas, que totalizan 24 horas.

## Bibliografía básica

- ANGULO, J. M. *Microprocesadores. Diseño práctico de sistemas*. Madrid, Paraninfo. 1986.
- CANON, D. y LUECKE, G. *Microprocesadores*. Madrid, Anaya Multimedia. 1988.
- CUESTA, L. y GIL, A., REMIRO, F. *Electrónica Digital*. Madrid, McGraw-Hill. 1992.
- NO, J. y ANGULO, J. M.<sup>a</sup>. *Control de procesos industriales por computador*. Madrid, Paraninfo. 1988.
- PORRAS, A. y MONTANERO, A. P. *Autómatas programables*. Madrid, MacGraw-Hill.
- SIMÓN, A. *Autómatas programables*. Madrid, Paraninfo. 1988.
- SAHUQUILLO, I. y LASCORZ, P. *Prácticas con sistemas electrónicos*. Madrid, MacGraw-Hill. 1993.

## ***Circuitos neumáticos y oleohidráulicos***

---

### **Objetivos**

- Analizar la importancia que tiene esta técnica dentro de la automatización, sobre todo combinada con la electricidad y la electrónica.
- Describir los conceptos y fundamentos básicos sobre mecánica de fluidos.
- Explicar la función de los diversos componentes de un circuito típico neumático.
- Aplicar los conocimientos sobre diseño de circuitos adquiridos en la unidad anterior, al diseño de circuitos con puertas lógicas neumáticas.
- Representar esquemáticamente y montar circuitos neumáticos, para resolver un problema dado.
- Construir soluciones en la que se combine esta técnica, con otras vistas anteriormente.

### **Contenidos**

- Automatización neumática.
- Conceptos básicos sobre mecánica de fluidos.
- Producción y distribución del aire comprimido.
- Actuadores neumáticos.
- Válvulas de control. Distribuidores.
- Regulación de la velocidad y presión.
- Sistemas electroneumáticos.
- Introducción a los sistemas oleohidráulicos.
- Representación e interpretación de esquemas.
- Montaje e instalación de circuitos.

### **Temporalización**

El tiempo asignado es de tres semanas, que totalizan 12 horas.

### **Actividades**

- Realizar ejercicios en los que se manejen conceptos básicos sobre mecánica de fluidos.
- Realizar ejercicios vistos anteriormente con puertas lógicas eléctricas o electrónicas, con puertas neumáticas.
- Representar y montar los circuitos neumáticos sobre entrenador.
- Utilizar el autómatas programable para el gobierno y control de un circuito electroneumático.
- Manejar bibliografía y catálogos relacionados con el tema.

## **Bibliografía básica**

DEPERT, W.; STOLL, K. *Dispositivos neumáticos*. Barcelona, Marcombo. 1988.

DEPERT, W.; STOLL, K. *Aplicaciones de la neumática*. Barcelona, Marcombo. 1991.

GILLEN, A. *Introducción a la neumática*. Barcelona, Marcombo. 1988.

ROLDÁN, J. *Neumática, hidráulica y electricidad aplicada*. Madrid, Paraninfo. 1991.



# Desarrollo de una Unidad: Introducción a la Automática

---

## Descripción de la Unidad

Mediante esta Unidad didáctica pretendemos hacer una introducción en los fundamentos y conceptos básicos de la Automática. Mediante ella, han de llegar a conocer lo que es la Automática como ciencia o técnica con una cierta tradición, así como también su aplicación, qué es la automatización en los diversos sectores con las múltiples implicaciones que conlleva su implantación.

Son de tal importancia esas implicaciones a nivel económico, social y personal, que se dedica un espacio a su análisis y discusión. También se considera de interés hacer un sondeo histórico de la Automática a través de los tiempos, atendiendo también a los orígenes de la misma en nuestro país. Todo ello creemos que es muy instructivo, tanto para la formación específica de los alumnos en este campo, como por su importancia, debido a la trascendencia del fenómeno y sus repercusiones, que hacen que constituya un tema relevante en la formación general de un alumno de Bachillerato.

Se hace una reflexión sobre el problema del control, y las posibles acciones a realizar. Se estudian los diversos tipos de sistemas de control en bucle abierto y cerrado y la forma de representarlos, y la lógica de su funcionamiento.

Los conceptos fundamentales de realimentación y función de transferencia reciben una atención especial, así como la constitución típica de un sistema de control.

Se ven asimismo todos los conceptos y terminología asociada a los sistemas automáticos, intentando poner muchos ejemplos para conseguir que se sienten bien estas bases para asegurar el estudio posterior.

Esta Unidad didáctica está encuadrada dentro de la asignatura de Tecnología Industrial II en el bloque temático denominado «Sistemas Automáticos». Introduce en el tema, y en otra segunda Unidad didáctica se debería tratar todo lo relativo al Álgebra de Bloques, estudio sencillo de estabilidad y análisis simple de un sistema.

Asimismo también habría que profundizar en el hardware básico del sistema de control, viendo los tipos más utilizados de sensores, controladores, comparadores, etc., para finalmente hacer algún montaje y experimentación con algún sencillo circuito de control.

Los contenidos hemos preferido desarrollarlos por sesiones, bien directamente, o dando las referencias oportunas para su preparación y obtención de materiales. En cada sesión se sugieren asimismo actividades a realizar, y al final hemos incluido una serie de lecturas que pueden servir como material de trabajo para los alumnos.

Es una Unidad didáctica de carácter esencialmente teórico que ha de sentar las bases, para poder abordar en otra u otras Unidad didáctica sucesivas un estudio más aplicado y procedimental.

---

## Organización y planificación

### **Mapa conceptual**

En la página siguiente se representa el mapa conceptual que hemos realizado previamente al desarrollo de la Unidad didáctica, y en el que aparecen todos aquellos conceptos organizados y relacionados que deseamos constituyan el contenido de la citada Unidad didáctica.

### **Consideración de los tres tipos de contenidos**

En la planificación prevemos la consideración de contenidos de tipo conceptual, procedimental y actitudinal.

Los primeros son el cuerpo principal de la Unidad didáctica formado por los conceptos, hechos y principios propios del tema, con todas las definiciones y vocabulario asociado.

Los **procedimentales** se referirán principalmente a:

- Realización de diagramas de bloques
- Realización de mapas conceptuales.
- Manejo de documentación.
- Manipulación de componentes y sistemas en el laboratorio.

En cuanto a los contenidos actitudinales reciben una atención especial, ya que se propicia desde la programación de la Unidad didáctica, la discusión sobre temas y cuestiones relevantes desde un punto de vista social y personal, intentando formar una opinión crítica y un criterio sobre los mismos.

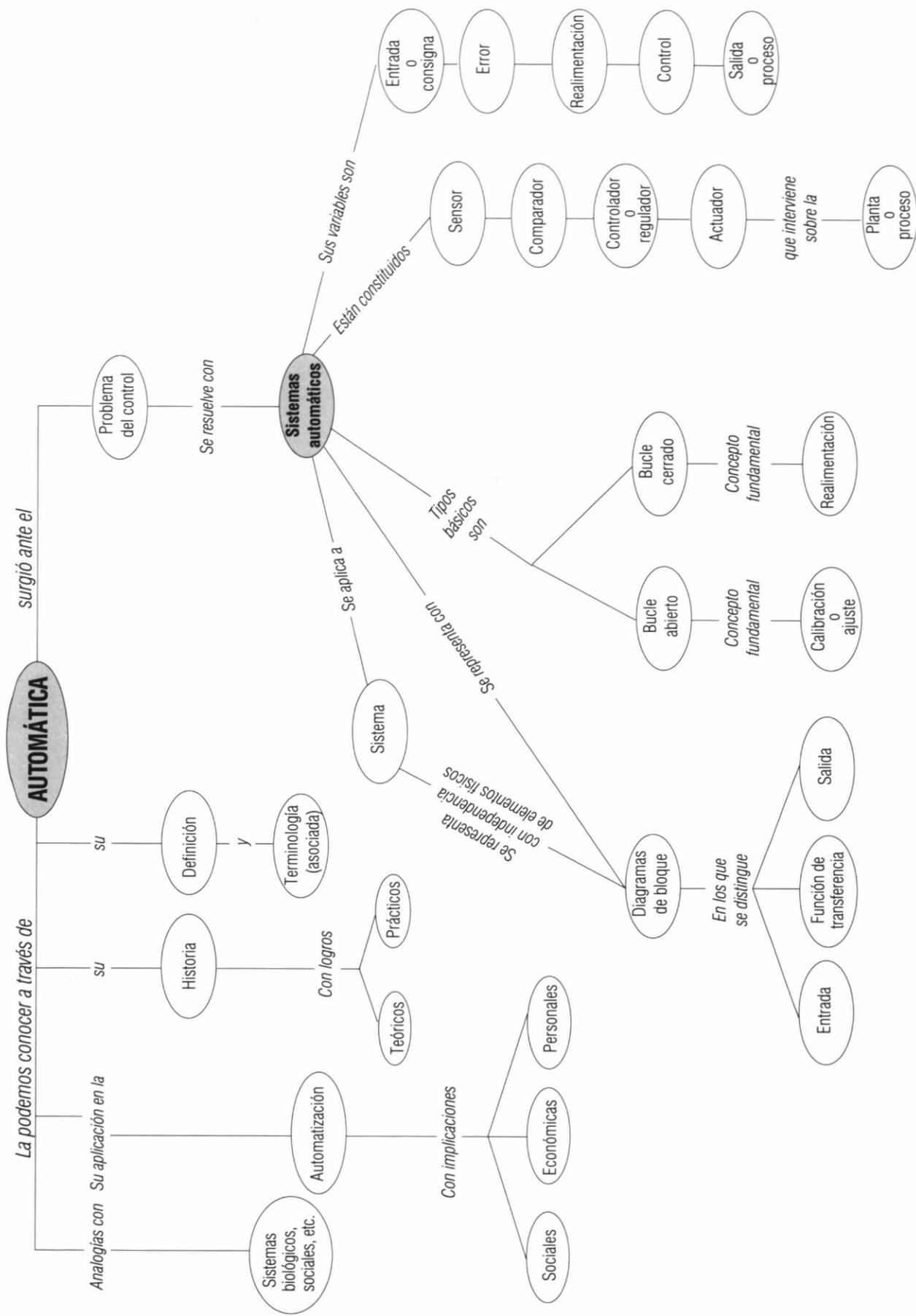
### **Metodología**

Activa y participativa en consonancia con lo que hemos expuesto en el apartado de Orientaciones Didácticas, haciendo hincapié en:

- a) Exposición y discusión en clase.
- b) Trabajo en grupo sobre lecturas que se facilitarán a los alumnos y sobre las actividades señaladas en las distintas sesiones.
- c) Manejo de documentación para contrastar y comparar definiciones, y vocabulario asociado de la Automática.

### **Temporalización**

Esta Unidad didáctica se realizará a lo largo de tres semanas que totalizan 12 horas.



---

## Objetivos

- Expresar de forma clara y concisa las definiciones y fundamentos de la automática y la automatización.
- Valorar las consecuencias de la implantación de la automatización, participando en la discusión y análisis de este fenómeno de singular importancia.
- Analizar la génesis y evolución histórica de la Automática, tanto a nivel de dispositivos como de logros teóricos alcanzados.
- Desarrollar y aplicar estrategias en la resolución y explicación de problemas de control, representándolos adecuadamente mediante diagramas de bloques.
- Describir claramente los conceptos de realimentación y función de transferencia, a partir de ejemplos concretos.
- Identificar los diversos componentes de un sistema de control en bases a la función que realizan.
- Utilizar todo el vocabulario y definiciones asociadas de forma precisa y rigurosa.
- Manejar las fuentes habituales de información, tales como libros, enciclopedias, catálogos, artículos, etc. para recabar información sobre el tema que pueda ser contrastada y evaluada.

---

## Contenidos y actividades por sesiones

### **1.ª sesión**

Se dedicaría a la detección de conocimientos e ideas previas que tienen los alumnos sobre el tema, enlazar con lo que han visto en cursos anteriores y establecimiento de una discusión.

### **2.ª sesión**

Si se dispone de un entrenador de servosistemas, o maquetas de simulación de procesos de control, montar un sistema automático para, a partir de su funcionamiento, introducir en el tema, indicando las partes fundamentales de que consta, aplicaciones, e importancia de la automatización a nivel económico-social.

A continuación de este ejemplo ilustrativo y de la explicación consiguiente, se dará una visión global de cómo estará organizada la unidad didáctica, lo que se pretende con ella, temporalización, actividades a realizar y la forma de evaluación que se utilizará.

### **3.ª sesión**

#### **¿Qué es la Automática?**

El diccionario de la Real Academia de la Lengua, en su vigésima primera edición del año 1992, define a la Automática de esta manera: «Ciencia que trata de sustituir en un proceso al operador humano por dispositivos mecánicos o electrónicos».

La automatización sería la aplicación de la Automática a los procesos industriales, a un dispositivo, etc.

La Automática surge para facilitar y abordar de forma más cómoda el trabajo, aumentar la fiabilidad y precisión, y conseguir un mayor incremento en la productividad y calidad de los productos.

Un campo de aplicación claro es la industria. Se ha llegado a hablar de una Segunda Revolución Industrial debido a su influencia en la organización de la producción, productividad, calidad de los productos, organización del trabajo, y necesidades de formación y recualificación profesional.

A todo esto hay que añadir que estos cambios se producen de forma rápida, debido al extraordinario desarrollo de la tecnología que posibilita también una evolución acelerada hacia sistemas cada vez más eficaces y asequibles.

La automatización del sector industrial y la necesidad de contar con el desarrollo tecnológico adecuado para cubrir las necesidades de productividad y calidad, ha hecho que la automatización tenga un auge creciente que se ha traducido en un aumento en la facturación de las empresas de automatización, estimado en un 20% de media anual en nuestro país en los últimos años.

Además de en el mundo industrial, la automatización se ha introducido de forma notable en el sector servicios como es obvio y evidente. En el hogar (se habla ya de domótica, automatización doméstica o casa inteligente) y en general en muchos aspectos, de tal forma que su incidencia en la vida de las personas es un hecho cotidiano.

Un fenómeno importante a destacar es la necesidad de formación de especialistas que asuman las nuevas funciones asociadas a la creciente automatización y desarrollo tecnológico. La Comunidad Europea tiene una serie de programas y acciones concretas de formación de profesionales para cubrir la creciente demanda, como los programas Delta, Commet, Eurotecnet, etc.

## Actividades

- Al hilo de la explicación anterior, establecimiento de una discusión sobre repercusiones sociales, económicas y laborales derivadas de la automatización.

Es posible que haya ideas previas que hagan creer que la automatización implica un grave peligro para el empleo, idea que se puede matizar en el sentido de que hay un desplazamiento de mano de obra hacia otras actividades económicas. También gracias a la automatización, se produce un abaratamiento del producto que permite que sea asequible a un gran número de consumidores, y por tanto se asegura la pervivencia de ese sector productivo.

Por ejemplo, si no fuera por la automatización, el automóvil no sería asequible a un gran número de personas, y la magnitud de este sector industrial sería pequeña y emplearía a un número infinitamente menor de trabajadores.

Esta «prevención» a la implantación de la automatización, también se produjo con el llamado «maquinismo» al iniciarse la era industrial, y en ese caso finalmente se produjo el equilibrio por desplazamiento a otras actividades y elevación del nivel de vida.

En la actualidad a nivel institucional, se dedican grandes esfuerzos de investigación y de implantación de la automatización, ante las necesidades de poder competir con otros mercados y países en precios y calidades de productos.

Estos comentarios pueden ser material para propiciar la discusión y el análisis y llegar a conclusiones sobre la necesidad o ventajas de la automatización, y también problemas asociados a la misma.

Aparte de la incidencia en el sector productivo, tener en cuenta otras aplicaciones como manipulación de sustancias y procesos peligrosos, control de contaminantes y protección ambiental, en medicina y en laboratorios de investigación, etc.

Si se desea profundizar en el tema:

VARIOS AUTORES. *Nuevas Tecnologías, sociedad y trabajo*. Edición y recopilación de Vicente Sánchez y Miguel Ángel Zamarrón. Madrid. Fundesco, 1991.

- Realización por parte de los alumnos de una definición de automática. La misma ha de contestar a las preguntas: 1) ¿Qué objetivo persigue?, 2) ¿Cómo lo hace, 3) ¿Con qué? y 4) ¿Para qué?

## 4.ª sesión

### Historia del control automático

Creemos que la inclusión del estudio histórico y de la evolución de la Automática facilitará su aprendizaje y comprensión. Para conocer el complejo fenómeno de hoy, es importante y casi necesario conocer lo que sucedió anteriormente.

Ha sido constante en la historia del hombre, la tendencia y el interés por desarrollar mecanismos que funcionaran autónomamente en alguna de sus fases, para poder él liberarse de la tarea o vigilancia asociada a ese funcionamiento.

El reloj de agua de Ktesibios de Alejandría usaba un regulador con flotador, y constituye uno de los ejemplos más antiguos de control automático, ya que es del siglo III a. C.

Un flotador cónico regulaba la entrada de agua a la vasija de regulación, obstruyendo la entrada de agua con un aumento de nivel o viceversa, para que el nivel de agua en esa vasija de regulación sea constante y constituya una adecuada medida del tiempo. Probablemente haya sido el primer sistema realimentado de control.

Filón aproximadamente en el año 250 a. C., usaba un regulador de flotador para mantener un nivel constante de aceite en las lámparas.

Es también conocido el dispositivo de Herón, para la apertura de las puertas del templo (sistema de bucle abierto). Este autor que vivió en el primer siglo d. C., publicó un libro titulado *Pneumática*, en el que se describen mecanismos hidroneumáticos.

Se encuentran ejemplos ingeniosos para el gobierno de los molinos de viento mediante veletas auxiliares, controladores de posición para el timón de los barcos, regulador de temperatura (Drebhel) o de presión de vapor (Papin).

La automatización industrial se inicia probablemente con el regulador centrífugo de Watt (1788), para controlar la velocidad de las máquinas de vapor. Consiste en un regulador de contrapeso giratorio acoplado mecánicamente a la válvula de admisión de vapor de la máquina. La fuerza centrífuga debida a un aumento de la velocidad, producía un cierre de la válvula y la consiguiente deceleración, o viceversa en el caso de una reducción de velocidad.

En el siglo XIX se inició el desarrollo de la teoría de los sistemas realimentados. Maxwell, Routh y Hurwitz propusieron métodos para el análisis de la estabilidad de sistemas realimentados.

En 1912 se concede el Premio Nobel en Física al sueco Dalen, por su desarrollo de reguladores automáticos, que se utilizan conjuntamente con los acumuladores de gas para balizas luminosas.

Un avance significativo en la teoría de la regulación automática fue el desarrollo del sistema telefónico y los amplificadores electrónicos con realimentación por Bode, Nyquist y Black en los años 30.

La II Guerra Mundial contribuyó de forma indirecta pero muy notable al avance del control automático, ya que se dedicó gran esfuerzo al desarrollo y perfeccionamiento de sistemas militares, ante la necesidad de servomecanismos de altas prestaciones, lo que condujo al perfeccionamiento en el diseño y construcción de sistemas de control realimentados. Un problema típico fue el denominado «control de tiro» que suponía una cadena automática de acciones que incluían: detección y seguimiento, posicionamiento y disparo.

En la década de los 50 se perfeccionaron los métodos matemáticos de análisis y diseño de sistemas de control, así como la introducción de computadores analógicos y digitales.

El extraordinario avance de la tecnología y el abaratamiento de los costes de los componentes, ha propiciado la realidad actual de su implantación generalizada.

### Actividades

- Conocer y comprender el funcionamiento de alguno de los dispositivos clásicos representativos de control automático. En Dorf, R. C. *Sistemas modernos de control*. México. Addison-Wesley Iberoamericana, 1989, viene una buena exposición y gráficos y dibujos correspondientes a cada uno de ellos.
- Hacer un recorrido por las distintas generaciones de ordenadores y componentes electrónicos, y comentar el extraordinario desarrollo de este campo, que ha posibilitado la generalización de su uso y el consiguiente desarrollo de los sistemas automáticos.

## 5.ª sesión

### Antecedentes de la Automática en España

Creemos útil y formativo dedicar un espacio al nacimiento y primeros desarrollos de la Automática en nuestro país, dedicando la atención a dos personajes significativos en este campo.

Leonardo Torres Quevedo (1852–1936), ingeniero de Caminos que desarrolló una intensa labor de investigación en varios campos con la consecución de importantes inventos, aunque el núcleo de su obra estuvo integrado por las aportaciones relacionadas con el cálculo mecánico y la Automática.

Desarrolló calculadoras de tipo analógico y digital. Fundó y fue director del Laboratorio de Automática y en 1914 publicó en la revista de la Real Academia de Ciencias una memoria titulada: «Ensayos sobre Automática. Su definición. Extensión teórica de sus aplicaciones», que es un clásico de la materia.

Transcribimos un párrafo de la misma:

*«...Estos autómatas (ahora llamaríamos sistemas automáticos) tendrán sentidos (sensores): los termómetros, los dinamómetros, las brújulas..., aparatos sensibles a las circunstancias que puedan influir su marcha. Poseerán miembros (llamamos ahora actuadores): las máquinas, aparatos capaces de ejecutar las operaciones de que estarán encargados, y que dispondrán de la energía necesaria.*

*Además es preciso que los autómatas tengan discernimiento, que puedan en todo momento, teniendo en cuenta las impresiones que reciben o incluso las que han recibido antes, ordenar la operación deseada (controlador o regulador)».*

José García Santesmases (1907–1989), catedrático de Física Industrial, destacó también por su contribución en el campo de las calculadoras electrónicas. Dirigió el Instituto de Electricidad y Automática, antecedente del actual Instituto de Automática Industrial del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. En 1958, fue presidente de la Comisión organizadora del Congreso Internacional de Automática celebrado en Madrid. Su discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias (1961), se tituló: «Automática, cibernética y automatización». La UNESCO le encargó la dirección de un curso internacional de Automática, dirigido especialmente a los graduados de los países hispanoamericanos. Su labor investigadora y docente en este campo es muy importante.

## Actividades

- Trabajo sobre las lecturas (páginas 68 a 94) incluidas al final del Capítulo IV, correspondientes a un artículo sobre la biografía de Torres Quevedo, la memoria que hemos comentado anteriormente y parte del discurso de ingreso del profesor García Santesmases.

Si se desea profundizar, sobre la figura de Torres Quevedo:

GARCÍA SANTESMASSES, J. *Obra e inventos de Torres Quevedo*. Madrid, Ed. Instituto de España. 1980.

## 6.ª sesión

### El problema del control

Aparte de que la automatización y los sistemas automáticos han alcanzado cotas muy altas de sofisticación y desarrollo, también es un fenómeno cotidiano con el que convivimos continuamente, y estamos rodeados de estos sistemas que nos hacen la vida más cómoda y nos ofrecen posibilidades que disfrutamos a diario.

La Automática como ciencia nació para estudiar y resolver los problemas de control, que fundamentalmente surgen cuando queremos que el comportamiento de un sistema se ajuste a lo que hayamos prefijado con antelación.

Ejemplos de problemas de control serían:

- Conseguir tener una temperatura deseada en un recinto.
- Mantener constante el nivel de líquido en un depósito.
- Controlar la presión de vapor en una caldera, dentro de unos límites prefijados.
- Regular el tiempo de funcionamiento de una lavadora o evitar que se sobrepase la temperatura de un secador de pelo para evitar que se queme.
- Mantener constante la temperatura corporal.
- Conducir un automóvil a una velocidad constante.

Para conseguir solucionar los problemas de control, hay que realizar una serie de acciones. En el depósito de agua puedo conseguir el propósito regulando el paso de agua de forma manual o

bien disponiendo de un mecanismo, como por ejemplo a través de una boya que cierre o abra automáticamente ese paso.

Lo mismo podríamos decir en cuanto a la consecución de una determinada temperatura en un recinto, para lo que habrá que actuar de una forma manual conectando o desconectando resistencias o auxiliándonos de un termostato.

Para mantener constante la temperatura corporal, existe un control biológico en el que a partir de las variaciones de temperatura captadas por células nerviosas, el sistema nervioso inerva a las glándulas sudoríparas que producen sudor en la piel, que al evaporarse absorbe parte del calor de ésta.

## Actividades

Se trata de un contacto previo con el problema del control, y es muy oportuno el buscar ejemplos conocidos de control y acciones asociadas a los mismos.

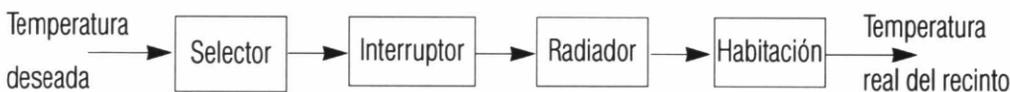
### 7.ª, 8.ª y 9.ª sesión

#### Sistemas automáticos

Los sistemas automáticos o también llamados sistemas de control nos ayudan a resolver los problemas que hemos denominado de control. Estos sistemas los vamos a representar gráficamente mediante diagramas de bloques, de esta forma:



En el caso de un sistema de calefacción que hemos regulado inicialmente mediante el selector, la potencia o la temperatura deseada se representará así:

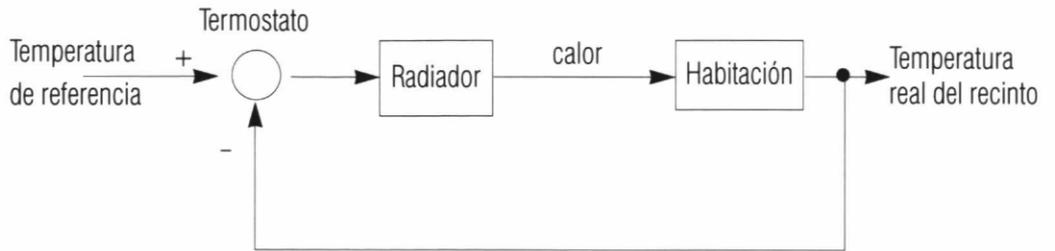


Una vez seleccionado ese nivel de funcionamiento, el radiador producirá continuamente la misma cantidad de calor, independientemente si en la habitación se ha conseguido una temperatura adecuada o no. Esto es debido a que hay factores que pueden influir en que no sea así, como por ejemplo, apertura de puertas o ventanas, o excesivo frío o calor exterior, etc.

Si queremos mantener una temperatura confortable prefijada en la habitación, tenemos dos opciones:

- a) El actuar continuamente nosotros sobre el selector para adecuar en todo momento, la producción de calor a la consecución de la temperatura deseada.
- b) Utilizar algún dispositivo que realice esta función automáticamente. Por ejemplo, podemos utilizar un termostato, que sería en este caso el encargado de realizar la conexión/desconexión del radiador en función de la temperatura presente en todo momento en el recinto.

El diagrama de bloques correspondiente sería:



Es fundamental realizar muchos ejercicios de este tipo para que se capte la lógica de funcionamiento de los distintos tipos de sistemas de control.

Se pueden encontrar bastantes ejemplos en:

DISTEFANO, J. J., STUBBERUD, A. R., WILLIAMS, I. J. *Retroalimentación y sistemas de control. Teoría y 680 problemas resueltos* (Serie Schaum). México, McGraw-Hill. 1981.

## 10.<sup>a</sup> y 11.<sup>a</sup> sesión

### Sistemas de lazo abierto y cerrado. Concepto de realimentación

En los ejemplos vistos anteriormente se han observado básicamente dos tipos de sistemas de control:

- a) Los denominados en lazo abierto, en los que la señal de salida no tiene efecto sobre el posterior funcionamiento del sistema.

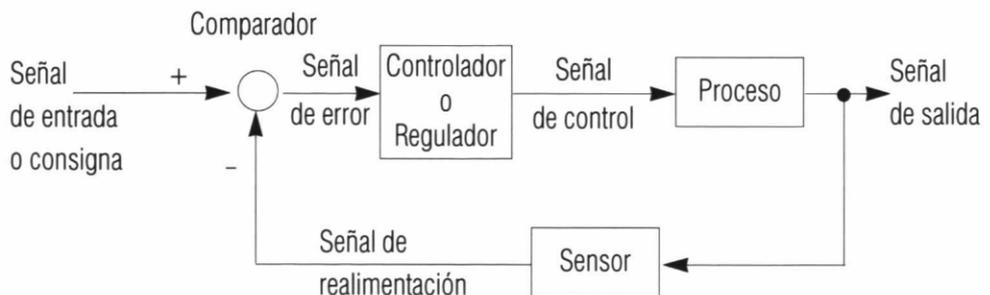
Hemos visto en el caso del control de temperatura de la habitación, que si conecto el radiador en una determinada posición del selector, éste producirá una determinada cantidad de calor fija, independientemente de la temperatura real que haya en la habitación. La variable temperatura de la habitación, no ejerce efecto alguno sobre el funcionamiento del sistema.

En estos sistemas la calibración o ajuste es un concepto relevante, y hace referencia a su regulación cuidadosa, para que el objetivo se cumpla lo más fielmente posible.

- b) Sin embargo, si colocamos un termostato, éste compara continuamente la temperatura de referencia a la que se le ha regulado, con la temperatura ambiente de la habitación. En función del resultado de esta comparación, conecta o desconecta automáticamente el radiador para llegar a conseguir ese valor de temperatura deseado.

La realimentación es un concepto fundamental dentro de los sistemas de control. Mediante ella se traslada el valor de la señal de salida hasta la entrada del sistema, y la diferencia entre el valor real de la variable que queremos controlar y el valor que deseamos de la misma, constituye lo que se denomina la señal de error que se utiliza para regular el sistema.

El diagrama de bloques de un sistema realimentado sería:



El término *realimentación* también se puede encontrar en algunos libros como *retroalimentación* o también su denominación en inglés que es *feedback*. Básicamente es la información correspondiente a la salida del sistema, que se retrotrae a la entrada para hacer la comparación con el valor de referencia.

En otras palabras, se puede decir que el circuito realimentado vigila continuamente la diferencia entre el estado real o actual de la variable que queremos controlar y su estado deseado, para realizar las acciones necesarias que tienen por finalidad la minimización o reducción de esas diferencias.

## ¿Qué es el biofeedback?

Para ilustrar el concepto de realimentación vamos a exponer a continuación una técnica denominada *biofeedback*, ya que creemos que su exposición proporcionará una explicación muy intuitiva del concepto de realimentación que estamos tratando.

Se utiliza en medicina y psicología para tratar diversos problemas como trastornos neuromusculares, rehabilitación, hipertensión, dolores de cabeza, ansiedad, etc. y su aplicación es relativamente sencilla.

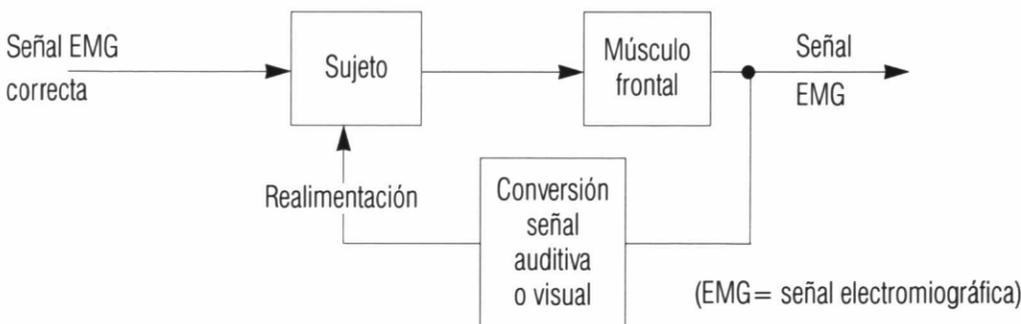
Básicamente consiste en medir la variable psicofisiológica afectada del individuo. Esto se consigue mediante la colocación de electrodos de registro pegados sobre la piel (técnica no invasiva) o mediante transductores adecuados en la zona de interés y recoger de esta forma valores bioeléctricos, o de conductancia de la piel, temperatura, presión sanguínea, tasa cardíaca, etc.

La variable captada convenientemente amplificada y procesada, se convierte en señales auditivas o visuales que informan (*feedback*) al sujeto de los sucesivos cambios que se producen y en qué dirección, para que el sujeto aprenda a producir aquellos que mejoran el valor de esa variable.

En otras palabras, es un procedimiento que proporciona a la persona una información inmediata y continua, de algún aspecto de su actividad biológica, con el fin de que aprenda a regular o controlar de forma voluntaria esa variable biológica.

Por ejemplo, una excesiva tensión del músculo frontal puede producir dolor de cabeza. Se mide la señal electromiográfica (EMG) de ese músculo y después de ser convenientemente amplificada el sujeto ve a través de la aguja del galvanómetro (en microvoltios), o a partir de estímulos visuales o sonoros el valor de la tensión muscular en todo instante. Cuando se produce un cambio a relajación, el sujeto recibe información de ese cambio y llega un momento en que sabe cómo actuar para producir cambios en el sentido a mayor distensión muscular.

En definitiva esa información que recibe constantemente sobre el resultado de esa variable fisiológica, es una realimentación.



Si se desea profundizar en el tema del biofeedback:

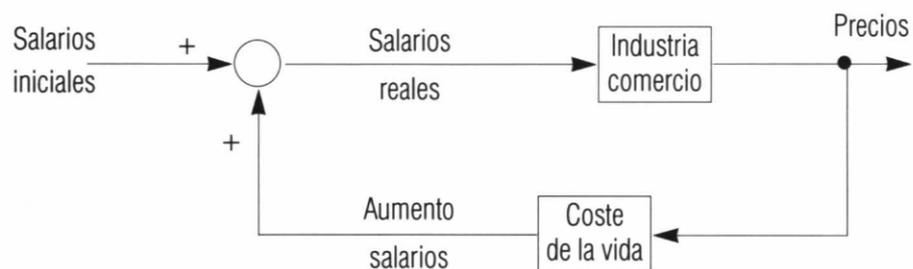
CARROBLES, J. A., GODOY, J. *Biofeedback. Principios y aplicaciones*. Barcelona, Martínez Roca. 1987.

Igualmente en los sistemas automáticos las señales de salida de presión, nivel, posición, temperatura, etc. se llevan al comparador y en función de esa comparación el controlador o regulador actúa modificando los valores del sistema en la dirección deseada, minimizando de esta forma los errores o variaciones en el funcionamiento del sistema producidas por diversas perturbaciones.

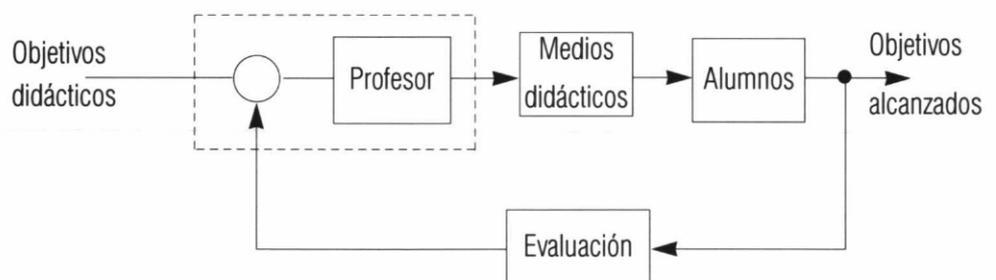
## Otros ejemplos

Podemos utilizar esta técnica para estudiar problemas de tipo económico, social o de muy variada naturaleza, como los dos que siguen:

- a)** El diagrama de bloques siguiente representa un sistema realimentado que explica de una forma simple, una de las causas por las que se genera la inflación económica, debido al aumento de precios-salarios.



- b)** El siguiente diagrama de bloques también de bucle cerrado representa la interacción de un profesor con sus alumnos.



La realimentación puede ser positiva o negativa. En el ejemplo *a)* anterior es claramente positiva ya que hace que haya un continuo aumento y reforzamiento de los precios-salarios. En los sistemas automáticos, salvo alguna rara excepción, es deseable la realimentación negativa que permite la minimización de los efectos de las perturbaciones. Si esto no fuera así la señal de control, se haría cada vez mayor y se sobrepasaría el nivel deseado de funcionamiento. Muy asociado a esto es el problema de la estabilidad del sistema que se verá más adelante, y que es uno de los peligros de la realimentación.

## Concepto de función de transferencia

Entre la salida y la entrada de un sistema de control, existe una relación que puede expresarse por medio de una función matemática. La función de transferencia expresa esa relación entre la entrada o la salida de un componente o sistema, indicando de alguna forma como procesa la señal.

Los cálculos asociados a los sistemas de control son muy complejos y están basados en el cálculo diferencial, lo que supone una dificultad y complicación. Para facilitar y simplificar estos cálculos se recurre a la Transformada de Laplace, que tiene la ventaja de simplificar de forma notable el estudio de los sistemas de control, puesto que transforma las ecuaciones integro-diferenciales a ecuaciones algebraicas. Diciéndolo de una forma sencilla transforma la operación de derivar en una multiplicación por una variable denominada «s» y la operación de integrar en una división por la misma variable «s».

Utilizando la transformada de Laplace todo el sistema lo referiremos a la variable «s» en vez de la variable «t» y podremos relacionar fácilmente entradas y salidas, y realizar cálculos sencillos conociendo las funciones de transferencia de los componentes o bloques del sistema, ya que se trataría de operar con polinomios.



La función de transferencia se define como la relación entre la transformada de Laplace de la entrada y la transformada de Laplace de la salida, considerando las condiciones iniciales nulas.

Posteriormente se realizarán cálculos de determinación de la función de transferencia total de un sistema, cálculos sencillos de estabilidad y estudios de los sistemas.

Es importante transmitir la idea de que mediante el uso de los diagramas de bloque, estudiamos el problema de control a resolver, independientemente de los elementos físicos que finalmente constituirán ese sistema.

En el estudio previo el sistema lo representamos mediante bloques en los que especificamos tres cosas:

- a) Señal de entrada.
- b) Señal de salida.
- c) Cómo procesa la señal.

En esta fase de diseño o estudio, mediante simplificaciones o utilizando diversas propiedades, podemos modificar o adecuar ese diagrama de bloques a componentes que queramos utilizar especialmente, teniendo en cuenta factores de precio y prestaciones.

## Actividades

Realización de ejercicios tanto de sistemas automáticos como los que hemos expuesto anteriormente, en los que se profundice en el manejo y comprensión de los conceptos de realimentación y función de transferencia.

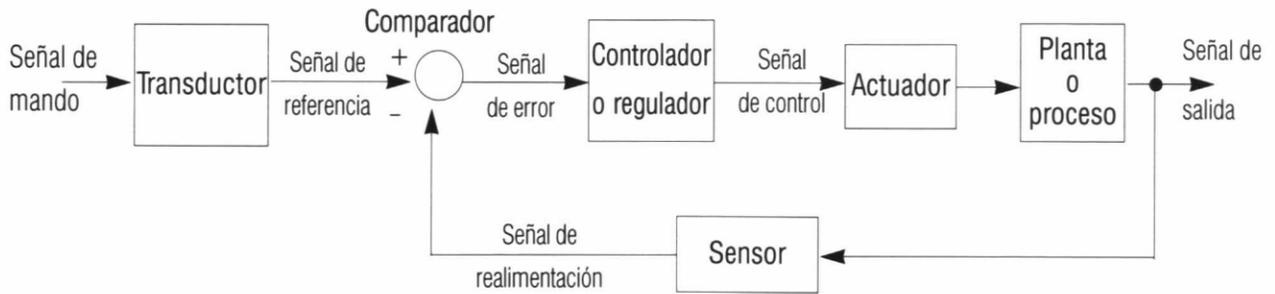
## 12.ª sesión

### Componentes genéricos de un sistema de control

Los sistemas de control pueden llegar a ser complejísimo y pueden gobernar un complicado proceso industrial, o el funcionamiento de un moderno avión o nave espacial, pero al igual que en

los más sencillos, se pueden identificar una serie de funciones o partes que podemos delimitar porque suelen ser comunes a todos los sistemas de control.

El esquema típico con especificación de los sucesivos componentes de un sistema de control realimentado o servosistema como también se le conoce, sería el siguiente:



El comparador es el dispositivo encargado de comparar la señal de consigna con la de realimentación, y generar la señal de error que gobernará el controlador o regulador.

El controlador o regulador a partir de la señal de error determina la acción a tomar y gobierna al actuador.

Actuador es el que efectúa la acción sobre el proceso a controlar, haciendo las veces de amplificador de la señal que viene del controlador.

El sensor o también transductor adapta la señal de salida para que pueda ser de la misma naturaleza a la de referencia y poder ser comparada. Proporciona la señal de realimentación.

La planta o proceso hace referencia a aquello que queremos controlar.

En definitiva hay funciones de captación o medida, comparación, decisión o control, y actuación sobre la variable a controlar.

Además de los distintos componentes reseñados, se distinguen varios tipos de variables o señales, como son:

- Variable de entrada, consigna o de referencia, cuyo valor es asignado por el operador.
- Señal de error es la salida del comparador y es la diferencia entre las de referencia y realimentación.
- Señal de realimentación es la de salida adaptada a través del sensor o transductor correspondiente.
- Señal de control es la salida del regulador o controlador y gobierna el actuador.
- Señal de salida o de proceso es la variable que queremos controlar.

*POR EJEMPLO:* Queremos mantener el nivel de líquido de un depósito que tiene un gasto variable, a un determinado valor. Podemos utilizar para medir el nivel que tiene continuamente un sensor o transductor capacitivo que suministra una tensión proporcional al nivel de agua.

Como comparador podemos utilizar un amplificador operacional que comparará el valor de referencia que hayamos prefijado con la señal proveniente del sensor capacitivo. Cuando la diferencia entre ambas rebasa un determinado valor, la salida de este comparador activará por ejemplo a un relé y circuito electrónico asociado, que hará las veces de controlador, que a su vez gobernará a una válvula electro neumática, que hace las veces

de actuador abriendo o cerrando el paso de agua al depósito. La planta o proceso en este caso sería el depósito de agua y el control de nivel de líquido.

Los componentes descritos pueden sustituirse por otros; el tipo de control en vez de ser todo/nada por relé puede ser un control continuo. En otras palabras podemos conseguir el objetivo de mantener el nivel deseado con diversidad de soluciones o componentes diferentes.

## **Terminología asociada**

### *Sistema:*

Conjunto de elementos que ordenadamente relacionados entre sí, contribuyen a un determinado objetivo.

### *Perturbación:*

Es aquello que afecta negativamente a la consecución del objetivo. Se la considera como una variable más.

### *Control continuo o discreto:*

El primero actúa sobre las variables del proceso de forma continua en el tiempo (en cualquier instante), mientras que el discreto sólo lo hace en momentos determinados.

### *Control lógico o analógico:*

Son tipos de control que se distinguen por el tipo de señal del controlador, que puede adoptar valores discretos (0 ó 1 normalmente) o infinitos valores posibles en el margen de funcionamiento del proceso.

## **Actividades**

Manejo de diversas fuentes de información, para profundizar y comparar las diversas definiciones y terminología asociada a la Automática. Proponemos las siguientes:

- *Bibliografía de Automática.*
- *Vocabulario de términos científicos y técnicos de la Real Academia de Ciencias.*
- *Normalización.* (Aunque no hay normas UNE sobre el tema, sí que está recogido en normas DIN, ISO, etc.)
- *Diccionario de términos científicos y técnicos.*

---

## Lecturas<sup>2</sup>

A continuación se incluyen cinco lecturas sobre temas relacionados con la Unidad didáctica, que hemos presentado como ejemplificación.

Hacen referencia a aspectos históricos, conceptuales y de profundización sobre algunos puntos tratados en la misma Unidad didáctica. Estas lecturas son adecuadas para que sean trabajadas por los alumnos en grupo, y posteriormente discutidas en clase. También se pueden utilizar como fuente para ampliar la preparación del tema.

### **Lectura 1**

Es un capítulo de una publicación de 1992, del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo denominada PAUTA III (Plan de Automatización Industrial Avanzada). En este capítulo se puede ver cuál es la realidad actual del sector de la automatización, analizado desde diversos puntos de vista. Es interesante para analizar las implicaciones de la automatización, y también para conocer terminología asociada con la misma.

### **Lectura 2**

Tiene el objetivo de dar a conocer la figura de D. Leonardo Torres Quevedo por su especial contribución al desarrollo de la Automática en nuestro país. Aunque anteriormente hemos recomendado un libro sobre él, este artículo breve constituye un buen resumen de su vida y su obra. Lo escribió su hijo Gonzalo Torres Quevedo y Polanco, y se publicó en la revista de Obras Públicas en 1952, con motivo del centenario de su nacimiento.

### **Lectura 3**

Memoria de D. Leonardo Torres Quevedo titulada: «Ensayos sobre Automática. Su definición: Extensión teórica de sus aplicaciones», publicada en la revista de la Real Academia de Ciencias, en 1914.

Es un documento de mucho interés, y resulta muy instructivo el ver que muchos de los principios por él enunciados en esta obra, aun con distintas denominaciones y a pesar de la gran evolución de la técnica, siguen aún vigentes.

### **Lectura 4**

Ésta corresponde a parte del discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias, del profesor García Santesmases. Se denomina: «Automática, cibernética y automatización». Proporciona una información muy útil e interesante, que además forma parte de otro momento histórico.

El texto íntegro está publicado por la citada Real Academia, en el año 1961.

### **Lectura 5**

Ofrece información que permite profundizar en la técnica del biofeedback, que se ha visto en la Unidad didáctica, para ilustrar el concepto de realimentación.

---

2. Sirva esta nota como agradecimiento a los diferentes autores, editoriales e instituciones que gentilmente han concedido permiso para la reproducción del contenido de estas *Lecturas*.

**DEL PLAN DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL AVANZADA (PAUTA III)****4. LOS ACTORES**

Las Tecnologías de Automatización, consideradas como un factor íntimamente relacionado con la competitividad, deben ser analizadas desde dos puntos de vista complementarios:

Por un lado, los diferentes sectores industriales demandantes de estas Tecnologías que, en la medida que éstas pueden ser aplicadas, les permiten reducir costes unitarios, incrementar la calidad..., en definitiva aumentar su productividad y mejorar su posición en el mercado.

Desde el otro punto de vista, los fabricantes de sistemas de automatización e implantadores de estas nuevas Tecnologías, que componen el denominado Sector o Industria de Automatización.

**4.1. El sector industrial****4.1.1. La industria en el mundo**

En el pasado ejercicio de 1989 el balance económico de los países industrializados ha presentado un saldo global positivo, estimándose para el conjunto de países de la OCDE un crecimiento, según el informe de este organismo, de un 3,6%. Sin embargo, la reciente crisis del Golfo ha hecho ver la vulnerabilidad de la situación económica y sus defectos estructurales.

En resumen, dentro del entorno de los países desarrollados, el año 1989 ha reconducido la actividad económica hacia un ritmo de crecimiento sostenido, y ha mantenido el auge inversor y el proceso de regeneración de empleo, así como la estabilización de los ritmos de inflación. Posiblemente, el ciclo económico expansivo iniciado en 1983, ha sido el de mayor duración desde los años 40.

El análisis de la actividad industrial durante los últimos años muestra un crecimiento considerable para los países de la OCDE desde 1986 a 1988 (1,8%, 2,7% y 5,2%), siendo debido fundamentalmente a la reactivación del sector manufacturero y en especial a sectores tales como: químico, eléctrico-electrónico, maquinaria y equipo mecánico, máquinas de oficina y ordenadores, automoción, fabricación de productos metálicos, papel, y siderurgia, esta última en franca recuperación asociada en parte a la favorable coyuntura de sectores como el de automoción.

Sin embargo los recientes acontecimientos ocurridos en el Golfo Pérsico han mostrado la precariedad de este supuesto sólido crecimiento.

**UNA SITUACIÓN NUEVA**

La industria se enfrenta a una situación nueva en la que destacan como determinantes dos características fundamentales:

- A) Internacionalización de la competencia por la globalización mundial de los mercados.
- B) Inestabilidad (en el sentido de ausencia de una situación establecida) del entorno, tanto económico y tecnológico como político y social.

**A) Internacionalización de la competencia**

La desaparición de barreras comerciales, la aparición de nuevos ofertantes de productos industriales de alta calidad y bajo precio y la necesidad de expandir mercados para lograr ventajas competitivas asociadas a economías de escala, entre otras razones, están obligando a las industrias de todo el mundo a ser más competitivas, aumentando su productividad y la eficiencia de sus operaciones.

La velocidad de cambio en las operaciones de fabricación y la difusión de esta experiencia de producción han creado un mercado global y acelerado produciendo desafíos no sólo a las empresas sino incluso a las naciones. La producción de bienes todavía es el elemento clave de las economías industriales, afectando a la seguridad nacional y al nivel de vida de los ciudadanos.

La preocupación por la competitividad global ya no es característica de ningún país. Algunos llaman a esto la guerra en el frente económico, pero es algo más complejo. Las democracias de las tres potencias económicas —Japón, Estados Unidos y la CEE— están involucradas en la competencia más aguda y, a la vez, comparten la creencia con variaciones en el sistema de libre mercado. Sin embargo sus enfoques no son iguales, pues su apoyo a la I + D, y sus sistemas financiero y educativo son marcadamente diferentes.

Aún más, aunque competidores, los distintos países tienen necesidad de cooperar unos con otros y cada vez resultan más interdependientes, a través del comercio y de las corporaciones transnacionales cuyos intereses van mucho más allá de las fronteras nacionales.

## **B) Inestabilidad del entorno**

La necesidad de adaptación al medio, de aprovechamiento de las múltiples oportunidades que el cambio ofrece, o de simple supervivencia, obligarán a muchas empresas de fabricación en todo el mundo a replantear sus estrategias para mantener su competitividad en los mercados internacionales. Distintos hechos están contribuyendo a crear este clima dinámico, al tiempo que se abren grandes expectativas y posibilidades. Entre ellos:

**Desarrollo tecnológico.** Las inversiones recientes y las previstas, vehículo por el que las nuevas tecnologías afectan al proceso de producción, pueden promover una difusión más rápida de la innovación. La evidencia muestra que hay una fuerte y positiva relación entre la tendencia en productividad a largo plazo en la industria y la absorción de nuevas tecnologías. De hecho, el lento crecimiento mundial de los últimos 15 años oculta el alcance de los cambios recientes en las estructuras de producción. Se ha iniciado la tercera revolución tecnológica (después del vapor y la electricidad), la era de la tecnología de la información, que servirá como piedra angular para la competitividad internacional de las empresas por las razones que a continuación se exponen:

**1. Relación entre competitividad y nuevas tecnologías.** El nivel tecnológico incide positivamente sobre la capacidad exportadora de la mayoría de los sectores con la salvedad de bienes de consumo y material de transporte. Esta es la conclusión de un estudio realizado por Luc Soete y Giovanni Dosi en los países de la OCDE.

Adoptar las tecnologías correctas supone posicionarse en una situación competitiva privilegiada y entrar en una dinámica de crecimiento que faculta nuevas inversiones en tecnología y en capital humano. Es aprovechar la interrelación de los factores desde un principio.

**2. Sectores de mayor crecimiento: productores de nuevas tecnologías.** Los sectores relacionados con las nuevas tecnologías son los que están experimentando una mayor tasa de crecimiento anual, quintuplicando en algunos casos los de la economía en general (3%). Así, por ejemplo, la industria electrónica disfrutó en los países de la OCDE de una tasa de crecimiento anual medio del 13% en términos reales durante el período 1970-1985.

Además, estos bienes son consumidos por el resto de las industrias, y su carencia lastrará y condicionará gravemente la capacidad de un país.

**3. Efectos de la falta de experiencia en el uso de la tecnología.** Cuando los insumos tecnológicos de un país, tanto en equipos como en conocimiento, no tienen una cierta expansión, la dificultad para adquirir experiencia en estas áreas crece exponencialmente. El desconocimiento funcional, y la inexperiencia en el uso de nuevas tecnologías son difícilmente superables por medio de acciones puntuales de mejora.

La correcta utilización de las tecnologías marcará la diferencia entre países e industrias que avanzan, capaces de imponer sus intereses económicos, y aquellos otros que son meros consumidores pasivos de un cambio tecnológico.

**Formación del Mercado Único Europeo.** En 1993 los países integrantes de la Comunidad Europea esperan completar uno de los pasos más importantes en el camino hacia la unidad política de Europa: la creación del Mercado Único.

El reto para las empresas está abierto, la expansión del mercado y la eliminación de aranceles está dinamizando las estrategias empresariales en búsqueda de la mayor cuota del mercado futuro, al tiempo que la supresión de proteccionismos nacionales hará desaparecer aquellas empresas que no sean competitivas.

**Apertura de los países del Este.** El factor clave en este mercado será la oportunidad. Aquellos proveedores que consigan una rápida penetración, conseguirán ventajas competitivas a largo plazo.

En un estudio realizado entre las más importantes compañías de Estados Unidos y Europa Occidental, el 70% de las mismas declaran haber reorganizado sus planes de negocio como consecuencia de los acontecimientos ocurridos en la Europa del Este. El 89% destaca los acontecimientos liberalizadores como fuente de nuevas oportunidades de negocio. El 28% de los ejecutivos de empresas norteamericanas y más del 33% de las europeas ya han decidido extenderse hacia el Este. Las preferencias se decantan por aquellos países con experiencia técnica e industrial y que conocen las tecnologías.

Un efecto colateral es la necesidad de ayuda internacional que requieren estos países y que amenaza a aquellos en vías de desarrollo y del tercer mundo. La mayor parte de estos países no pueden competir en interés inversor con las naciones de Europa Oriental. La cultura, tradiciones, ámbito geográfico, y el grado de educación y formación de sus gentes garantizan aquí un mayor potencial de desarrollo.

**Sensibilización ecológica.** En todo el mundo, la toma de conciencia sobre la necesidad de mantener y conservar los escasos recursos naturales de la tierra está aumentando día a día.

Catástrofes como los escapes radiactivos de Three Mile Island, el accidente nuclear de Chernobyl, el escape de gases venenosos de una planta química de Bhopal, o más recientemente las manchas negras del Exxon Valdez, están ayudando a aumentar la sensibilidad de la población mundial hacia el tipo de contaminación, menos espectacular pero más próxima, que se da habitualmente en su entorno.

En las dos últimas décadas la mayor preocupación por la conservación de la naturaleza, la contaminación y los accidentes industriales están conduciendo a los gobiernos de todo el mundo a la promulgación de leyes y reglamentos medioambientales. Éstos inciden fundamentalmente en **tres grandes áreas**:

1. Regulación de emisiones contaminantes.
2. Control de vertidos.
3. Prevención y limitación del alcance de accidentes industriales.

Todos estos hechos obligarán a un mayor número de industrias a controlar de manera más eficaz sus procesos productivos, a adoptar procesos más costosos y complejos pero más limpios, y a integrar como parte de los propios procesos de producción las tareas de eliminación o reconversión de los residuos generados. Un ejemplo es la industria química comunitaria, que invierte un 5% de la cifra de ventas (1 billón de pesetas) en control y prevención de la contaminación. Hay que hacer notar aquí la puesta en marcha por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo del Plan Industrial Tecnológico Medioambiental destinado a la creación de una base industrial, energética y tecnológica medioambiental nacional.

**Aparición de nuevos competidores.** Gran número de países de reciente industrialización o en vías de desarrollo disponen de amplias fuentes de mano de obra especializada y a bajo precio. Estos países están en condiciones de competir en distintos mercados con productos de alta calidad ganando cuota de mercado a costa de los líderes tradicionales.

Países como Taiwan, Corea o Singapur, ya lo están haciendo. Estas nuevas potencias industriales irrumpieron en los mercados internacionales siguiendo el modelo japonés: copia, mejora y vende barato. Hoy están en condiciones de ofrecer productos técnicamente avanzados, de alto valor añadido y con altos niveles de calidad.

Otros como Filipinas, Tailandia, Brasil o Argentina, podrían convertirse en fuertes competidores en los mercados mundiales si entraran en vías de solución sus graves problemas sociales y financieros.

## LA RESPUESTA DE LA INDUSTRIA MUNDIAL A LA NUEVA SITUACIÓN

Esta competencia global y dinamicidad del entorno hace actuar a las empresas en **tres líneas convergentes**:

- a) Reducción del ciclo de vida de los productos.
- b) Exigencia de mayor calidad. En su sentido más amplio: calidad de diseño, proceso, de producto, de servicio, de atención durante toda la vida del producto.
- c) Exigencia de menores costes y de reducción de precios.

Estas líneas emanan de objetivos estratégicos dirigidos a responder competitivamente a su demanda. Estos objetivos son fundamentalmente tres: calidad, flexibilidad y servicio.

## 1. Calidad

La calidad se ha convertido en un elemento fundamental en la competitividad de las empresas. La calidad debe ser incorporada a los productos, no simplemente inspeccionada una vez que el proceso productivo ha concluido. Los departamentos de control de calidad se están volviendo cada vez menores, al tiempo que la función de control de calidad se convierte en propia de la ingeniería de diseño y fabricación.

## 2. Flexibilidad

De igual forma, los fabricantes deberán poner énfasis en mejorar la flexibilidad de sus medios de producción. Las fluctuaciones en la demanda y la aparición de nuevas tecnologías determinan que muchas factorías tendrán que hacer frente a la fabricación de distintos productos durante su vida productiva.

Por mayor flexibilidad se entenderá la capacidad de las industrias para:

- Diversificar su gama de productos y adecuarse mejor a las necesidades de clientes específicos.
- Reducir tiempos de diseño y fabricación, lo que le da mayor capacidad de adaptación ante la aparición de nuevas demandas o la necesidad de incorporar nuevas tecnologías.
- Reducir costes asociados a los cambios de producto o proceso.

## 3. Mejora de servicio

Por último es crucial mejorar el servicio al cliente y los tiempos de respuesta ante las variaciones en el volumen de la demanda. Entre los objetivos concretos que inciden en la mejora del servicio al cliente se encuentran:

- Calidad del servicio, de atención y de mantenimiento post-venta.
- Reducción de tiempos de abastecimiento, fabricación y diseño.
- Mejora en el cumplimiento de plazos de fabricación y entrega.

Estos objetivos sólo pueden ser alcanzados mediante el óptimo aprovechamiento de los recursos humanos y técnicos disponibles en la empresa, y de las tecnologías productivas existentes en el mercado.

Esto hace que la penetración de la automatización en la industria en general y en la europea en particular sea cada vez mayor, aunque depende mucho del sector industrial, y, dentro de cada sector, entre las diferentes áreas de la empresa. Los que poseen una mayor utilización de la automatización a nivel europeo son los sectores electrónico, aeroespacial y automoción, seguidos a continuación por los sectores electromecánico, químico y fibras y por maquinaria, aunque en estos últimos la automatización no ha penetrado todavía tan profundamente en el área de ingeniería, donde no llega al 30%.

Las perspectivas son todavía más optimistas. Se espera que para 1995 la penetración de la automatización en todos estos sectores llegue al 85% en las áreas de procesos y de logística y organización, pasando en todos los casos del 50% en ingeniería y llegando en los tres primeros sectores antes indicados al 80%. En total se estima un mercado para las tecnologías de automatización en Europa para 1995 de 78.000 MECU, con un crecimiento mínimo anual del 8%.

### 4.1.2. La situación de la industria española

Frente a la necesidad de afianzar y mejorar la posición competitiva mediante la tecnología, el nivel de conocimiento y uso de las tecnologías de automatización e integración productiva en la industria española es bajo en comparación con los países más desarrollados de su entorno. Sin embargo, el interés mostrado por la Administración por una parte y por otra la existencia de un reducido, pero cada vez más amplio, grupo de empresas que creen en las nuevas tecnologías y en la capacidad de impacto de éstas en los objetivos de la empresa competitiva —calidad, flexibilidad y servicio—, aseguran un mayor desarrollo y difusión futuros de dichas tecnologías.

Las estructuras corporativas poco ágiles y la falta de personal cualificado están, por otra parte, frenando la puesta en marcha de iniciativas innovadoras por parte del cada vez más amplio grupo de directivos conscientes del reto de la com-

petitividad, que conocen las tecnologías de automatización e integración productiva, y optan por su utilización. Por último, es el coste de la inversión la barrera final a romper, coste inflado por una oferta que necesita crecer en desarrollo tecnológico interno para poder responder adecuadamente a la creciente demanda y también por el empleo de criterios de valoración de inversiones no siempre bien aplicados.

No debe tampoco perderse la perspectiva que la tecnología por sí misma no funciona ni produce beneficios. Son los elementos humanos los que hacen posible que la tecnología se ponga en marcha y produzca los beneficios potenciales que conlleva. Los directivos así lo reconocen colocando como segundo obstáculo para la implantación efectiva de tecnologías de integración la falta de recursos humanos cualificados. En foros europeos la tendencia es similar. Los empresarios expresan sus graves necesidades de infraestructura y personal preparado técnicamente, tanto directivos, como técnicos y mano de obra. Ahora bien, esta preparación ha de ser compartida con los centros de investigación, reduciendo la separación universidad–empresa española, y continuada con reciclajes y puestas al día. En Japón o Alemania, los estudios universitarios técnicos comprenden largos períodos prácticos en empresas. En formación profesional la preparación en el entorno real de trabajo es la base fundamental del éxito.

#### 4.2. La industria de automatización

La industria española de automatización, como ofertante de tecnología que es necesaria para mejorar la competitividad de la empresa española, es el otro actor del PAUTA en función del cual deben articularse las medidas a tomar.

Pero si en el caso de la industria en cuanto utilizadora de tecnología se ha enmarcado su presentación dentro de la situación de la industria mundial, en el caso de la industria de automatización, el encuadre de este actor dentro del marco mundial es más importante y necesario.

Además, antes de presentar la situación de la industria de automatización a nivel mundial, es conveniente exponer cuál es el alcance de estas tecnologías de automatización y las relaciones que existen entre los diversos elementos que las integran, especialmente en cuanto producto para su empleo en la industria manufacturera.

#### ***La automatización, sus tecnologías y su mercado***

Hoy la automatización abarca desde los sistemas hasta los elementos y subelementos que componen aquéllos, así como las tecnologías que llevan a la integración de éstos en los primeros y a su vez la integración de los sistemas en una unidad global que es la empresa. A esta concepción de la automatización es a la que se hace referencia cuando se habla de CIM.

La evolución de los sistemas «arrastra» la evolución de todos los subelementos y elementos que los componen. No se entiende una variación importante en las cifras de mercado ni en las tendencias tecnológicas, por ejemplo de sensores, si ésta no va asociada a una variación significativa de los sistemas en los cuales van a ir integrados, ya que los elementos y subelementos de automatización no son aplicables de forma aislada (al menos de forma apreciable para los parámetros mencionados).

El concepto CIM (Computer Integrated Manufacturing) se basa en la integración de sistemas parciales. A estos sistemas parciales se les denomina de forma diferente; en el mundo del proceso discreto se les llama «islas de automatización», en el proceso continuo es más difícil hablar de «islas» sin que esto quiera decir que no sea automatizable una parte del conjunto del proceso. El proceso continuo ha sido siempre el más avanzado desde el punto de vista de la automatización, habiendo demandado el desarrollo de elementos y subelementos que luego se han aplicado al proceso discreto. En este sentido, los sensores, los sistemas de adquisición, tratamiento y presentación de datos y los sistemas de control son los que mayor influencia han tenido, y por tanto, mayor desarrollo.

En el proceso discreto han intervenido no sólo características tecnológicas, sino también organizativas, cara al cambio en su filosofía y utilización.

Tradicionalmente, la organización de la producción, especialmente en la producción por lotes, se basaba en la agrupación de maquinaria de forma funcional, lo que mantenía su utilización a un nivel muy alto, pero complicaba el flujo de materiales en planta, y precisaba de un nivel de stocks muy elevado y por tanto costoso.

Con el incremento de la competitividad y la reducción de márgenes, muchas empresas se han visto obligadas a desarrollar nuevos sistemas de fabricación con la agrupación de operaciones similares, reducción de tiempos en el cambio de

un producto a otro, equilibrando la producción, disminuyendo considerablemente el trabajo en curso y aumentando la flexibilidad.

Estos nuevos métodos basan la distribución de la planta en los productos y no en las funciones. Mientras en una distribución funcional los materiales esperan a las máquinas, en la distribución por producto es la máquina quien espera el producto.

Estos cambios de concepto en la forma de producción también cambian las formas de inversión, que en lugar de destinarse a financiar inventarios, se destinan a la compra de maquinaria más costosa, aunque también más sofisticada.

El cuadro 1 adjunto proporciona un ejemplo de la estructura económica de la inversión en función del tipo de producción.

**CUADRO 1**  
**Descomposición del inmovilizado según tipo de producción**

	UTILIZACIÓN DEL CAPITAL			
	INVENTARIO	EDIFICIOS	MÁQUINAS Y EQUIPOS	TOTAL
Produc. funcional	21 unid. *	8 uni.	5 uni.	34 uni.
Produc. organizada por productos	8 uni. *	8 uni.	8 uni.	24 uni.

\* Unidades Monetarias.  
Fuente: Frost & Sullivan.

#### 4.2.1. La industria de automatización en el mundo

La automatización en su sentido más amplio, el CIM, tal como hemos indicado, empieza a ser objeto de análisis en estudios de mercado globales. Este mismo alcance de la automatización, así como la aplicación de sus tecnologías de integración a otros sectores no industriales (como Banca, Administraciones Públicas, o Servicios Públicos —Transporte, por ejemplo—) hacen que raramente coincidan los diferentes estudios existentes al emplear clasificaciones distintas, y datos no homogéneos.

El mercado mundial de automatización se situó en 1987 en 36.000 millones de dólares, de los cuales 9.500 correspondieron a Europa (el 26%), 13.200 a EE. UU. (36%) y 13.900 al resto del mundo. (Datos de la consultora BIPE, Bureau d'Informations et de Previsions Economiques.)

Otros estudios de mercado han situado esta cifra ligeramente por debajo, 35.000 millones de dólares, pero se mantienen los porcentajes de reparto (Dataquest).

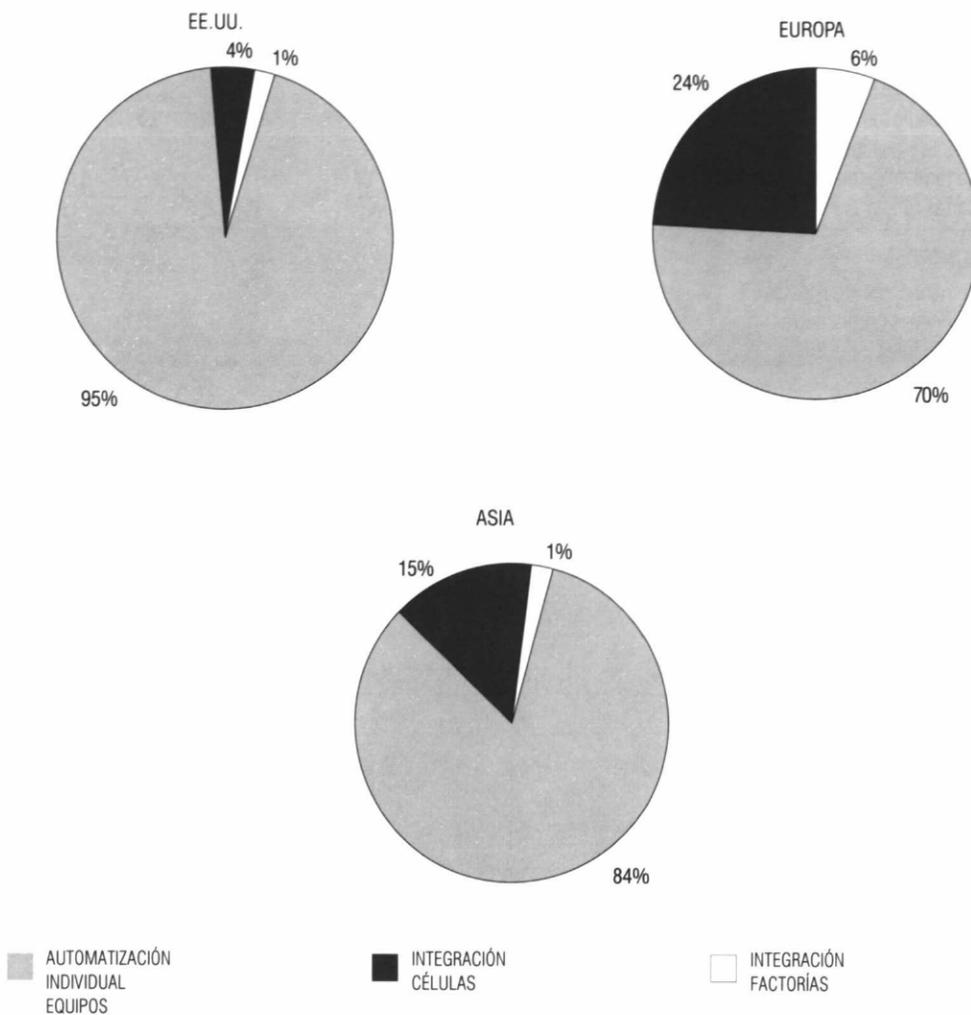
Estas cifras incluyen automatización individual de equipos, integración de células e integración de factorías.

Según la consultora Dataquest, el mercado americano dedica el 95% de sus inversiones a la automatización individual de equipos, mientras Europa dedica el 70% y Asia el 84%. En la integración de células el mercado americano utiliza el 4% de sus inversiones. Europa el 24% y Asia el 15%. El cuadro 2 presenta los datos mencionados.

En cuanto a los índices de crecimiento esperados, se sitúan alrededor del 10% anual (Dataquest, Messe Munchen International), lo cual daría cifras globales a nivel mundial de 54.000 millones de dólares para el año 91, de los cuales 11.000 corresponden al mercado europeo.

En el cuadro número 3 pueden verse las cifras de facturación mundial para 1988 en las principales tecnologías empleadas en automatización y las previsiones para 1991. Las gráficas 1 y 2 presentan, respectivamente, el volumen de facturación de los diferentes segmentos de automatización en el período 1988-1991 y su tasa de crecimiento anual medio para el mismo período. Las gráficas 3 y 4 presentan en detalle la evolución de la facturación mundial de los componentes en dos grandes áreas: Sistemas integrados de automatización y Robots y Manipuladores, en el quinquenio 87-91 y los cuadros con los valores numéricos.

**CUADRO 2**  
**Distribución de las inversiones en automatización por regiones**



#### 4.2.2. La industria de automatización en España

Una visión en detalle de la industria de automatización requiere presentar la situación de muy variados productos que en muchos casos se integran en otros que también son considerados. En la idea de simplificar esta visión, se han agrupado en los siguientes segmentos tecnológicos:

— Subelementos o componentes de automatización

Comprende tanto los motores y sus sistemas de control como los accionadores y los sensores, así como las unidades de entrada-salida de señales y los dispositivos de presentación.

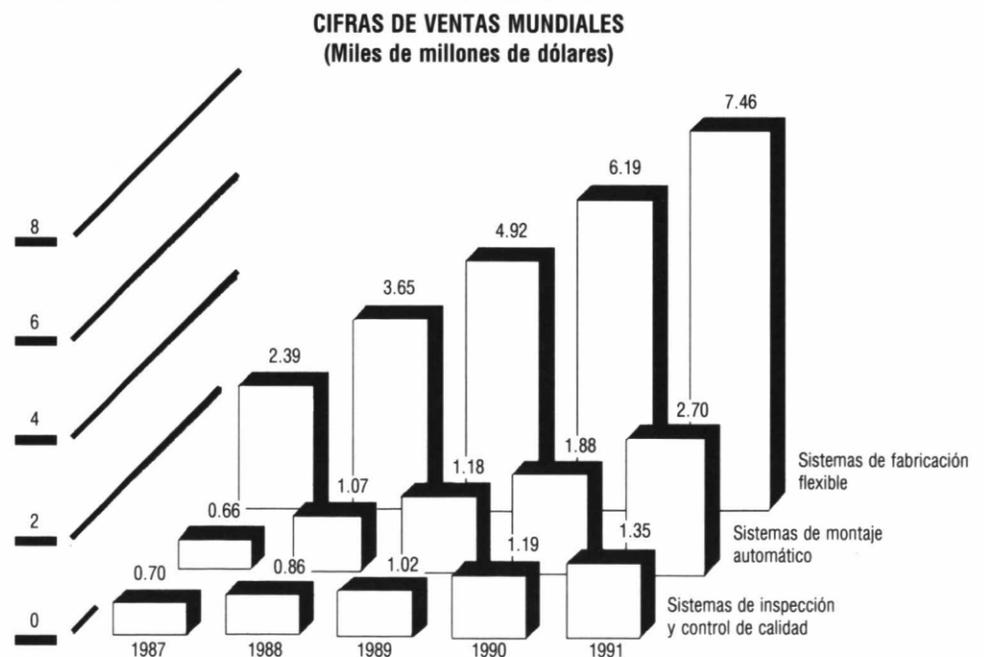
— Elementos de automatización

Se engloban aquí máquinas-herramienta automatizadas, controles numéricos, manipuladores y robots, elementos de transporte y alimentación, autómatas programables, reguladores, sistemas de adquisición de datos y dispositivos de identificación automática de piezas y de inspección.

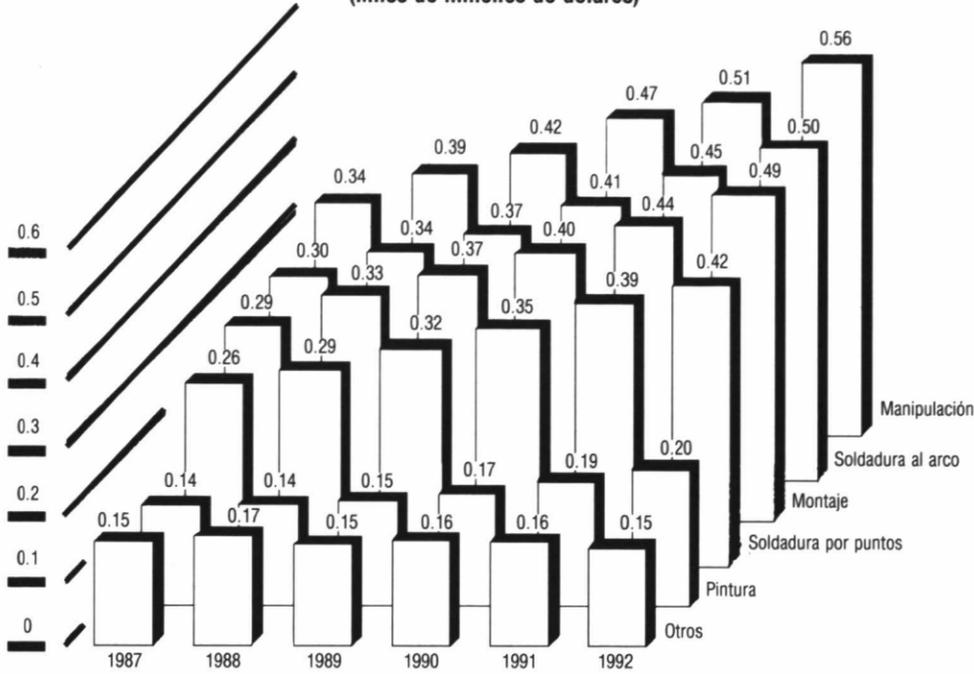
**CUADRO 3**  
**Evolución de facturación de los principales segmentos de automatización**

	1988	1991
<b>MANIPULACIÓN</b>		
• Elementos transporte y manutención	4,17	6
• Robots y manipuladores	1,6	2,14
• Herramientas robots	0,19	0,24
• Garras robots	0,07	0,13
<b>CONTROL</b>		
• Componentes industriales	2,3	3,7
• Autómatas programables	2	2,84
• Reguladores industriales	—	1,09
• SCADA	0,67	0,75
<b>MOTORES Y ACCIONADORES</b>		
• Motores	10	11,91
• Sistemas control motores	2,29	2,26
• Accionadores	1,3	1,42
<b>SENSORES Y PRESENTACIÓN DE DATOS</b>		
• Sensores	9,37	12,11
• Difusiones presentación	—	10,33
• Unidades E/S	0,36	0,99
<b>MÁQUINA-HERRAMIENTA</b>		
• M-H	41	44
• CN	2,6	3,63
• Utillaje	1,4	1,86
• Almacenes	0,58	0,77
<b>SISTEMAS AUTOMATIZACIÓN</b>		
• SFF	3,65	7,46
• Sistema montaje automático	1,07	2,7
• Sistemas inspección	0,86	1,35

Datos en miles de millones de dólares



**CIFRAS DE VENTAS MUNDIALES  
(Miles de millones de dólares)**



— Sistemas de automatización

Dentro de este segmento están incluidos los sistemas de fabricación flexibles y los de montaje, así como los de inspección y control dimensional.

— Tecnologías de integración

En este segmento se incluyen aquellas actividades y productos que permiten integrar todas las funciones de la empresa como los sistemas de planificación y control de producción, ingeniería de procesos, gestión de recursos, bases de datos y redes de comunicación de factoría.

A continuación se describe en forma concisa la situación del sector de automatización en España a partir de los datos proporcionados por estudios estratégicos realizados para la Dirección General de Electrónica y Nuevas Tecnologías, con cifras estimadas para 1990.

**4.2.2.1. Subelementos de automatización**

Las estimaciones realizadas para el mercado nacional de motores, en el que se ven incluidos servomotores y motores paso a paso, dan un valor de 8.800 millones de pesetas. En esta cifra también van incluidos los reguladores, debido a su comercialización conjunta. Los fabricantes son empresas de tamaño medio con una facturación que oscila entre 600 y 1.650 millones de pesetas y una plantilla media de 60 empleados.

En cuanto a los accionadores, la estimación del mercado nacional es de 6.000 millones de pesetas, en base a datos obtenidos de las encuestas realizadas. Por lo general, son empresas de tamaño medio, con una facturación media de 1.350 millones de pesetas y una plantilla que oscila entre 40 y 75 personas. La mayor parte de la facturación de las empresas que operan en este segmento va destinada al mercado nacional.

Los sensores son elementos de captación, con un amplio espectro de utilización en la industria en general, y en el sector de la automatización en particular. Sin embargo, hay que resaltar que su campo de utilización está expandiéndose cada vez más, introduciéndose en el mundo de la medicina, seguridad civil, etc.

Las estimaciones realizadas para el valor del mercado nacional de sensores son de 13.750 millones de pesetas para 1989. De los 13.750 millones, 5.500 corresponderían únicamente a sensores de posición.

La facturación media de las empresas del sector (considerando todos los campos que abarcan) se sitúa en torno a los 500 millones de pesetas y su plantilla oscila entre 30 y 200.

El segmento de unidades de entrada-salida está dividido en interfases hombre-máquina y tratamiento de señales. El mercado, para el primer grupo, se estima para 1990 en 4.000 millones de pesetas y en 400 millones de pesetas para el segundo.

Como dispositivos de presentación se incluyen los terminales, terminales de mano, visualizadores alfanuméricos, impresoras, etc. El valor estimado para el mercado nacional de dispositivos de presentación es de 3.000 millones de pesetas, de los cuales 300 millones corresponden a visualizadores de cotas. Respecto a las empresas suministradoras, su facturación media total es de 800 millones de pesetas y la plantilla media es, aproximadamente, de 80 personas. La práctica totalidad de las ventas, están destinadas al mercado nacional, no superando el 10% la cifra de exportaciones.

#### 4.2.2.2. Elementos de automatización

Dentro del segmento de la máquina-herramienta, la línea de productos que se ofrece en nuestro país es muy extensa, tanto en fabricación como en distribución. Entre las compañías nacionales fabricantes de este sector existe especialización en la producción de un tipo concreto de máquina. Dicha especialización es acusada entre los fabricantes de máquinas que realizan operaciones catalogadas como mecanizados no convencionales. Se trata de empresas de tamaño medio, con un número de empleados que oscila entre 20 y 170, y una facturación media en torno a los 850 millones de pesetas anuales. Es un hecho destacable el predominio de las empresas nacionales que fabrican, integran y comercializan sus propios productos.

Respecto a los controles numéricos, los productos comercializados y fabricados en este segmento son productos estándar cuyo volumen de producción se determina en función de la previsión de ventas. Las empresas de este segmento, ofrecen otros productos sustitutivos, como pueden ser autómatas programables o computadores industriales provistos de tarjetas especiales, capaces de controlar uno o varios ejes de un dispositivo.

Las inversiones en I + D de estas empresas en los últimos años son importantes, manteniéndose en cuotas del 15 % sobre su cifra de ventas.

El acceso a las nuevas tecnologías se realiza a través de licencias y acuerdos con otras compañías cuando no se desarrolla internamente, y el valor del mercado nacional de control numérico se puede estimar en 2.500 millones de pesetas.

La facturación media es de, aproximadamente 480 millones de pesetas; las empresas de la muestra tienen un tamaño medio, con un número de empleados que oscila entre 20 y 45.

En muchas ocasiones el producto ofrecido por las empresas de manipuladores y robots son proyectos de automatización parcial de procesos industriales específicos, generalmente asociados a la máquina-herramienta, ofreciendo por este motivo productos ajustados a las necesidades de cada cliente, y en cantidades pedidas por el mismo cliente.

El valor estimado para el mercado nacional de robots, es de 5.000 millones de pesetas.

El mercado estimado de los manipuladores supone un total de 12.000 millones de pesetas, estando comprendidos en estas cifras todas las aplicaciones en donde entra a formar parte un manipulador.

En lo que a su tamaño se refiere, se distinguen dos grupos. A un primer grupo pertenecen empresas dedicadas en su mayor parte a temas de robótica con una facturación situada ente 250 y 600 millones de pesetas y un número medio de empleados en torno a los 20.

Por otro lado figuran empresas que abarcan otros segmentos además del de manipuladores y robots. Su facturación total media se sitúa sobre los 4.300 millones de pesetas y el número de empleados entre 170 y 500.

Se observa que la industria del automóvil absorbe gran parte del mercado tanto de robótica como de manipulación en general.

A pesar de ello la industria de la máquina-herramienta aparece como un sector con fuerte potencial de arrastre en el sector de la manipulación, al ofrecer soluciones integradas, máquina-manipulador.

Dentro del segmento de herramientas y accesorios se incluyen los almacenes automáticos de herramientas para centros de mecanizado y tornos y herramientas para robots (excluyendo las garras). Los almacenes son producidos por las

empresas fabricantes de máquinas-herramienta en función del pedido. Las estimaciones realizadas para el valor del mercado español de este segmento es de 1.700 millones de pesetas, de los cuales 1.200 millones pertenecen a almacenes de herramientas y garras, y 500 millones pertenecen a herramientas para robots.

La facturación media es de 2.600 millones de pesetas; en cuanto al tamaño de la empresa se sitúa entre 160 y 350 empleados.

Las aplicaciones de manipulación sitúan su crecimiento por encima de las de pintura.

Los elementos de fijación se suelen dividir en dos grupos: Utillaje para máquina-herramienta y garras para robots.

Las garras de robots son elementos que pueden producirse bajo especificaciones fijadas por el cliente para aplicaciones concretas, sin embargo, las empresas ofrecen productos estándar, fabricados en función de la previsión de ventas.

Lo mismo ocurre con los utillajes para máquina-herramienta. Aunque existen utillajes modulares y estándar, son frecuentes las realizaciones especiales para mecanización de piezas.

La estimación realizada para el mercado nacional de utillaje de fijación para máquina-herramienta es de 3.700 millones de pesetas.

Por lo general, se trata de empresas de tamaño medio (entre 20 y 60 empleados) que no limitan su actividad a los elementos de fijación. Su facturación media total es de 1.000 millones de pesetas, aproximadamente.

En cuanto a los elementos de transporte, mantenimiento y alimentación, la facturación de las empresas que operan en este segmento en fabricación y venta de productos se sitúa en torno a dos bandas. La superior sobre los 2.000 millones de pesetas al año y la inferior sobre los 400 millones.

Las empresas situadas en la banda alta de facturación emplean a unas 400 personas en total, las situadas en la banda baja a unas 60.

Los planes de producción se determinan principalmente en base a las necesidades de cada cliente. Si bien se mantiene un stock de elementos modulares.

El valor del mercado nacional se estima en torno a los 10.000 millones de pesetas para el año 1990.

La mayor parte de los productos tienen por destino el mercado nacional y un porcentaje muy pequeño de las ventas de aquellas compañías que exportan tiene por destino algún país de la CEE.

### ***Autómatas programables***

Los productos ofrecidos por estas compañías son productos estándar, producidos en función de las previsiones de absorción del mercado.

Todas las empresas del segmento han introducido en los dos últimos años productos nuevos en una proporción entre el 25% y el 50% sobre los productos ya existentes. Este hecho demuestra el dinamismo del segmento que intenta adaptarse de esta manera a la demanda del mercado nacional cada vez más exigente en materia de automatización.

Las empresas del sector en su mayoría son grandes compañías. Su facturación total oscila entre 1.200 y 9.200 millones de pesetas y su plantilla media es de 200 empleados.

El valor estimado del mercado nacional de autómatas programables es de 7.000 millones de pesetas.

### ***Reguladores industriales***

La regulación industrial abarca un amplio campo de actividad en lo que a posibilidades de uso de hardware y software se refiere. Igualmente se puede decir de su campo de aplicación dentro de los procesos industriales.

Este segmento se centra en los reguladores PID y los reguladores avanzados y las cifras que se manejan han sido estimadas sólo para sistemas dedicados.

Las compañías suministran, además de los controladores PID y otros controladores avanzados, sistemas de supervisión y control de plantas industriales, sistemas de optimización inteligentes, etc.

Muchas de las empresas de este segmento ofrecen proyectos llave en mano. Desde este punto de vista el producto ofrecido en este segmento estará ajustado a las necesidades específicas de cada cliente.

El valor estimado para el segmento de reguladores industriales en España, es de 2.000 millones de pesetas.

Por su tamaño, las empresas se pueden clasificar en dos grupos. El primero está formado por grandes empresas del sector eléctrico y electrónico con una facturación media total de 3.200 millones de pesetas y una plantilla media de unos 160 empleados. El otro grupo lo componen empresas cuya principal actividad es la regulación industrial. La facturación media de este segundo grupo se sitúa en torno a 500 millones y su plantilla media sobre los 25 empleados.

### ***Computadores industriales***

Los productos ofrecidos por las compañías de este segmento son fundamentalmente productos estándar que se fabrican en función de las previsiones de la demanda.

La competitividad es función de la flexibilidad en cuanto a ofrecer una solución informática completa en una planta, proporcionando no sólo las CPU'S sino también monitores, red de comunicación, etc.

En este segmento se puede observar una actualización de los productos continua. La tasa de productos nuevos sobre los existentes alcanza el 50% en todas las empresas llegando al 75% en algunas. Este hecho demuestra la elevada competitividad del segmento, y su continuo grado de desarrollo.

El valor estimado para el mercado nacional de ordenadores industriales es de 7.000 millones de pesetas.

Por lo general, son grandes compañías multinacionales que operan en diferentes campos de la electrónica e informática. Se puede estimar una facturación media del departamento de computadores industriales en torno a los 250 millones de pesetas, con una plantilla que oscila entre 5 y 30 personas.

La demanda para este sector en el mercado nacional se prevé alta en opinión de las empresas del sector. En el mercado internacional se prevé una tasa de crecimiento menor.

### ***Sistema de adquisición de datos (SCADA)***

Dentro del producto correspondiente a este segmento habría que diferenciar entre el soporte físico del sistema, captadores, hardware, y periféricos necesarios, y el software que procesa los datos recogidos.

En el mercado nacional existen empresas cuya actividad se centra en la implantación de sistemas completos para la adquisición de datos en planta.

Otras empresas se dedican al desarrollo de aplicaciones de software para estos sistemas.

El mercado nacional de sistemas de adquisición de datos es de 1.400 millones de pesetas.

Se trata de empresas con una facturación total media de 700 millones de pesetas y una plantilla que oscila entre 10 y 100 empleados.

### ***Dispositivos de identificación automática de piezas***

Los dispositivos para identificación automática de piezas se pueden comercializar individualmente, o como elementos pertenecientes a un sistema integral.

La mayoría de las empresas demandan el sistema completo, que normalmente será desarrollado por la misma empresa que suministra los dispositivos.

En este sentido los productos ofrecidos por las empresas del sector son productos ajustados a las necesidades del cliente.

El desarrollo de nuevos componentes y procesos, para aumentar el campo de aplicación de los dispositivos de identificación automática de piezas, es un factor que influye mucho en la competitividad de las empresas del segmento.

En este aspecto las empresas están en clara desventaja con respecto a las empresas europeas del sector, se aprecia una alta actividad en cuanto al número de nuevos productos introducidos por las empresas, sobre todo por las empresas que comercializan productos extranjeros.

Los dispositivos incluidos dentro de este segmento tienen una amplia aplicación en otras actividades fuera del sector de la automatización industrial. El valor estimado del mercado nacional de dispositivos de identificación de piezas, destinados a la industria de la automatización es de 5.300 millones de pesetas.

Por su tamaño se distinguen dos tipos: grandes empresas dedicadas a distintos sectores de la industria y pequeñas empresas, cuya actividad fundamental es la automatización. La facturación de estas últimas oscila entre 60 y 255 millones de pesetas y su plantilla media es de 15 personas.

Frente al futuro algunas empresas han iniciado ya acuerdos con otras empresas europeas, para la comercialización de sus productos.

Las necesidades de automatización en general de toda la industria española, acompañadas de una mayor información, elevarán la tasa de demanda previsible a medio plazo.

Los productos de este segmento son demandados tanto por PYMES como por grandes empresas, con procesos de fabricación continuos y discretos.

### **Dispositivos de inspección**

En este segmento se han agrupado una amplia gama de productos dedicados a la inspección de la producción de forma automática.

Las empresas que operan en el sector pertenecen fundamentalmente a dos grupos: Distribuidores de firmas extranjeras e integradoras de elementos sensores y sistemas de control para ofrecer soluciones adaptadas a las necesidades del cliente.

Según los datos aportados por diferentes estudios, la estimación del mercado español de sistemas de inspección es de 2.000 millones de pesetas.

Este total se puede desglosar de la siguiente forma:

— Robots inspección:	168 MPtas.
— Visión artificial:	225 MPtas.
— Máquinas de medida por coordenadas:	1.200 MPtas.
— Otros dispositivos de inspección:	407 MPtas.
— Total:	2.000 MPtas.

El tamaño de las empresas es bastante uniforme, siendo los valores medios de facturación total y plantilla los siguientes: 500 millones de pesetas y 30 personas.

Algunas de las empresas realizan exportaciones a países de la CEE.

### **Dispositivos de seguridad y protección**

Los productos pertenecientes a este segmento se engloban principalmente en dos grupos:

Los sistemas de alimentación ininterrumpida y sistemas de alarma y protección.

En el segundo caso, los sistemas están fundamentalmente compuestos por elementos de detección (sensores, captadores).

La estimación del mercado nacional para elementos detectores de proximidad inductivos, finales de carrera, barreras fotoeléctricas, etc. (elementos que se integran en un sistema de seguridad y protección), alcanza los 1.300 millones de pesetas. En esta cifra están contempladas aplicaciones que no pertenecen a este segmento.

Todas las empresas de la muestra de este segmento se localizan en Barcelona, su facturación total oscila entre 400 y 1.400 millones de pesetas, y el número de empleados se sitúa entre 15 y 80.

#### 4.2.2.3. Sistemas de automatización

Un sistema de automatización es un conjunto de equipos compatibles e interconectables entre sí en muy variadas configuraciones y cuya función se define y alcanza precisamente por la configuración adoptada.

Desde un punto de vista tecnológico, puede contemplarse una pluralidad de sistemas, pero son tres los que tienen importancia industrial en el ámbito temporal de este plan:

- Sistemas de fabricación flexible (S. F. F.).
- Sistemas de montaje (A. S.).
- Sistemas de inspección y control de calidad (QCS-Quality Control Systems).

Los actores de oferta se mueven, cualquiera que sea su papel, en su entorno que tiene algunas características comunes para los tres tipos de sistemas:

El factor principal es el hecho de que el mercado de técnicas de fabricación avanzada no ha alcanzado aún su etapa de madurez. Una gran parte de usuarios potenciales de estos sistemas está aún en fase de estudio y consideración de una posible instalación.

La situación es sin duda inestable y cambiante, y probablemente sean las grandes compañías con medios financieros y planes bien definidos acerca de sus estrategias de entrada y afianzamiento en un mercado, las que permanezcan en él.

No obstante, aquellas pequeñas y medianas empresas que sepan identificar pequeños nichos del mercado para el desarrollo de productos muy específicos también tendrán posibilidades de permanecer en éste.

Si analizamos cada uno de los tres tipos de sistemas indicados, podemos resumir la situación actual y en un futuro previsible de la siguiente manera:

#### **Sistemas de fabricación flexible (S. F. F.)**

En lo referente al perfil de los proveedores más importantes de S. F. F., las grandes compañías fabricantes de máquinas-herramienta suelen ser el denominador común.

Por ser la máquina-herramienta uno de los componentes principales de los S. F. F., resulta bastante atrayente para las compañías el extender su producto a sistemas flexibles totalmente integrados, ya que esto les permite ser más competitivos, y aumentar sus márgenes.

Esto conlleva a un desarrollo de los sistemas de fabricación flexible «desde abajo», es decir desde el nivel máquina, lo que viene favorecido, además, por la tendencia dominante en la implantación de este tipo de sistemas: partir de células flexibles, que más adelante pueden irse integrando hasta constituir una línea o un sistema de fabricación flexible.

Por el momento se aprecia que más del 50% de los S. F. F. instalados (por coste) son sistemas de mecanizado, aproximadamente un 15% sistemas de manipulación y/o transporte y el resto, con tendencia al alza, sistemas de montaje. Naturalmente el coste de los sistemas de mecanizado es muy superior (en media) al de los otros tipos de sistemas, por lo que en cuanto a número de unidades estas cifras se modifican notablemente, ya que, medida en unidades de distribución sería aproximadamente mecanizado (25%), manipulación y/o transporte (25%), montaje mecánico (33%) y montaje electrónico (aproximadamente 17%).

## **Sistemas de montaje**

Tradicionalmente el motivo fundamental para la implantación de sistemas de montaje se basaba fundamentalmente en la reducción de los costes de mano de obra. Esta reducción se conseguía con la implantación de sistemas automáticos que permitieran reducir el personal dedicado a labores que no añadían valor al producto.

Actualmente el motivo por el que se implantan los sistemas de montaje se debe más bien a razones de mejora de la calidad, o a razones de mejora en la gestión de la producción. Los sistemas de montaje permiten fácilmente su control desde órganos de gestión superior.

La empresa industrial tiende a instalar sistemas globales de montaje, para aquellos productos nuevos en su cartera, con inversiones en una sola vez, mientras que las inversiones para renovar los sistemas de montaje de productos maduros de la cartera de la empresa se hacen de forma escalonada y siempre a nivel de célula.

Las tendencias de las instalaciones de montaje se orientan hacia realizaciones bajo la modalidad «llave en mano» en sistemas cada vez más automatizados que permitan adaptarse adecuadamente a los cambios de la producción.

La tendencia general según se desprende de los últimos estudios sobre empresas fabricantes y distribuidoras de sistemas de montaje, se orienta hacia la especialización de las funciones que los grandes fabricantes desarrollan. Estos fabricantes tienden a reducir la ingeniería para la adaptación de los sistemas a las necesidades de cada cliente, pero a su vez a incrementar la ingeniería de fabricación y la modularidad para que la adaptación pueda producirse lo más fácilmente posible. En este sentido se espera que se desarrollen pequeñas y medianas empresas de servicios, de mantenimiento de informática, de software, etc., para conseguir adaptar las soluciones, presentadas por las compañías fabricantes a las necesidades de cada cliente.

Según estas mismas fuentes indican, el complemento de empresa fabricante y de empresa de servicios será más eficiente que la situación actual, en el que una empresa fabricante realiza varias funciones, en muchas de las cuales no es especialista.

Las nuevas tecnologías que se están introduciendo en los sistemas de montaje cada vez con más extensión se orientan hacia el empleo de la electrónica, de la electricidad de baja potencia (24 y 12 voltios), de software y de integración con otros equipos. Dichas tecnologías son introducidas con una mejora de prestaciones y un mantenimiento cada vez más reducido.

Las características generales de los futuros sistemas de montaje se resumen a continuación:

- Modularidad.
- Flexibilidad.
- Empleo de software a medida para control de la célula e integración, mediante red local, en otros órganos de gestión superior.
- Empleo de códigos de barras u otros dispositivos de identificación que permitan controlar el producto fabricado, las rutas y su trazado, etc.
- Empleo de controles de calidad intermedios y simplificación del mantenimiento de los equipos de montaje.
- Empleo de tecnologías de software, electrónicas, electricidad de baja potencia y de integración.
- Desplazamiento progresivo de tecnologías sucias (aceites, grasas, etc.), hacia otras más limpias.

En cuanto a la estructura de la oferta en España, puede decirse que los 5 principales suministradores suman un 75% del mercado.

Respecto a la descomposición de costes, las empresas fabricantes y/o distribuidoras invierten del orden del 5% al 10% del valor de la instalación en realizar la ingeniería para la adaptación de los equipos a las necesidades reales de cada cliente. Dicha cifra se estima que se reduzca lentamente para mantenerse en unos niveles próximos al 5%.

Los recursos humanos necesarios para la utilización de sistemas de montaje (excluyendo sistemas automatizados con robots de montaje) son en general suficientes aunque se estima que en un futuro a corto plazo, ante el aumento de la

demanda en estos sistemas, se ven insuficientes. Sin embargo, para la fabricación de sistemas de montaje existe actualmente una gran demanda de personas con el nivel técnico adecuado.

### **Sistemas de inspección y control de calidad**

Los de mayor repercusión económico-industrial en el momento actual son:

- Sistemas de detección.
- Sistemas y programas de diagnóstico.

Se entiende por sistema de detección a un conjunto de elementos integrados entre sí y que, instalado sobre una máquina, mide y analiza la variable que se quiere estudiar. De esta forma, agrupados bajo este nombre se analizan los sistemas de control de rotura y desgaste de herramienta en máquinas-herramienta y vigilancia de estado de máquina.

Bajo la denominación de sistemas y programas de diagnóstico, se engloba la agrupación e integración de uno o varios dispositivos de inspección con elementos de manipulación y transporte y con el adecuado soporte informático y de comunicaciones, con el objetivo de controlar la calidad del producto fabricado.

Los sistemas de detección son de relativamente reciente desarrollo y algunos se encuentran todavía en fase experimental. Su evolución, cuando se trata de aplicaciones sobre máquinas-herramienta, es paralela al desarrollo de control numérico y sus relaciones y comunicaciones definitivas para la optimización de los resultados.

En cuanto a los sistemas y programas de diagnóstico se puede decir que su uso se incrementa a medida que la operatividad sin vigilancia humana aumenta y a medida que los sistemas de gestión y tratamiento de datos se hacen más completos.

Se componen fundamentalmente, de uno o varios dispositivos de inspección, que reciben los elementos a controlar de forma automática y que, una vez estudiados éstos elaboran una información para ser usada, no sólo sobre la pieza o elemento controlado, sino sobre todo el proceso (control estadístico de procesos, por ejemplo).

Como dispositivos de inspección, los más usados están siendo los robots de medida y las máquinas tridimensionales.

Los sistemas basados en sensor de visión y robot están siendo cada vez más usados, aunque para determinadas aplicaciones los sensores por ultrasonidos y los de reflexión de luz guiada con fibra óptica pueden resolver, a bajo coste, el problema.

El aspecto más importante de estos sistemas es la integración de los elementos que los componen y el software de control.

En este sentido, las empresas dedicadas a la fabricación de dispositivos de inspección están enriqueciendo su oferta, incluyendo en su cartera de productos soluciones integradas apoyadas por desarrollos de software estándar que faciliten la comunicación entre estos sistemas y otros de indole superior.

#### **4.2.2.4. Tecnologías de integración**

Las tecnologías de integración son las que permiten la coordinación y el apoyo de las funciones de gestión y fabricación en función de la información generada, transformada, transportada y almacenada por medio de tecnología informática.

Las características de la oferta se hallan condicionadas por las circunstancias de un mercado poco desarrollado. Así pues no existe, en general, una oferta especializada en la resolución de problemas de negocio en sectores de fabricación específicos.

Los paquetes y programas son de uso general y, en la mayor parte de los casos, requieren modificaciones y esfuerzo de programación para ajustarlos a las necesidades funcionales propias de las industrias en las que se implantan.

En particular, no existen apenas productos dirigidos a las necesidades funcionales y de inversión de las pequeñas y medianas empresas.

Sólo existe realmente oferta para empresas con facturaciones superiores a 2.000 millones, dispuestas a realizar inversiones en torno a los 46 millones de pesetas.

Respecto al enfoque tecnológico de los ofertantes, actualmente es más el de aportar productos y sistemas, pero no soluciones globales capaces de soportar la integración específica de áreas importantes dentro de la empresa.

Según recientes encuestas el nivel tecnológico del producto es destacado por las empresas ofertantes como criterio básico de selección de productos por parte de sus clientes. Sin embargo, este concepto ocupa un sexto lugar en la lista de prioridades de la empresa manufacturera. Otros aspectos clave para ésta, como el grado de integridad y la garantía de continuidad en el soporte del producto, no son, sin embargo, considerados relevantes para la oferta.

No existe una oferta local, especializada en la resolución de necesidades para la industria manufacturera de su entorno, y con tarifas que se ajusten a sus posibilidades de inversión.

Esta situación es razonable en el mercado de hardware, donde las inversiones necesarias para el desarrollo de nuevos productos y su escasa vida media hacen necesarios planteamientos mundiales de inversión.

Lo es también en menor medida en la industria de software, donde la elaboración de nuevas técnicas y productos de funcionalidad compleja requiere una amplia base consumidora capaz de amortizar el esfuerzo inversor.

Sin embargo, los servicios profesionales de integración sólo pueden ser llevados a cabo con éxito por profesionales, con amplios conocimientos y experiencia, tanto de las tecnologías que se manejan, de empresas capaces de atender la demanda específica de pequeñas y medianas empresas industriales en sectores y áreas geográficas concretas.

La carencia de personal afecta por igual a oferta y demanda de tecnologías de fabricación. Este hecho actúa como factor limitativo en el crecimiento y en las posibilidades de expansión de la oferta.

Las empresas ofertantes, especialmente pequeñas y medianas, tienen muy difícil la incorporación de profesionales preparados para una correcta aplicación de estas tecnologías a las necesidades de la industria manufacturera. El uso de muchas y muy distintas disciplinas requiere un alto grado de formación entre los creadores de productos software y el personal que debe dirigir la introducción de tecnologías en los procesos productivos.

Por otro lado, la carencia de personal cualificado en el mercado de trabajo obliga a la adopción de políticas de personal en compañías de software y consultorías, que pueden provocar faltas periódicas de recursos humanos, capaces de llevar adelante los proyectos de integración acometidos. Este hecho alarga el tiempo de implantación, encarece el presupuesto y afecta negativamente la calidad percibida y real de los proyectos de integración.

Los actores de la oferta en este campo comprenden integradores de sistemas, empresas de Hardware y de Software.

### ***Integradores de Sistemas***

El campo de las tecnologías de integración en fabricación está empezando a suscitar interés en las compañías consultoras tradicionalmente enfocadas a las áreas de gestión. Desde hace cinco o seis años, el número de empresas que ofrecen servicios de integración en el campo de la fabricación ha aumentado considerablemente. Siguiendo el modelo de los integradores de sistemas pioneros en el área de fabricación, la mayor parte de los nuevos participantes se especializan en construir sistemas a medida ajustados a las necesidades de sus clientes.

Los integradores de sistemas independientes se han establecido como implementadores no creadores de sistemas, utilizando los mejores productos disponibles en el mercado, para desarrollar soluciones a las necesidades de automatización de sus clientes. A pesar de que los suministradores y fabricantes del producto que venden no suelen mostrarse interesados en desarrollar experiencia en otros productos y tecnologías de otros proveedores, la capacidad para trabajar con múltiples tecnologías y suministradores es la clave del funcionamiento de la mayoría de los integradores de sistemas actuales.

El número de integradores con una notable implantación en el mercado español no supera las 4 ó 5 compañías.

### ***Empresas de Hardware***

Los principales participantes dentro de esta categoría son los fabricantes de ordenadores. Se caracterizan por su gran tamaño relativo frente a otros participantes en el mercado y por la fuerte presencia de capital extranjero. Estas compañías siguen estrategias internacionales de ventas y producción, y en general, se centran en España como centro de comercialización de sus productos. Tradicionalmente, estas compañías han desarrollado y comercializado una gran variedad de paquetes software, a la vez que suministraban servicios de instalación y mantenimiento para impulsar su oferta de equipos. Actualmente, la mayoría de las compañías están cediendo en el mercado de las aplicaciones de software para atraer a pequeñas compañías de software, tanto internacionales como españolas, y demostrar a los usuarios la conveniencia de sus estándares. Aunque muchas de ellas disponen de productos específicos dirigidos al campo de la producción, hasta ahora éstos no siempre se comercializan en España, por falta de perspectivas de mercado.

Otro importante grupo está formado por los fabricantes de sistemas de automatización avanzada. A causa de su profundo conocimiento en las operaciones con máquina-herramienta, muchos suministradores de sistemas flexibles de producción (FMS) ofrecen en sus sistemas Monitorización de Cédulas y software de control. Su software consiste en módulos estandarizados para el control de máquinas secuenciales, aplicaciones SPC, funciones de Monitorización y Gestión de Bases de Datos. En España, la mayor parte de las empresas de este grupo pertenecen a grupos internacionales y desarrollan fundamentalmente tareas de comercialización de productos desarrollados y producidos en el exterior.

Por último, existe un numeroso conjunto de empresas en el campo de la instrumentación y automatización que se están introduciendo en los mercados de tecnologías de integración.

Estas compañías suelen establecer su oferta en asociación con fabricantes de máquinas-herramienta; equipos de automatización o integradores de sistemas. En general, las tareas de integración realizadas por estas compañías se realizan en paralelo con proyectos de automatización. En este grupo, el porcentaje de empresas españolas es mayor.

### ***Empresas de Software***

Las compañías de software forman el grupo más extenso de participantes en la industria. Tanto compañías españolas que desarrollan software a medida, o se asocian a fabricantes de ordenadores para la producción de paquetes concretos, como las casas internacionales con representación en España, suelen tener un tamaño muy reducido. Entre las empresas de este sector, la media de facturación apenas supera los 1.000 millones.

### ***Sistemas y Herramientas de integración ofertados***

Hay pocos suministradores en el mercado capaces de asumir la responsabilidad de la implantación total de un proyecto de integración. Muchos se limitan únicamente a suministrar el hardware, o software, y no aportan capacidad de planificación, diseño, gestión y control de proyectos.

Los sistemas y herramientas ofertados están comprendidos en la siguiente **clasificación**:

- Sistemas de planificación y control de la producción.
- Sistemas de soporte a la ingeniería de diseño (CAD/CAM/CAE).
- Sistemas de soporte a la ingeniería de fabricación (CAPP).
- Sistemas de monitorización y control de procesos.
- Sistemas de supervisión y control de área y célula.
- Sistemas de mantenimiento.
- Sistemas de programación a capacidad finita.
- Sistemas de red local para gestión y para factoría.

Solamente vamos a detallar los dos primeros.

### **Sistemas de Planificación y Control de la Producción**

Un 28,2% de las empresas ofertantes de software de fabricación disponen de sistemas de Planificación y Control de la Producción con funcionalidad completa. Por tipo de compañías, son las consultoras (31,3%) y empresas de hardware (30,8%) las que más se concentran en este tipo de tecnologías. En general, la función más extendida es el control de inventarios; un 59% de las empresas ofertantes disponen de sistemas que ofrecen esta funcionalidad. Le siguen en importancia las funciones de Contabilidad y Control de Costes (56%) y Gestión de Compras (54%).

### **Sistemas de Soporte a la Ingeniería de Diseño (CAD/CAM/CAE)**

Los sistemas de soporte a las Ingenierías de Diseño son los más populares entre la oferta española de tecnologías de integración en fabricación. Sus múltiples usos en aplicaciones tanto dentro como fuera de la industria manufacturera, aseguran un mercado amplio y con necesidades diversas en el que pueden convivir diversos tipos de ofertantes. Los sistemas más populares son los sistemas de Diseño Asistido por Ordenador (CAD); un 33,8% de las empresas aseguran disponer en su oferta de sistemas de este tipo.

*(Del Plan de Automatización Industrial Avanzada (PAUTA III).  
Madrid, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo: Centro de  
Publicaciones). 1992. Capítulo 4: pág. 27 a 67.*

## GONZALO TORRES QUEVEDO

Torres Quevedo nació en Santa Cruz de Iguña, aldea de la provincia de Santander, el 28 de diciembre de 1852, y falleció en Madrid el 18 de diciembre de 1936. Está, pues, próximo a cumplirse el centenario del nacimiento de aquel insigne español, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, a quien debe España días de gloria cuando hizo traspasar las fronteras a la fama de la ciencia patria, y que figura en primera línea en un Cuerpo, como el nuestro, tan pródigo en hombres geniales. El que escribe estas líneas lleva su apellido con tan legítimo orgullo como humildad sincera, único motivo, indudablemente, que ha movido a la Dirección de la *Revista de Obras Públicas* a pedirle este artículo, encargo honrosísimo que agradezco, pero lleno para mí de escollos, por lo que ruego al lector que me conceda la más benévola indulgencia.

Torres Quevedo es oriundo de Bilbao por parte de su padre, y de la provincia de Santander por la de su madre. Su padre, don Luis Torres Vildósola, que fue también un distinguido Ingeniero de Caminos de la promoción de 1839, dos años posterior a la de don Lucio del Valle, nació y se educó en Bilbao, y vascos eran sus ascendientes, excepto el bisabuelo de Torres Quevedo, don Joaquín de Torres Luque, nacido en Baeza, que se trasladó a Bilbao, se casó con doña María Gregoria Vildósola y Anza, y fijó allí su residencia. La madre de Torres Quevedo era de Santa Cruz, donde la conoció en el ejercicio de trabajos profesionales el Ingeniero que había de ser su marido; pero en la época de la niñez y primera juventud de Torres Quevedo vivían generalmente en Bilbao, y en aquella invicta villa cursó el Bachillerato y la preparación para ingresar en la Escuela de Ingenieros de Caminos, carrera que terminó el año 1876.



Pertenecieron a su promoción su primo carnal don José Luis Torres Vildósola, su pariente don Fernando Landecho y don Valentín Gorbeña, amigo fraternal suyo que promovió más adelante la instalación de los transbordadores aéreos inventados por Torres Quevedo, del Monte Ulía, en San Sebastián, y sobre el río Niágara, en Canadá.

Aunque concluyó la carrera como alumno oficial, con pleno derecho a ingresar en el escalafón de nuestro Cuerpo, no llegó a hacerlo, pero siempre sintió con profundo cariño los lazos que a él le unían, y después de haber ejercido su profesión, durante poco tiempo, con carácter particular, impulsado por una vocación irresistible, se dedicó a sus investigaciones, de naturaleza diversa y que a primera vista pudiera parecer que no tienen relación unas con otras, pero que profundi-

zando en su esencia, en casi todas puede apreciarse una conexión con la idea de automatismo, hasta llegar, en el año 1914, a una de sus dos obras más geniales: un folleto de 29 páginas, publicado en la *Revista de la Academia de Ciencias*, titulado «Ensayos sobre Automática. Su definición. Extensión teórica de sus aplicaciones», en el que estudia con la máxima generalidad y amplitud los principios de esta nueva rama científica, de la que cabe considerarle como fundador y precursor con la más estricta justicia. No hizo la Automática grandes progresos en el mundo en los años inmediatos; pero en época bastante reciente ha adquirido gran desarrollo, y con la adición del estudio de su relación con el sistema nervioso, lo que no la modifica fundamentalmente, ha recibido hace pocos años el nombre de cibernética y es hoy día de la máxima actualidad. Maurice d'Ocagne escribió en el año 1937: «Dando a lo que hoy día se llama «Automática» una forma rigurosamente científica, puede decirse que Torres ha enriquecido la mecánica con una rama nueva».

Su otra obra cumbre, a mi juicio modestísimo, es la Memoria de 1900 titulada «Las máquinas de calcular», que la Academia de Ciencias de París, de acuerdo con el informe muy laudatorio de una Ponencia formada por Poincaré, Appell y Deprez, decidió publicar en la colección de sabios extranjeros. Es un estudio muy general, en el que, teóricamente, se resuelve de un modo completo el problema de la construcción de las relaciones algébricas y trascendentes, incluyendo las formas diferenciales e imaginarias, por medio de máquinas. Por lo que se refiere a la resolución de ecuaciones algébricas, que es sólo una parte de esta teoría, casi todo lo que luego ha llevado a cabo había sido previsto en sus fundamentos, con mucho detalle, desde el año 1893, en que redactó una Memoria que fue favorablemente informada por la Academia de Ciencias de Madrid, de acuerdo con una brillante Ponencia de don Eduardo Saavedra. En aquellos años, y posteriormente, llegó a construir varias máquinas de este tipo, de gran ingeniosidad.

Sus trabajos sobre las máquinas de calcular afirmaron su reputación científica, le llevaron a la Academia de Ciencias el año 1901, y en los siguientes comenzó sus trabajos, más espectaculares para el público, del telekino y los globos dirigibles, y el Gobierno le proporcionó medios para establecer un «Laboratorio de Mecánica aplicada», que se llamó también después «Torres Quevedo» y «de Automática», con objeto de realizar sus diferentes inventos, o los de otros inventores, a los que acogió con la mayor generosidad.

Algunos de sus trabajos son conocidísimos, entre los que están el telekino, los globos dirigibles, los transbordadores funiculares y el ajedrecista, mientras que otros sólo han llegado a ser apreciados en un círculo más restringido. No es mi propósito hacer en este artículo una reseña ni siquiera de los más importantes, que figura en otro, publicado hace año y medio en esta misma Revista. Las soluciones mecánicas empleadas en muchos casos son ingeniosísimas y han causado admiración, y es una faceta común a todos ellos la visión clara y certera de los puntos esenciales de cada problema, que le han permitido ser precursor en varios órdenes de ideas, aparte de su teoría de la Automática. ¿No es también un ejemplo de ello que en Suiza, donde ahora existen tantos funiculares aéreos, pretendió implantarlos, aproximadamente en 1890, y lo tomaron allí a broma, como lo prueba un periódico de aquella época, escrito en alemán, con una caricatura de mi padre, vestido de torero, cayendo de cabeza entre altos riscos a un barranco profundo? ¿Y el telekino, inventado en 1902 y concluido de experimentar en 1906, que es el primer aparato de radio dirección del mundo? ¿Y su globo dirigible, que señaló un progreso de la aerostación reconocido en Francia e Inglaterra? ¿Y el ajedrecista, que a pesar de ser de 1912, ha despertado interés recientemente en París y en Ginebra, y aunque fue proyectado por su autor únicamente como un juguete científico para llamar la atención (y en eso acertó) sobre las posibilidades de su teoría de la Automática, es posiblemente el primer «robot» construido en el mundo, cuando aún no se había inventado esa palabra? La imaginación creadora que todo esto demuestra, unida a sus trabajos fundamentales científicos, han dado lugar a que se considere a Torres Quevedo como uno de los inventores más eminentes de principio de este siglo, no sólo en España, y para este efecto incluyo en la madre patria a todos los países hispánicos, sino también en el extranjero.

No puede dejar de mencionarse, al lado de sus trabajos científicos, que en unión de don Santiago E. Barabino, de nacionalidad argentina, propuso en el Congreso Científico Internacional de Buenos Aires de 1910, la creación de la Unión Internacional Hispano-Americana de Bibliografía y Tecnología Científicas, idea que fue acogida con gran entusiasmo, y que más adelante, tomada como tema de su discurso de ingreso en la Academia Española en 1920, dio lugar al comienzo de la publicación del Diccionario Tecnológico Hispano-Americano.

De las numerosas condecoraciones y distinciones españolas y extranjeras que se le concedieron, sólo mencionaré algunas de estas últimas: ocupó la Presidencia de la Academia de Ciencias, que dejó en sus últimos años para ser Presidente honorario; fue también Académico de la Española, como ya he dicho; Doctor *Honoris Causa* de las Universidades de París y de Coimbra, y Académico asociado de la de Ciencias de París, distinción altamente honorífica, pues estos Aca-

démicos son sólo doce, a diferencia de los correspondientes, que son bastante más numerosos. Y lo que más puede interesar a los lectores de esta Revista: por Real Decreto de 1926 se le concedió el título de Inspector honorario de nuestro Cuerpo. Recuerdo perfectamente la alegría que recibió mi padre y su emoción en el homenaje que con este motivo se le tributó en la Escuela de Caminos el 22 de noviembre del mismo año, presidido por el Conde de Guadalhorce, entonces Ministro de Fomento, en el que hablaron Gaitán de Ayala, Machimbarrena González Quijano, que leyó unas cuartillas sentidas y enjundiosas, dedicadas principalmente a la teoría de la automática, y mi padre, que también pronunció unas palabras.

Es posible que el lector espere anécdotas o episodios, y a continuación van algunos, pero no me será posible dejar de defraudarle, porque su vida, excepto en sus trabajos, fue sencilla y sosegada y carece de incidentes novelescos que ofrezcan interés fuera de su familia. Sólo podré ofrecer algunos recuerdos sencillos, cómo fue él, a modo de ejemplos de la bondad, desinterés y modestia que en tan alto grado poseía.

De su bondad y nobleza de carácter son testigos cuantos con él trataron, y si fuese precisa una prueba lo sería el hecho, ya mencionado, de la excelente acogida que recibieron en su Laboratorio diferentes inventores, algunos de verdadero mérito.

En relación con su modestia y desinterés unidos a un alto sentido de la dignidad, referiré un episodio conocido y dos que lo son menos.

En una ocasión en que García Prieto estaba encargado de formar Gobierno, le ofreció la cartera de Obras Públicas, y Torres Quevedo rehusó, con gran satisfacción, puedo afirmarlo, de toda su familia, que teniendo en cuenta sus aficiones y carácter, temía que la poltrona ministerial hubiera podido proporcionarle disgustos.

Mi abuelo se llamó Torres Vildósola, apellido compuesto que él creía que correspondía únicamente al mayor de sus hermanos y a sus descendientes, y él y mi padre, con espíritu quizá demasiado legalista y con la falta más absoluta de deseo de ostentación, hicieron las gestiones necesarias para renunciar en nuestra rama a dicho apellido, conocido y distinguido, que han seguido llevando todos los demás descendientes de don Joaquín de Torres. Posteriormente, años después de haberse dado a conocer Torres Quevedo, hemos legalizado la unión de sus dos apellidos para nuestra familia.

En los seis o siete lustros que dirigió el Laboratorio de Automática, en el que trabajaba con una asiduidad extraordinaria, percibió un sueldo de diez mil pesetas anuales, sin ningún aumento ni ingreso en otra forma. No creo que fue mezquindad del Gobierno; si él hubiese pedido alguna forma de aumento, con su categoría, ya plenamente reconocida, probablemente se lo habrían concedido, pero nunca lo solicitó.

Y para terminar con las anécdotas, referiré una, con el temor de que pueda parecer excesivamente trivial, que se refiere a su claridad de visión en las cosas de Mecánica, y aunque se trata de un punto muy elemental, el lector puede ampliar la modalidad que acusa, en la escala que le plazca, y se hará una idea del modo que tenía de ver las cosas.

Hace más de cincuenta años, cuando yo tenía doce o trece, leía con mucho interés las obras de Julio Verne, y hablando del viaje a la Luna, me explicó un error de Mecánica que ha pasado inadvertido a muchas personas. Se supone en la novela que los pasajeros flotan dentro del proyectil, en estado de ingravidez aparente, sólo un momento, al pasar por el punto en que son iguales las atracciones de la Tierra y de la Luna. La realidad es que hubieran permanecido en dicho estado de ingravidez aparente todo el tiempo, desde que el proyectil salió de la atmósfera terrestre hasta que volvió a entrar en ella, admitiendo, claro es, el imposible de que hubieran sobrevivido al disparo que los expulsó del globo terráqueo. Me lo hizo comprender clarísimamente, sin apelar a fórmulas ni a principios de Mecánica que yo desconocía.

Sería incompleto este artículo si no recordara las relaciones más destacadas que tuvo, especialmente con los Ingenieros de Caminos. Debo mencionar en primer término a don José Echegaray, cuyo trato cultivó en los primeros tiempos de la «Cacharrería del Ateneo», con el respeto natural debido a la diferencia de edades y a la gloriosa figura nacional que era ya Echegaray en aquella época; con una bondad y afecto nunca desmentidos le ayudó y protegió en sus primeros trabajos, y también más adelante, y escribió algún artículo sobre ellos en la colección que, bajo el título de «Ciencia popular», se publicaba en los *Lunes de El Imparcial*. También le ayudó su amigo muy querido el ilustre Ingeniero de Montes y Académico de Ciencias don Francisco de Paula Arrillaga, que contestó a su discurso de ingreso en aquella Academia. Entre los Ingenieros de Caminos más antiguos que él con quienes le unió estrecha amistad, recuerdo de un modo señalado a don Recaredo Uhagón y a don Antonio Portuondo.

Ya he mencionado a sus compañeros de promoción. Entre los más jóvenes que él tuvo dos excelentes amigos, admiradores y biógrafos, que publicaron diversos artículos y dieron conferencias sobre sus trabajos, ambos sabios de gran valor. Ingenieros de Caminos y Académicos de Ciencias en sus respectivos países. Uno de ellos, francés, fue M. Maurice d'Ocagne, y el otro, español, es nuestro ilustre compañero don Pedro M. González Quijano.

Le unió estrecha amistad, originada por la que existía entre las respectivas familias, con el inolvidable don Vicente Machimbarrena. Conoció a don Antonio Valenciano y al eximio don Juan Manuel Zafra, por los años en que ambos empezaron a desempeñar su Profesorado en la Escuela de Caminos, y la amistad sincera hacia ellos, nacida entonces, se mantuvo sin interrupción hasta el término de su vida. También le unió una verdadera amistad con don José Orbeago, que se ocupó mucho del telekino y de los transbordadores aéreos; con don Bienvenido Oliver, que desempeñó varios años el cargo de Auxiliar técnico en el Laboratorio de Automática y llevó a cabo estudios y cálculos importantes para la construcción de la máquina de resolver ecuaciones algébricas, y con don José María Torroja, que perteneció también a dicho Laboratorio desde el año 1912 hasta poco después de la Liberación, primero, como Auxiliar técnico, y los últimos años, en calidad de subdirector. Y no sería completa esta enumeración si no mencionara a don Marcos López del Castriello, figura destacada del Laboratorio, que ayudó a Torres Quevedo en la mayoría de los trabajos que allí se realizaron y actualmente está publicando varios artículos acerca de los aparatos que se construyeron.

Al hablar de los lazos que han unido a Torres Quevedo con nuestro Cuerpo, no puedo dejar de mencionar que ha tenido dos hijos Ingenieros de Caminos y que algunos de sus nietos tienen la esperanza de llegar a obtener tan honroso título.

Y ahora, al cumplirse su centenario, veo con emoción pasar ante mis ojos el recuerdo de su vida y de la unión estrecha que mantuve con él desde mis primeros años, y siento profundo agradecimiento por los actos de homenaje que se han anunciado. Como el último español y como el último Ingeniero, me sumo a todos ellos y hago votos porque su ejemplo haga surgir, cada vez más, hombres de genio que contribuyan a elevar en el mundo el pabellón de nuestra patria.

*Revista de Obras Públicas, artículo sobre Gonzalo Torres Quevedo. 1952.*

## LECTURA 3

### Ensayos sobre Automática. Su definición. Extensión teórica de sus aplicaciones

POR LEONARDO TORRES Y QUEVEDO

I. La denominación de autómeta se aplica a menudo a una máquina que imita la apariencia y los movimientos de un hombre o de un animal. Se trata, generalmente, en este caso de una máquina que lleva en sí misma la fuente de energía que la hace marchar (un resorte, por ejemplo) y que ejecuta ciertos actos, siempre los mismos, sin recibir ninguna influencia exterior.

Hay otra clase de autómetas que ofrecen un interés mucho más considerable: los que imitan, no los gestos, sino las acciones del hombre, y algunas veces pueden reemplazarle.

El torpedo automóvil, que *sabe* maniobrar para llegar al término de su carrera; la balanza que pesa las piezas de moneda para *elegir* las que tienen el peso legal, y mil aparatos más, muy conocidos, pueden servir como ejemplo de autómetas de esta última especie.

Se hallan otros mucho más interesantes en las fábricas. El progreso industrial se realiza principalmente sustituyendo al trabajo del hombre el trabajo de la máquina; poco a poco llegan a hacerse mecánicamente la mayor parte de las operaciones primitivamente ejecutadas por obreros, y se dice que una fabricación ha llegado a ser automática cuando puede ser completamente ejecutada por medio de máquinas.

Convendrá, antes de pasar adelante, para precisar bien el objeto de esta nota, dividir los autómetas en dos grupos, según que las circunstancias que regulan su acción actúen de un modo continuo, o que, por el contrario, lo hagan bruscamente, por intermitencias.

Podemos tomar como ejemplo del primer grupo el torpedo automóvil. El timón horizontal, destinado a mantenerle a una profundidad aproximadamente invariable, es gobernado por la acción de un depósito de aire comprimido, que hace equilibrio a la presión del agua, y por un péndulo: las variaciones de altura producen el desplazamiento de una pared que separa el depósito de aire del agua que le rodea; las variaciones de inclinación producen el movimiento, con relación al torpedo, del péndulo, que permanece vertical; el timón horizontal está unido al péndulo y a la pared del depósito por medio de mecanismos que le hacen tomar en cada momento la posición conveniente para que el torpedo vuelva a la profundidad que se desea.

Se trata, pues, de establecer entre tres móviles: el péndulo, la pared y el timón, enlaces mecánicos invariables. Este es un problema de la misma especie que todos los estudiados en la Cinemática aplicada a la construcción de máquinas. Su estudio no presenta aquí un interés especial.

En los autómetas del segundo grupo, el automatismo no se obtiene por medio de enlaces mecánicos invariables; se trata, por el contrario, de alterar bruscamente estos enlaces cuando las circunstancias lo exigen; será necesario que el autómeta —por medio de una maniobra generalmente muy rápida— embrague o desembrague una polea, abra o cierre una válvula, etc. Se requiere, en definitiva, que el autómeta intervenga en un momento dado para alterar bruscamente la marcha de las máquinas, las cuales puede decirse que serán gobernadas por él.

Se encuentran en las descripciones de máquinas ejemplos muy numerosos de estas intervenciones bruscas; pero es evidente que el estudio de esta forma de la automatización no pertenece a la Cinemática. Así es que nunca se ha estudiado sistemáticamente, que yo sepa.

Esa deficiencia debería corregirse agregando a la teoría de las máquinas una sección especial: la *Automática*, que examinará los procedimientos que pueden aplicarse a la construcción de autómetas dotados de una *vida de relación* más o menos complicada (\*).

(\*) El estudio teórico y experimental de estos procedimientos es el fin principal del *Laboratorio de Automática*, de cuyos trabajos me propongo dar cuenta en notas sucesivas que formarán la continuación de estos ensayos.

Los autómatas deberán tener *sentidos*: termómetros, brújulas, dinamómetros, manómetros... aparatos sensibles a las circunstancias que deben influir en su marcha.

La impresión recibida por cada uno de estos aparatos se traduce, generalmente, por un movimiento, por ejemplo, el desplazamiento de una aguja sobre un limbo graduado.

Los autómatas deberán tener *miembros*: las máquinas o los aparatos capaces de ejecutar las operaciones que les sean encomendadas. La *orden* de ejecutar una operación será transmitida al aparato encargado de realizarla por procedimientos muy sencillos, aunque se trate de operaciones complicadas; esto se ve, por ejemplo, en algunos relojes, en los cuales una pieza que se dispara permite que se ponga en marcha un mecanismo, el cual actúa sobre muñecos que ejecutan diversos movimientos.

Los autómatas deberán tener la *energía* suficiente: los acumuladores, las corrientes de agua, los depósitos de aire comprimido que han de suministrársela a las máquinas destinadas a ejecutar las operaciones necesarias.

Además, se necesita —y éste es el principal objeto de la Automática— que los autómatas tengan *discernimiento*, que puedan en cada momento, *teniendo en cuenta las impresiones que reciben, y también, a veces, las que han recibido anteriormente*, ordenar la operación deseada. *Es necesario que los autómatas imiten a los seres vivos, ejecutando sus actos con arreglo a las impresiones que reciban y adaptando su conducta a las circunstancias.*

La construcción de aparatos que hagan las veces de los sentidos no presenta, *en teoría*, dificultad alguna. Todos los días se inventan aparatos nuevos destinados a medir y registrar las variaciones de los elementos que intervienen en el mundo físico; las que no pueden ser medidas hoy lo serán mañana, o, por lo menos —y creo expresar con esto una opinión generalmente admitida— no hay razón alguna para afirmar que no ocurrirá así.

La misma observación se puede hacer respecto de las máquinas que hayan de ejecutar el trabajo encomendado al autómata. A buen seguro que nadie marcará límites al progreso de la Mecánica; nadie se negará a admitir que se pueda inventar una máquina que realice una determinada operación.

No ocurre lo mismo cuando se trata de si será posible construir un autómata que, para determinar sus actos, *pese* las circunstancias que le rodean. Se piensa, generalmente, que sólo en algunos casos muy sencillos puede conseguirse esto; se cree que es posible automatizar las operaciones mecánicas, puramente manuales de un obrero, y que, por el contrario, las operaciones que exigen la intervención de las facultades mentales nunca se podrán ejecutar mecánicamente.

Esta distinción carece de valor, pues, exceptuando el caso de los movimientos reflejos, de los cuales no hemos de ocuparnos ahora aquí, en todas las acciones humanas intervienen las facultades mentales.

Intentaré demostrar en esta nota —desde un punto de vista puramente teórico— que siempre es *posible construir un autómata cuyos actos, todos, dependan de ciertas circunstancias más o menos numerosas, obedeciendo a reglas que se pueden imponer arbitrariamente en el momento de la construcción.*

Evidentemente, estas reglas deberán ser tales que basten para determinar en cualquier momento, sin ninguna incertidumbre, la conducta del autómata.

El problema podría resolverse de mil modos diferentes; pero —para hacerme comprender más fácilmente— en vez de limitarme a abstracciones puras, indicaré un método electro mecánico que puede dar, en mi opinión, la solución general del problema.

Los esquemas que acompañan a esta nota no tienen, de ningún modo, la pretensión de representar soluciones prácticas; para nada hemos de preocuparnos de las dificultades, o imposibilidades más bien, que ofrecería su ejecución; se han trazado para que resulten más claras las explicaciones teóricas, y únicamente desde este punto de vista podrán ser útiles.

## II. El principio del método electromecánico que voy a exponer es sumamente sencillo.

Hace un momento hemos admitido que la variación de cada una de las circunstancias que intervienen en la dirección del autómata sea representada por cierto desplazamiento; podemos suponer que la pieza que se mueve sea un conmuta-

dor: *En lugar de un índice que recorre una escala graduada, tendremos entonces una escobilla que barre una línea de plots y entra sucesivamente en contacto con cada uno de ellos.*

Si hay  $n$  conmutadores, y si designamos por  $P_1, P_2, P_3 \dots P_n$  el número de plots conjugados con cada uno de ellos, el número de las posiciones del sistema será  $P_1 \times P_2 \times P_3 \times \dots \times P_n$ .

A cada una de estas posiciones corresponderá, según acabamos de ver, cierta operación cuya realización debe ser provocada por algún medio muy sencillo. Puesto que se trata de una máquina electro mecánica, lo más sencillo será hacer que el movimiento de una armadura, al ser atraída por su electroimán, dé lugar a que se dispare el mecanismo encargado de ejecutar la operación de que se trata. Deberá haber un electroimán para cada posición del sistema, y *para realizar la automatización, bastará establecer las conexiones eléctricas de tal modo que cada electroimán entre en actividad en el momento en que se produzca la posición correspondiente de los conmutadores.*

En el caso más sencillo —cuando la marcha del autómeta dependa de un solo elemento—, la solución es la indicada esquemáticamente en la fig. 1.<sup>a</sup>.(\*\*)

Las variaciones de este elemento se representan por los movimientos del conmutador  $M$ , que, al girar, entra sucesivamente en contacto con cada uno de los plots  $A, B, C, D$ . Actualmente la corriente pasa por el electroimán  $E$ ; la operación provocada por éste (al atraer a su armadura, como queda dicho más arriba) será la que se realice si el manipulador  $k$  cierra el circuito en este momento. Por lo demás, este manipulador puede ser accionado automáticamente cuando se produzca cierta circunstancia prevista al construir el autómeta, por ejemplo, al dar una hora determinada.

Se tropezará a veces con dificultades para llevar a cabo la ejecución de este aparato; pero su posibilidad teórica (de la que únicamente nos ocupamos) no presenta la menor duda.

Y no es menos evidente en el caso más general, cuando hay que considerar varios conmutadores en lugar de uno solo.

En el esquema (fig. 2.<sup>a</sup>) hay tres conmutadores:  $M, N, P$ .

El segundo arrastra en su movimiento, por medio de la barra  $H$ , otro conmutador:  $N'$ .

El tercero arrastra los cinco conmutadores  $P', P'', P''', P'', P''$ .

$M$  puede tomar las dos posiciones  $A$  y  $B$ .

$N$  las tres  $E, F$  y  $G$ .

$P$  las cuatro  $R, S, T, U$ .

El sistema admite en total veinticuatro posiciones diferentes, y a cada posición corresponde un electroimán que entra en actividad en cuanto se establece el contacto.

Se puede aumentar cuanto se quiera el número de conmutadores y el número de plots conjugados con cada uno de ellos. Dicho de otro modo, puede aumentarse indefinidamente el número de casos particulares que el autómeta tendrá que considerar para regular sus actos; *se puede complicar cuanto se quiera su vida de relación.*

Y esto sin la menor dificultad teórica. No hay ninguna diferencia esencial entre la máquina más sencilla y el autómeta más complicado; una y otro se reducen a un sistema material sometido a leyes físicas, que se derivan de su composición; pero cuando estas leyes son complicadas, cuando es necesario un razonamiento importante para deducir de estas leyes las maniobras correspondientes, la máquina que las ejecutase parecería que razonaba por sí misma, y esto es lo que generalmente extravía el juicio de las personas que se ocupan de esta cuestión.

Recordaré, a modo de ejemplo, las ideas de Descartes sobre este punto (Discours sur la Methode, 5<sup>ème</sup> partiè).

Admite sin dificultad que se pueda considerar el cuerpo de un animal, «como una máquina que, habiendo sido hecha por la mano de Dios, está incomparablemente mejor ordenada y lleva en sí movimientos más admirables que ninguna de las que pueden ser inventadas por los hombres».

---

(\*\*) Todas las figuras a que se refiere el texto, se encontrarán al final de la lectura.

Añade que «si hubiese máquinas tales que tuviesen los órganos y la forma exterior de un mono o de cualquier otro animal sin razón, no tendríamos ningún medio de reconocer que no eran en todo de la misma naturaleza que dichos animales».

Pero Descartes niega, aun a la infinita potencia divina, la facultad de construir autómatas capaces de imitar las acciones humanas que son guiadas por la razón. Juzga metafísicamente imposible, por ejemplo, que un autómata pueda emplear palabras ni otros signos «para responder al sentido de todo lo que se diga en su presencia, como los hombres más atontados pueden hacerlo».

Admite fácilmente que el autómata pueda hablar, pero no concibe que pueda hablar *razonablemente*.

Imaginemos una máquina análoga a la representada por el esquema (fig. 2.<sup>a</sup>), pero en la cual, en vez de tres conmutadores, haya miles o millones, si hace falta; y que, en vez de tres o cuatro posiciones diferentes, cada conmutador tenga una posición correspondiente a cada uno de los signos de la escritura (letras, cifras, signos de ortografía, etc.).

Se comprende perfectamente que se puede, valiéndose de estos conmutadores, escribir una frase cualquiera, y hasta un discurso más o menos largo; esto dependerá del número de conmutadores de que se disponga.

A cada discurso corresponderá una posición del sistema, y, por consiguiente, un electroimán.

Podemos suponer que éste dispare un fonógrafo sobre el cual se halle inscrita la respuesta a la pregunta que ha provocado su movimiento, y de este modo tendremos un autómata capaz de discutir *de omni re scibile*.

Ciertamente, el estudio preliminar de todas las preguntas posibles, la redacción de la respuesta a cada una de ellas, y, finalmente, la construcción de una máquina semejante, no sería una cosa muy llana; pero no sería mucho más difícil que la construcción de un mono, o de otro animal bastante bien imitado para que pudiera ser clasificado por los naturalistas entre las especies vivas.

No hay entre los dos casos la diferencia que veía Descartes. Pensó sin duda que el autómata, para responder razonablemente, tendría necesidad de hacer él mismo un razonamiento, mientras que en este caso, como en todos los otros, sería su constructor quien pensara por él de antemano.

**III. Creo haber mostrado, con todo lo que precede, que se puede concebir fácilmente para un autómata la posibilidad teórica de determinar su acción en un momento dado, pesando todas las circunstancias que debe tomar en consideración para realizar el trabajo que se le ha encomendado.**

Se puede concebir igualmente un autómata *que obre con una finalidad*; un autómata que realice una serie de actos *tendiendo* a conseguir un objeto determinado.

El asunto es demasiado complicado para que me sea posible tratarle de un modo abstracto; correría el riesgo de no expresarme claramente. Será mejor, por lo pronto, estudiar la aplicación del método a un caso particular.

El ejemplo que he de escoger, para ilustrar mis explicaciones, está bien indicado: las máquinas analíticas. Los demás que pudieran elegirse presentarían grandes dificultades de exposición, debidas principalmente a la necesidad de representar (aunque fuera sólo esquemáticamente) los *sentidos* y los *miembros* del autómata: los aparatos destinados a ponerle en relación con el medio ambiente, y los *operadores* que deberían ejecutar operaciones más o menos complicadas.

Estos inconvenientes no existen en las máquinas de calcular. Cada valor de los que deben intervenir en los cálculos, sean los datos, sean los resultados provisionales de las operaciones sucesivas, será representado en nuestros esquemas por el desplazamiento de un móvil, como en las figs. 1.<sup>a</sup> y 2.<sup>a</sup>.

Calcular un valor será, pues, para el autómata, desplazar el móvil correspondiente para llevarle a la posición necesaria, y esta operación —repetida cuantas veces sea necesario— es la única que el autómata tiene que ejecutar.

Además, creo que estas máquinas nos ofrecerán el caso más general que se pueda examinar, y todas las conclusiones que se obtengan de su estudio teórico serán fácilmente generalizadas por el lector.

Una máquina analítica, tal como la entiendo aquí, debe ejecutar unos cálculos cualesquiera, por complicados que sean, sin auxilio de nadie.

Se le dará una fórmula y uno o varios sistemas de valores particulares de las variables independientes, y ella deberá calcular e inscribir todos los valores de las funciones explícitas o implícitas definidas por la fórmula. Deberá seguir una marcha análoga a la de un calculista: ejecutará necesariamente una a una las operaciones indicadas, tomando los resultados de unas como factores o argumentos de las siguientes, hasta llegar a obtener los resultados definitivos.

Antes de entrar en la descripción del conjunto, describiré los aparatos destinados a ejecutar cada una de las operaciones elementales que el autómatas ha de llevar a cabo para realizar sus cálculos en debida forma:

**a) Anotar un valor particular desplazando el móvil correspondiente.**

La regla  $A$  (fig. 3.<sup>a</sup>) puede deslizar entre el tope  $B$  y el resorte  $B'$ , que ejerce una presión moderada y, además, es guiada por uno de los dos rodillos  $Q, Q'$ .

Lleva dos plots  $P, P'$  conjugados con siete escobillas,  $r'_1, r'_2, r'_3 \dots r'_7$ , y una escobilla  $R$  conjugada con los siete plots  $r_1, r_2 \dots r_7$ .

Los dos rodillos están constantemente girando en el sentido indicado por las flechas; pero su separación es algo mayor que el ancho de la regla  $M$ , por cuya razón ésta no es arrastrada; la retiene el roce del tope  $B$  y el resorte  $B'$ .

Supongamos que hacemos positiva (\*) la escobilla  $r'_i$ .

Si esta escobilla está en contacto con el plot  $P$ , se establecerá un circuito que pasa por el electroimán  $E$  (\*\*), el cual atraerá a la regla  $A$ , que vendrá a apoyarse sobre el rodillo  $Q$ ; el rozamiento que se produce entonces en el punto de tangencia es suficiente para arrastrar a la regla hasta el momento en que la escobilla  $r'_i$  caiga sobre el espacio que separa los dos plots y corte la corriente, dejando de este modo inactivo el electroimán  $E$ .

Si la escobilla  $r'_i$  estuviese en contacto con el plot  $P'$ , todo pasaría de un modo análogo; el electroimán  $E'$  sería el que recibiese la corriente, y la regla  $A$ , arrastrada por el rodillo  $Q'$ , marcharía hacia arriba, hasta que la escobilla  $r'_i$  viniera a colocarse entre los dos plots  $P, P'$ .

Si la escobilla  $r'_i$  se encontrase ya en esta posición en el momento en que se hace positiva, la regla  $A$  no se movería.

En todos los casos, por el hecho de haber puesto en contacto con el plot positivo la escobilla  $r'_i$  habremos llevado la regla a esta posición, y, por medio de la escobilla montada en la parte superior de la regla  $A$ , habremos establecido el contacto entre el conductor  $R$  y el plot  $r_i$ . Diremos entonces *que hemos anotado en este aparato el valor  $R_i$* .

**b) Ejecutar una de las cuatro operaciones aritméticas: sumar, restar, multiplicar o dividir.**

Desde el punto de vista de la construcción no hay diferencia alguna esencial entre estas cuatro operaciones; he representado, para fijar las ideas, en el esquema 4 el aparato que ejecuta la multiplicación.

Los factores están representados por las reglas  $X', X''$ , y el producto, por el haz  $m$ .

Cada una de las reglas puede maniobrase, haciendo positiva una de las escobillas conjugadas con ellas, por medio de un dispositivo análogo al que acabamos de describir; pero, para simplificar el dibujo, se han suprimido los topes, los electroimanes y los rodillos.

(\*) Diremos que un conductor es positivo cuando está en comunicación directa con el polo positivo del manantial de electricidad.

(\*\*) Supondremos en estos dibujos: 1.º, que las líneas rojas —tales como la  $\alpha$ — indican que las dos piezas en las cuales se terminan están constantemente en comunicación eléctrica, pero no representan un conductor de forma invariable; por ejemplo, la línea  $\alpha$  significa que el alambre arrollado en el electroimán  $E$  está en contacto, nunca interrumpido, con el plot  $P$  por medio de una escobilla, de un hilo flexible o por cualquier otro medio que no estorbe en nada el movimiento de la regla  $A$ ; 2.º, que los círculos con dos diámetros perpendiculares representan plots que están siempre metálicamente unidos al polo positivo de la pila; por consiguiente, forman un solo conductor unido a dicho polo positivo; 3.º, que los dos círculos que hay en las figuras 3.<sup>a</sup> y 7.<sup>a</sup> con una  $\omega$  en su interior, representan plots unidos ordinariamente al polo negativo; estos plots comunican entre sí, formando un conductor único, que llamaremos  $\omega$ , el cual se halla unido metálicamente, de un modo invariable, a los plots negativos de todos los electroimanes que figuran en los esquemas, menos el  $E$ , (fig. 7.<sup>a</sup>). También se halla unido dicho conductor  $\omega$  al polo negativo de la pila por el contacto de la armadura  $h$  (fig. 7.<sup>a</sup>) del electroimán  $E'$  contra su tope. Cuando este electroimán atrae a su armadura, interrumpe dicho contacto e impide que funcionen todos los demás electroimanes.

La regla  $X'$  arrastra en su movimiento un tablero  $T$  con varios plots, y la regla  $X''$  lleva una escobilla, siempre activa, cuya extremidad se apoya sobre uno de los plots, dependiendo cuál sea éste de la posición de  $X'$  y de  $X''$ .

Poniendo activos —simultánea o sucesivamente— una escobilla del grupo  $m'$  y otra del grupo  $m''$ , se moverán, como queda explicado, las reglas  $X'$  y  $X''$  de tal modo que vengán a representar los valores particulares que se desee de los factores. Se ven representados en el dibujo los valores 4 por la regla  $X'$  y 3 por la regla  $X''$ .

Con estas maniobras se conducirá la extremidad de la escobilla  $H$  a hacer contacto con un plot determinado, y, por consiguiente, con uno de los conductores del grupo  $m$ .

El aparato está construido de tal modo, que el valor representado por este conductor sea el producto de las dos cantidades anotadas en las reglas  $X'$ ,  $X''$ .

*Basta, pues, inscribir los factores para poner en contacto el conductor  $M$  con el conductor del haz  $m$  que corresponde al producto.*

La construcción es fácilmente comprensible. La tabla  $T$  es, en suma, el nomograma de la multiplicación, en el cual las curvas están materializadas por los conductores que reúnen los plots correspondientes a todos los productos iguales entre sí.

Actualmente tenemos escrita, por decirlo así, en el aparato la operación  $4 \times 3 = 12$ .

Es suficiente cambiar la tabla  $T$  y sus conexiones con las escobillas  $M$  para que el aparato ejecute una cualquiera de las otras operaciones aritméticas. Se debe observar, sin embargo, que en la multiplicación y en la suma puede representarse indiferentemente una u otra de las cantidades dadas en cualquiera de las reglas  $X'$ ,  $X''$ , mientras que en las otras dos operaciones no ocurre lo mismo, porque no se trata entonces de calcular funciones simétricas.

En la división se obtienen dos resultados: cociente y resto; si se desea obtener ambos con el mismo aparato, se puede hacer que la regla  $X'$  lleve dos tablas y la  $X''$  dos escobillas; pero éste es un detalle sin importancia ninguna por el momento.

En todos los aritmómetros, lo mismo que en el de la multiplicación, *bastará inscribir los dos argumentos de la operación para que la escobilla establezca contacto entre  $M$  y el conductor del haz  $m$  que corresponda al resultado de la operación.*

#### **c) Comparar dos cantidades (fig. 5.ª).**

Las dos reglas  $X'$ ,  $X''$  se manejan como queda dicho, por medio de las escobillas conjugadas con ellas.

Una de ellas,  $X'$ , lleva una escobilla  $H$ , y la otra,  $X''$ , tres plots:  $P$ ,  $P'$ ,  $P''$ . Cuando los valores representados por las dos reglas son iguales, como en el caso actual, el extremo de la escobilla hace contacto sobre el plot  $P$ ; cuando no existe dicha igualdad, la escobilla  $H$  hace contacto sobre el plot  $P'$ , si la cantidad de la izquierda es mayor, y con el plot  $P''$  en caso contrario.

#### **d) Impresión de los valores dados o calculados.**

Puede ejecutarse con una máquina de escribir, cada tecla correspondería a un valor diferente, y en vez de empujarla con el dedo, sería accionada por un electroimán. Habría, pues, tantos electroimanes como teclas.

Todos estos aparatos pueden ser utilizados por un calculador, y el esquema 6 muestra una disposición que facilitaría su empleo con este objeto.

Los aparatos que acaban de ser descritos están representados por símbolos muy sencillos (\*).

---

(\*) Puede verse un aritmómetro para la suma, otro para la multiplicación, un aparato inscriptor y la máquina de escribir. Supondremos que estos aparatos, análogos a los descritos más arriba, se hallan encerrados en cajas (representadas por los rectángulos del dibujo) que no permiten ver de cada uno de ellos más que los haces de factores ( $a'$ ,  $a''$ ,  $m'$ ,  $m''$ ,  $r$ ), los del resultado ( $a$ ,  $m$ ,  $r$ ) y el conductor ( $A$ ,  $M$ ,  $R$ ) destinado a poner activo en el momento que se desee el resultado anotado en el aparato.

Para comprender su marcha en un caso particular, examinaremos lo que va a ocurrir, suponiendo que el manipulador  $c$  acaba de llegar a la posición dibujada de puntos.

Ha hecho positivo el conductor  $R$  y también —según lo que acabamos de ver (fig. 3.<sup>a</sup>)— uno de los conductores del haz  $r$  (y por consiguiente del haz  $H$ ), el que corresponda al valor anotado en este momento en el aparato  $R$ .

Supondremos que el conductor activo es el que ha sido representado por una línea de trazos. Una rama de este conductor penetra en el aparato destinado a la multiplicación, pero no puede llegar —como se ve en la fig. 4.<sup>a</sup>— más que a un plot aislado o a la escobilla  $H$ , y por ahí al conductor actualmente aislado  $M$  (fig. 6.<sup>a</sup>). Otro tanto puede decirse del aparato destinado a la suma; pero las que van a parar a  $m''$  y a  $e$  se hallan en contacto: una, con uno de los conductores del aritmómetro, y la otra, con uno de los de la máquina de escribir. El primero (véase la fig. 4.<sup>a</sup>) hará funcionar el valor anotado en el aparato  $R$ ; es decir, que este mismo valor será el representado por la regla  $X''$  cuando, una vez la operación terminada permanezca en su nueva posición.

El conductor que penetra en la máquina de escribir hará que este valor se imprima al mismo tiempo.

El resultado de la operación ha sido, pues:

- 1.º Inscribir como factor, por el cambio de posición de la regla  $X''$ , el valor que estaba anotado en  $R$ .
- 2.º Imprimir este mismo valor.

Si ahora se desea multiplicar este valor por un número conocido será necesario:

- 1.º Mover las correderas  $\mu''$  y  $e$  hacia la izquierda para incomunicar las escobillas que se apoyan sobre ellas.
- 2.º Poner activo, por medio del conmutador  $c$ , el conductor  $m$  correspondiente al valor dado.
- 3.º Mover  $\mu'$  hacia la derecha para establecer las comunicaciones en esta corredera.

Un razonamiento semejante en todo al que acabamos de hacer demostrará que en estas condiciones se obtiene como resultado de la operación ejecutada por la máquina la inscripción sobre la regla  $X'$  (fig. 4.<sup>a</sup>) del valor representado por el conductor  $r$  puesto activo.

Supongamos aún, que después que se ha realizado esta operación, movemos las correderas  $e$  y  $\alpha'$  hacia la derecha, y la  $m'$  hacia la izquierda, y que ponemos activo el conductor  $M$ .

Al mismo tiempo que éste pondremos activo —teniendo en cuenta lo dicho al describir el aritmómetro (fig. 4.<sup>a</sup>)— uno de los conductores del haz  $m$ , el que corresponde al producto de las cantidades inscritas en las reglas  $X'$  y  $X''$ , y, por las razones ya explicadas, este producto se encontrará anotado en el inscriptor  $R$  y en la regla  $X'$  del aritmómetro destinado a las sumas. Puede continuarse así indefinidamente para calcular una fórmula más o menos complicada.

La operación ejecutada por el autómatas, en el fondo, es siempre la misma: inscribir en uno o varios aparatos (\*) una operación siempre la misma. Esta cantidad puede determinarse arbitrariamente, o bien tomarse de uno de los aparatos elementales donde ha sido anotada como consecuencia de las operaciones anteriores.

El gobierno de esta máquina es muy sencillo; se comprende que la tarea del calculista que la utilizase se reduciría a oprimir de tiempo en tiempo ciertas teclas, y que este trabajo puede automatizarse por un procedimiento análogo al usado para la escritura musical de los pianos mecánicos.

**IV.** El esquema fig. 7.<sup>a</sup>, representa un autómatas dispuesto para calcular el valor de la fórmula

$$a = ax(y - z)^2$$

sin el auxilio de nadie.

Se le dará el valor del parámetro  $a$  y varios sistemas de valores particulares de las tres variables. El autómatas debe ejecutar todos los cálculos, imprimir los resultados y advertir que la operación ha concluido.

Su economía general es fácil de comprender.

(\*) La máquina de escribir es un aparato en el cual las cantidades se imprimen en vez de ser representadas por el desplazamiento de un móvil.

En la parte superior se ven todos los operadores necesarios en este caso particular:

Dos aritmómetros, uno para la resta y otro para la multiplicación, que son las únicas operaciones indicadas por la fórmula.

Un comparador, que determinará en cada caso cuál de las dos variables,  $y$  o  $z$ , es la mayor, para inscribirlas, cada una en su lugar, en el aparato que ha de hacer la resta.

Una máquina de escribir.

Dos inscriptores, cuya utilidad veremos pronto.

Y un aparato  $L$ , cuyo objeto se explicará más adelante.

Algo más abajo hay una fila de correderas análogas a las ya vistas en la fig. 6.<sup>a</sup>. Todas las que hemos de tener en cuenta ahora están dispuestas del mismo modo (fig. 8.<sup>a</sup>): cuando funciona el electroimán, atrae a la corredera y establece las comunicaciones entre las escobillas; cuando la corriente del electroimán cesa, el resorte antagonista corta las comunicaciones.

En la fig. 7.<sup>a</sup> se han suprimido los resortes y los electroimanes, y se ha dejado solamente las correderas y los conductores  $s'$ ,  $s''$ ,  $m'$ ,  $m''$ , destinados a activar los electroimanes que atraen a estas correderas. Su funcionamiento es sencillo: cada vez que se pone activo uno de esos conductores,  $e$  o  $r'$ , por ejemplo, se restablecen las conexiones de la corredera correspondiente (el de la máquina de escribir o el del inscriptor  $R$ ).

La marcha de esta máquina es dirigida por el tambor  $T$  (fig. 7.<sup>a</sup>), conjugado con un grupo de escobillas. Este tambor es análogo al de un organillo; lleva varios plots, que vienen a hacer contacto con las escobillas a medida que el tambor gira en el sentido de la flecha. La distribución de estos plots viene determinada en el aparato por la fórmula que ha de calcular, lo mismo que en el organillo por la pieza que ha de tocar.

En el esquema fig. 7.<sup>a</sup> esta distribución aparece visible, porque se ha representado el desarrollo de la superficie del tambor. Esta superficie está dividida en 16 zonas horizontales numeradas. Cuando el tambor gira en el sentido indicado por la flecha, todas estas zonas pasan, una tras otra, por debajo de las escobillas; claro está que la primera zona se presenta inmediatamente en contacto después de la decimosexta, puesto que las líneas  $a$   $b$  y  $a'$   $b'$  representan, en realidad, una misma generatriz del cilindro. El tambor está dividido en tres secciones ( $t$ ,  $t'$ ,  $t''$ ), separadas en la figura por bandas negras verticales. Todos los plots de cada sección están unidos metálicamente entre sí y aislados de los correspondientes a otras secciones. Además, hay contacto metálico permanente entre la sección  $t$  y el plot  $\tau$ , y lo mismo entre  $t$  y  $\tau'$  y entre  $t''$  y  $\tau''$ .

Se ve también en el esquema la placa rectangular  $P$ , de longitud indefinida, conjugada con las escobillas  $v$ . Se escriben en esta placa, por medio de los plots que se hallan distribuidos sobre ella, los valores particulares de las variables  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Cada valor particular será inscrito sobre una banda horizontal. Sobre la primera (y así está indicado en la figura), el valor de  $x_1$ ; sobre la segunda,  $y_1$ ; sobre la tercera,  $z_1$ , y sobre las bandas cuarta, quinta y sexta, el segundo sistema de valores particulares dados:  $x_2$ ,  $y_2$ ,  $z_2$ , y así sucesivamente. Se supone en el dibujo que en este caso particular el cálculo ha de hacerse para cuatro sistemas de valores.

Además del grupo de escobillas destinadas a la representación de las variables, se ve una escobilla,  $\pi$ , cuyo objeto es indicar el fin de la operación.

Esta placa  $P$  tiende a marchar en el sentido de la flecha (arrastrada, por ejemplo, a rozamiento suave por una pieza que está marchando mientras el autómata funciona), pero no se lo permite el trinquete  $Q$ . Todos los plots que lleva comunican con el conductor  $V$ . Antes de empezar la operación se debe poner también en comunicación la escobilla  $\alpha$  con el conductor que representa el valor del parámetro  $a$ ; lo cual se indica en el esquema suponiendo que se ha clavado una clavija sobre el plot correspondiente a este valor.

Ahora ya nos será fácil seguir la marcha del autómata.

Consideraremos sucesivamente varios intervalos de tiempo que correspondan cada uno al paso de una de las zonas horizontales del tambor  $T$  bajo la línea formada por las extremidades de las escobillas.

He indicado en la tabla, que se ve a la izquierda de la figura principal, cuáles son las escobillas que durante cada intervalo se encuentran en contacto con los plots de las tres secciones  $t$ ,  $t'$ ,  $t''$ ; esta tabla no es más que la traducción de lo que igualmente puede leerse en el desarrollo del tambor.

Las explicaciones dadas en la descripción del esquema anterior bastan para comprender lo que va a pasar en cada intervalo.

- I. Se hacen positivas las escobillas  $V$ ,  $m'$ ,  $e$ . La escobilla  $V$ , por su parte, pone positivos a todos los plots de la placa  $P$ , y, por consiguiente, a la escobilla del haz  $\gamma$  que corresponde al valor particular  $x_1$ .

Las escobillas  $m'$  y  $e$  establecen (fig. 8.<sup>a</sup>) las comunicaciones de las correderas correspondientes, y, por lo tanto, el valor  $x_1$ , al mismo tiempo que se imprime en la máquina, es representado como factor en el aritmómetro.

- II. La escobilla  $\phi$ , que se hace positiva momentáneamente, hace funcionar al electroimán  $E$ . Éste atrae a su armadura y permite que la placa  $P$  avance un paso. Avanza lentamente, para que no pueda correrse más de un paso, mientras  $E$  permanece activo.

- III. La escobilla  $\alpha$  pone activo el conductor que representa el parámetro designado por la letra  $a$ , y la escobilla  $m''$  hace que este valor sea inscrito como segundo factor en el aritmómetro. Hemos anotado, pues, en este aritmómetro el producto  $a x_1$ .

- IV. La escobilla  $V$  vuelve a ponerse positiva; pero como la placa  $P$  ha avanzado un paso, es el conductor correspondiente al valor de  $y_1$  el que se pone positivo ahora.

Este valor, según indica la figura, será anotado en  $R_1$ , será impreso por la máquina de escribir, y al mismo tiempo será representado como primer término de comparación en el aparato  $C$ .

- V. La placa  $P$  avanza un paso.

- VI. El valor de  $z_1$  es anotado en  $R_2$ , impreso por la máquina, y representado como segundo término de comparación en el aparato  $C$ .

- VII. La escobilla  $\phi$  hace que la placa  $P$  avance un paso más. La acción de la escobilla  $K$  es más interesante.

Pone activo:

El conductor  $\beta$ , si  $y_1 = z_1$ ;  
 »  $\gamma$ , si  $y_1 > z_1$   
 »  $\delta$ , si  $y_1 < z_1$

*Primer caso:*  $y = z$ . Puesto que  $y = z_1$ , no es necesario llevar los cálculos más adelante; puede escribirse  $\alpha = 0$ ; y esto es lo que hace el autómatas poniendo activo el conductor  $\beta$  que va a pasar a la máquina a escribir y que corresponde precisamente al valor 0. Además, hace funcionar al electroimán  $E'$ , que corta el contacto en  $h$ . Cuando esto ocurre, ninguno de los aparatos puede seguir funcionando porque está cortada la corriente de la pila. La incomunicación durará mientras dure el contacto entre la escobilla  $K$  y el plot que se extiende sin interrupción hasta la decimoquinta banda inclusive; el tambor  $T$  continuará su marcha; pero el autómatas no ejecutará operación alguna.

*Segundo caso:*  $y_1 > z_1$ . El conductor  $\gamma$  hace positivos los plots de la sección  $t'$ , y la marcha de la operación continúa como sigue:

- VIII. Las escobillas activas  $R_1$  y  $s'$  hacen que el valor anotado en  $R_1$  (el valor  $y$ ) sea transportado a la regla  $X'$  del aparato destinado a la resta.

- IX. El valor de  $z_1$  se inscribe en la regla  $X''$  del mismo aparato. El valor anotado en éste como resultado de la operación será, pues,  $y_1 - z_1$ .

*Tercer caso:*  $y < z_1$ . El conductor  $\delta$  hace activos los plots de la sección  $t''$ , y como se ve en la tabla y en la figura, se altera, con relación al caso anterior, el orden en el cual se hacen positivos los conductores  $s'$  y  $s''$ , lo cual da

lugar a que se inscriba  $z_1$  en la regla  $X''$  e  $y_1$  en la regla  $X'$ . El valor inscrito en el aparato será  $z_1 - y_1$ . En realidad, ahora  $y_1 - z_1$  es una cantidad negativa; pero el autómata no necesita ocuparse de los signos en este caso particular, porque el cuadrado de la diferencia, que es el que interviene en los cálculos, es siempre positivo.

A partir de este momento, la marcha de los cálculos es la misma en los dos últimos casos.

- X. El autómata, para continuar el cálculo, debe elevar al cuadrado la cantidad  $y_1 - z_1$  (positiva o negativa). Esto le es muy fácil utilizando el aritmómetro de la multiplicación; pero al realizar esta nueva operación, el valor del producto  $a x_1$ , que estaba inscrito, va a desaparecer; y como este valor debe figurar ulteriormente en los cálculos, es necesario *anotarlo antes de borrarlo*, y así lo hace el autómata en el intervalo actual: inscribe el valor  $a x_1$ , en el aparato  $R_1$ . Borra al mismo tiempo el valor  $y_1$ ; pero éste ya no se necesita.
- XI. La diferencia  $y_1 - z_1$  se inscribe al mismo tiempo en las dos reglas  $m'$ ,  $m''$  del aparato  $M$ .
- XII. El valor  $(y_1 - z_1)^2$  es inscrito en  $R_2$ .
- XIII. El producto  $a x_1$  es inscrito como primer factor en el aparato  $M$ .
- XIV. El valor  $(y_1 - z_1)^2$  es inscrito como segundo factor.
- XV. El valor  $\alpha$  es impreso por la máquina, y la operación concluye para el primer sistema de valores particulares dados.
- XVI. Es preciso que la máquina de escribir deje un espacio en blanco entre el primer sistema de valores y el segundo que va a ser impreso inmediatamente. Con este objeto hay que hacer positivo el conductor  $B$ , y esto en los tres casos que hemos considerado; esta es la razón por la cual el plot que entra en contacto con la escobilla  $K$  no se prolonga más que hasta la banda decimosexta; de modo que al fin del intervalo decimoquinto, el electroimán  $E'$  suelta su armadura, el contacto se restablece y la máquina de escribir funciona en cuanto la escobilla  $B$  se activa, aunque estemos en el caso de  $y_1 = z_1$ .

Pero el tambor  $T$  no se para, sino que continúa girando. Como más arriba hemos visto, el fin del período decimosexto coincide con el principio del período primero; los mismos cálculos van a empezar de nuevo pero, como la placa  $P$  ha avanzado tres pasos durante la primera vuelta del tambor  $T$ , los valores  $x_1, y_1, z_1$  serán respectivamente sustituidos por  $x_2, y_2, z_2$ . El autómata calculará un segundo valor de  $\alpha$ , y del mismo modo todos los otros consecutivamente.

Se ve en la placa  $P$ , a continuación de todos los plots que corresponden a los valores particulares de las variables  $x, y, z$ , un plot que entra en contacto con la escobilla  $\pi$ , cuyo objeto es señalar el fin de los cálculos y parar el autómata. Esta maniobra se comprende fácilmente: después que el último valor de  $\alpha$  ha sido calculado, el tambor empieza una nueva vuelta, hace positiva la escobilla  $V$ , y, por consiguiente, la escobilla  $\pi$ ; ésta produce una corriente que atraviesa el aparato  $L$ , en el cual, por efecto de esta corriente, se dispara un mecanismo que desembraga el tambor  $T$ , corta la comunicación de la pila con el autómata, y, en fin, hace lo necesario para suspender la operación, y al mismo tiempo, si se desea, lo anuncia, haciendo sonar un timbre o utilizando cualquier otra señal convenida.

**V.** Este ejemplo es suficiente para hacernos ver la generalidad del método. El autómata toma cada valor que necesita, sea en la placa  $P$ , cuando figura entre los datos, sea en uno de los aparatos, en el cual se halla inscrita como resultado de una operación anterior. Ejecuta una por una todas las operaciones indicadas en la fórmula que se trata de calcular, y escribe todos los resultados que conviene conservar.

El autómata procede en todo como un ser inteligente que sigue ciertas reglas, y me interesa hacer observar especialmente que procede como un ser inteligente en el momento en que hay que escoger un camino en cada caso particular; antes de hacer la sustracción indicada en la fórmula, compara las dos cantidades que deben ser restadas una de otra; si son iguales, escribe para  $\alpha$  el valor cero y espera sin hacer nada que el tambor  $T$  haya concluido la vuelta; si las dos cantidades no son iguales, las operaciones se continúan; pero pueden seguir dos caminos diferentes; la diferencia sólo consiste en que el orden de inscripción de las variables  $y, z$  varía de un caso a otro, porque es preciso inscribir la mayor de las dos en la regla  $X'$  y la menor en la  $X''$ .

Es verdad que se ha considerado un caso muy sencillo; pero el método es completamente general.

En otros casos, las reglas impuestas al autómata para determinar el camino que debe seguir serán mucho más complicadas; para tomar una decisión deberá conocer muchos valores, dados o calculados en las operaciones anteriores; deberá saber si cierto hecho ha ocurrido, y quizá el número de veces que ha ocurrido, o bien, si cierta cantidad que figura en los cálculos es real o imaginaria, etc. Pero cada una de estas circunstancias, o de otras que pueden tener influencia en sus decisiones, se escribirán una por una, durante la marcha de las operaciones, en un aparato análogo al que ha sido descrito al empezar (fig. 2.<sup>a</sup>).

Le bastará al autómata, para decidir el camino que debe seguir, hacer positivo el conmutador  $M$  en el momento deseado. Este camino quizá llegue a otros puntos de bifurcación, y en cada uno de ellos el autómata hará su elección aplicando el mismo procedimiento.

He insistido sobre este punto por ser de una importancia capital para definir la extensión de la Automática.

Se afirma generalmente que un autómata jamás puede proceder por tanteos, y convenía demostrar que esta afirmación está mal fundada, por lo menos cuando se conocen con precisión las reglas que es necesario seguir en los tanteos, y éste es el único caso que nos interesa.

**VI.** Es evidentemente imposible de realizar el esquema fig. 7.<sup>a</sup> en condiciones de utilidad práctica; pero esta dificultad proviene exclusivamente del gran número de valores particulares que pueden tomar las variables que intervienen en los cálculos. La automatización, propiamente dicha, se obtendría sin inconveniente; depende de la disposición del tambor  $T$  y de las escobillas conjugadas con él; en el tambor es donde se ha escrito por medio de plots la fórmula que hay que calcular, y el tambor y las escobillas podrían muy bien construirse.

Si aquel número fuese muy limitado —quince, veinte, y hasta ciento, por ejemplo—, el esquema se podría construir, poco más o menos, según queda descrito.

Puede salvarse la dificultad (se ha salvado en todo los aritmómetros conocidos) aplicando el principio de la numeración decimal.

Un número de varias cifras se trata en las operaciones aritméticas usuales, no como una cantidad sencilla, sino como una cantidad compleja; como una suma de varias cantidades, cada una de las cuales es igual al producto de un número de una sola cifra por una potencia entera de diez.

La operación más sencilla, una suma, una multiplicación, se transforma de este modo en una serie de operaciones parciales; pero esta complicación ha sido absolutamente necesaria para hacer posibles los cálculos numéricos, por el hecho de que en cada una de las operaciones elementales no es necesario tomar en cuenta más que números inferiores a diez.

Cada aritmómetro utilizado por el autómata para sus cálculos no será ya un aparato elemental, sino una máquina complicada del género del autómata (fig. 7.<sup>a</sup>).

El autómata, en el momento deseado, le dará los dos valores particulares que deben figurar como factores o argumentos, e iniciará la operación. Una vez que ésta se termine y se inscriba el resultado, el autómata recibirá noticia de ello por un conductor análogo al  $\pi$  (fig. 7.<sup>a</sup>) y continuará sus cálculos.

No sería de este lugar entrar en detalles sobre el modo de realizar las operaciones; pero son análogas a aquellas cuya descripción queda esbozada, y espero que se admitirá su posibilidad (\*).

Por este medio salvaremos la primera dificultad: haremos posibles las operaciones elementales.

De todos modos los números muy grandes son tan embarazosos en los cálculos mecánicos como en los usuales (\*\*). En éstos se evitan ordinariamente los inconvenientes que resultan representando cada cantidad por un número pequeño de cifras significativas (seis u ocho, a lo más salvo, en casos excepcionales) e indicando con una coma y con ceros, si hace falta, el orden de magnitud de las unidades representadas por cada cifra.

(\*) Se podría de este modo, según lo que se ha dicho al empezar, construir un autómata que manipulase un aritmómetro ordinario. Debería entonces ordenar a tiempo la operación necesaria: hacer que diera una vuelta el manubrio, correr el totalizador, etc.

(\*\*) Babbage preveía cincuenta ruedas para representar cada variable, y todavía serían pocas, de no recurrir a los medios que indicaré en seguida o a otros análogos.

También a veces, para no escribir muchos ceros, se escriben las cantidades en esta forma:  $n \times 10^m$ .

Podríamos simplificar mucho esta notación estableciendo arbitrariamente tres reglas muy sencillas:

- 1.<sup>a</sup>  $n$  tendrá siempre el mismo número de cifras (seis, por ejemplo).
- 2.<sup>a</sup> La primera cifra de  $n$  será del orden de las décimas, la segunda, del de las centésimas, etc.
- 3.<sup>a</sup> Se escribirá cada cantidad en esta forma:  $n; m$ .

Así, en vez de 2.435,27 y de 0,00000341862 se escribirá, respectivamente, 243527; 4 y 341862; - 5.

No he señalado límite al valor del exponente; pero es evidente que en todos los cálculos usuales será menor de ciento; de modo que en este sistema se escribirán todas las cantidades que intervienen en los cálculos sólo con ocho cifras.

Puede aplicarse esto a los aritmómetros, de los cuales nos estamos ocupando, y reducir suficientemente de este modo el número de las operaciones elementales.

Las reglas para la coordinación de todas éstas serán, por el contrario, más complicadas; pero no hay ningún inconveniente en formularlas primero e inscribirlas después en el tambor del aritmómetro.

Creo es posible llegar por este camino a soluciones prácticas; pero no pretendo aquí demostrar esta afirmación. Esto exigiría desarrollos impropios de la presente nota. He querido solamente señalar el camino que me parece más practicable para conseguir dicho objeto.

**VII. Sólo diré algunas palabras sobre las ventajas del sistema electromecánico que he tratado de aplicar en mis estudios y en mis experiencias.**

Generalmente, se preconizan para estos aparatos las soluciones exclusivamente mecánicas, y hasta se recomienda limitarse, en cuanto sea posible, a los mecanismos rígidos, suprimiendo los resortes. En suma: se desea tener una confianza absoluta en la buena marcha de la máquina; se desea que mientras la máquina no se rompa, los resultados de sus cálculos sean seguramente exactos.

Pero es evidente que este resultado no se obtendrá por medios electromecánicos; un contacto puede fallar, y el resultado de la operación resultará entonces generalmente falseado.

Así es que empecé, como todo el mundo, pensando en las soluciones mecánicas; pero las dificultades me parecieron absolutamente invencibles.

El gran número de mecanismos que hay que tener en cuenta, las múltiples conexiones que hay que establecer entre ellos, la necesidad de dispositivos que permitan alterar a cada momento estas conexiones, la dificultad de combinarlo todo sin que los mecanismos se estorben unos a otros y sin que los rozamientos impidan la buena marcha de la máquina, y muchas más dificultades prácticas que podría citar, hacen el problema casi inabordable.

Fue necesario el genio mecánico de Babbage para afrontarle, y, sin embargo, aunque durante largos años de impropio trabajo le dedicó por entero su gran inteligencia, aunque gastó a manos llenas en estos estudios su dinero y el de su país, no obtuvo ningún resultado satisfactorio.

Babbage tenía, cuando emprendió el proyecto de máquina analítica, una preparación teórica y práctica completamente excepcional: era un matemático distinguido; había trabajado, además, diez años en la construcción de la *máquina de diferencias*, y, según el informe de Mr. Merrifield a la Asociación Británica, estos trabajos son una maravilla de mecánica. Además, todos los hombres de ciencia que han juzgado la obra de Babbage se han asombrado de la ingeniosidad y de la fecundidad que ha demostrado en su invención.

Babbage tuvo a su disposición un taller, instalado por el Gobierno inglés, para la construcción de la máquina, y un laboratorio que montó en su casa, a sus expensas, para los estudios y los ensayos. Gastó muy cerca de un millón de francos: 500.000 de su fortuna personal y 425.000 que le suministró el Gobierno.

Elaboró un sistema de notaciones mecánicas, sistema que representa un trabajo enorme, para que pudieran entenderse sus dibujos.

Estudió un gran número de soluciones; hizo, en suma, de esta obra la obra de su vida y trabajó sin descanso en ella durante treinta años.

Pero a pesar de sus grandes méritos, indiscutibles e indiscutidos; a pesar de su inteligencia, su entusiasmo y su constancia, fracasó. Sus dibujos y sus modelos se conservan en el museo de Kensington; pero es de temer que jamás sean útiles para nadie.

Babbage pensaba escribir un libro: «Historia de la máquina analítica», pero la muerte le sorprendió sin que hubiera podido realizar este proyecto, y su mismo hijo, que fue su colaborador, declara que no conoce sus trabajos con todos sus detalles.

Quizá otro triunfo donde fracasó Babbage; pero la cosa no parece fácil, y será temerario, a mi juicio, seguir sus pasos mientras no poseamos principios mecánicos nuevos que nos den la esperanza de vencer las dificultades del camino. No estoy en ese caso.

Las dificultades de una solución puramente mecánica me parecen invencibles, por lo menos, con los medios de que podría disponer. Mejor dicho: mientras en mis estudios sobre las máquinas de calcular no he pensado más que en soluciones mecánicas, he participado de la opinión general; no creía posible resolver el problema de los cálculos mecánicos, con toda la generalidad que lleva en sí, tal como aquí lo he examinado.

El estudio del telekino fue el que me encaminó en esta nueva dirección.

El telekino es, en suma, un autómatas que ejecuta las órdenes que le son enviadas por medio de la telegrafía sin hilos. Además, para interpretar las órdenes y obrar en cada momento en la forma que se desea, debe tener en consideración varias circunstancias. Su vida de relación es, pues, bastante complicada.

Durante la construcción de los diversos modelos del telekino que ensayé, tuve la ocasión de apreciar prácticamente la gran facilidad que dan para estas construcciones los aparatos electromecánicos, y pensé que se les podrían aplicar con éxito a las máquinas de calcular.

La inseguridad que se les atribuye se combate eficazmente a menudo. Se ven muchas máquinas electromecánicas que marchan largo tiempo sin sufrir ninguna alteración. Las grandes redes telegráficas o telefónicas funcionan, en general, con mucha regularidad, y las interrupciones o los errores que todo el mundo tiene ocasión de observar, casi siempre pueden ser imputados al viento o la lluvia, que producen averías en las líneas.

Creo que con una construcción muy esmerada se llegará a obtener una seguridad suficiente.

Es verdad que no será absoluta, ni siquiera tan grande como la que se podría obtener empleando aparatos exclusivamente mecánicos; pero me parece que será igual o superior a la que podría ofrecernos un calculador hábil. Y esto basta, evidentemente, puesto que los calculadores obtienen resultados a los cuales otorgamos toda nuestra confianza.

Llegan a esto repitiendo los cálculos, y más a menudo efectuándolos a dos manos, y los dos procedimientos podrían ser imitados automáticamente; pero, por desgracia, todavía no es necesario ocuparnos de estas cuestiones.

*Ensayos sobre Automática. Su definición. Extensión teórica de sus aplicaciones.* Por Leonardo Torres y Quevedo (1914).

Memoria publicada en la revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.





## AUTOMÁTICA, CIBERNÉTICA Y AUTOMATIZACIÓN

## INTRODUCCIÓN

Mucho he meditado sobre el tema más adecuado para mi discurso. Al principio pensé que tratara sobre uno de los modestos trabajos de investigación que estoy desarrollando, pero enseguida desistí de ello, pues a la dificultad de exponer un tema de tal naturaleza sin fórmulas ni figuras, se añade el peligro de envolver, paulatinamente, al auditorio en una atmósfera de tedio y cansancio que la cortesía disimula. Por ello decidí que fuera un tema de carácter más general, y tras madura reflexión escogí hablaros sobre «Automática, Cibernética y Automatización», campo en el que, si bien están comprendidas las pequeñas parcelas que amorosamente cultivo desde hace años, su amplitud es tan grande que espero no caer en la tentación de lo particular, del detalle, que solamente interesa al especialista, en detrimento de la visión general y panorámica que yo desearía ofrecer. Con ello, sin embargo, mucho me temo no quedéis inmunizados contra los males de que os he hablado, pero entonces habrá que achacarlos no al tema, sino al expositor.

Es bien conocido el impacto de la Automática en todos los sectores de la actividad humana. Sin embargo, estamos nada más que en el prólogo de una nueva era, en la que este impacto, esta influencia, se manifestará de forma cada vez más sensible, modificando sustancialmente nuestra manera de vivir.

Si bien comprendemos intuitivamente el significado del vocablo Automática, es difícil expresar en pocas palabras todo su contenido. Sin pretender, pues, dar una definición libre de objeciones, creemos que la Automática puede considerarse como la ciencia que trata de los métodos y procedimientos cuya finalidad es la sustitución del operador humano por un operador artificial en la ejecución de una tarea física o mental. Partiendo de este concepto de Automática, podemos definir la Automatización como la aplicación de aquélla a los procesos industriales. Este mismo significado se debe dar al vocablo «Automation», (\*) aparecido hace algunos años en Norteamérica, y sobre cuya traducción española «Automación» todavía no se ha pronunciado la Real Academia de la Lengua.

Pero antes de seguir adelante me permitiréis que evoque el nombre de un español insigne, gloria de nuestra Patria, e indiscutible precursor de la Automática actual, cuya denominación introdujo hace medio siglo con el mismo significado que ahora tiene. Me refiero al que fue Presidente de esta Academia D. Leonardo Torres Quevedo.

Sobre su figura como precursor, dice el Prof. Raymond, autoridad francesa en estas materias: «Si Farcot y Watt pueden considerarse como los inventores de los servomecanismos, Torres Quevedo es quien ha tocado con el dedo el verdadero problema de la Automática. Es singular que sus trabajos, por tantos conceptos precursores, hayan podido pasar inadvertidos para tantos ingenieros».

En efecto, Torres Quevedo es más conocido por su labor en el campo de las máquinas calculadoras (por ejemplo, las construidas para resolver ecuaciones algebraicas y para resolver ecuaciones diferenciales de primer orden), por sus inventos, como el jugador de ajedrez, el telekino, el balón dirigible usado por los ejércitos francés e inglés durante la primera guerra mundial, el transbordador aéreo sobre el río Niágara, etc. Más adelante me referiré a ellos.

Lo que deseo destacar ahora son sus ideas vertidas en un admirable trabajo titulado «Ensayos sobre Automática. Su definición. Extensión teórica de sus aplicaciones», que se publicó en la Revista de esta Academia en 1914, y un año después en la *Revue Générale des Sciences* de París. En esta memoria expone los principios generales sobre el Automatismo, y con una visión profética inicia caminos que hoy, después de tantos años, se están convirtiendo en realidad.

Refiriéndose a los autómatas (lo que hoy llamaríamos sistemas automáticos), dice: «Estos autómatas tendrán *sentidos*: los termómetros, los dinamómetros, las brújulas..., aparatos sensibles a las circunstancias que puedan influir su marcha. Poseerán *miembros*: las máquinas, aparatos capaces de ejecutar las operaciones de que estarán encargados, y

(\*) Esta palabra fue utilizada primeramente por Harder, Vicepresidente de la Ford Motor Co., e independientemente por John Diebeld y parece que procede de una simple contracción del vocablo «Automatisation», si bien algunos buscan su origen en la de otros dos, «Automatics» y «Production».

que dispondrán de la energía necesaria». Y continúa textualmente: «Además (y éste es el principal objeto de la Automática) es preciso que los autómatas sean capaces de *discernimiento*, que puedan en todo momento, teniendo en cuenta las impresiones que reciben o incluso las que han recibido antes, ordenar la operación deseada». Y más adelante: «Es siempre posible construir un autómata, cuyos actos dependan de ciertas circunstancias más o menos numerosas, según reglas que se pueden imponer arbitrariamente en el momento de la construcción.» ¿No da la impresión de que todo esto se ha escrito ahora, y no hace cerca de cincuenta años?

Es sorprendente observar que en el sistema preconizado por Torres Quevedo se introduce la idea de los circuitos de conmutación, que obtiene mediante relés, logrando realizar operaciones lógicas a partir de la información recibida. «El número de conmutadores —dice— se puede aumentar a voluntad y asimismo el número de posiciones de cada uno. Es decir, se puede incrementar indefinidamente el número de casos particulares que el autómata deberá considerar para regular sus acciones, o bien se puede complicar su vida de relación tanto como uno desee.» Muestra, pues, la posibilidad de elaborar o manejar automáticamente la información recibida, lo cual constituye, sin duda, una de las características esenciales de la Automática actual.

Este aspecto importante de la obra de Torres Quevedo, que acabo de esbozar, va siendo conocido ya en los medios extranjeros; basta recordar el éxito que tuvieron el ajedrecista y otros ingenios presentados por su propio hijo durante el Coloquio sobre «Les Machines à Calculer et la Pensée humaine», celebrado en París hace unos diez años. Pero ello no es suficiente, hay que divulgar su obra, precisamente su primacía en los fundamentos de una ciencia que está sirviendo de base a las maravillosas realizaciones actuales: como dijo el ilustre y llorado Académico D. Pedro Puig Adam en su bella conferencia con ocasión del centenario de Torres Quevedo: «... ni los artículos aparecidos aquí y allá en la prensa llorando su pérdida, tienen a mi entender el valor que adquiere una nueva y espontánea curiosidad en conocer su obra, venga esta curiosidad de París o de donde venga. Porque si de agradecer son todos los llantos por una muerte, más consolador resulta un sólo interés que infunda nueva vida». (\*)

Para corroborar estas palabras de Puig Adam, me permitiréis que recuerde la placentera emoción que hube de experimentar hace unos años, cuando en ocasión de una conferencia que di en un Congreso Internacional celebrado en Harvard, (\*\*) pude hablar de Torres Quevedo ante un auditorio de especialistas. La emoción placentera se trocó en felicidad cuando pude observar la reacción admirativa de mis oyentes, muchos de los cuales acaso no habían oído hablar de nuestro ilustre compatriota y que entonces deseaban más datos sobre sus trabajos ¡y es que conocer la obra de Torres Quevedo, es admirarla!

Volviendo al desarrollo actual de la Automática y de la Automatización, y consecuentes con las ideas antes expuestas, podremos enunciar como característica esencial y meta de esta última, la eliminación del operador humano en el proceso de producción, no solamente en lo que se refiere al trabajo físico, suprimido ya en parte por la mecanización, sino también a la labor inteligente del operador que dirige las diferentes fases del proceso de producción. Se trata de suprimir el eslabón «hombre» en la cadena de producción, y de llegar a la fábrica «automática» (existen ya algunos ejemplos en el mundo) en la cual las máquinas regulan su propio comportamiento, realizando el proceso de fabricación, sin intervención humana, desde el principio hasta el fin. La única misión que le queda al hombre es supervisar el buen funcionamiento de las máquinas. La automatización, por otra parte, trata de sustituir la inteligencia del hombre aplicada a tareas rutinarias, no solamente en los procesos industriales, sino también en los procesos administrativos o comerciales. En este sentido se puede hablar, realmente, de una segunda revolución industrial.

Llegados a este punto, cabe preguntar cuáles son los métodos que emplea la Automática para llegar a estos resultados. Si su huella se ha dejado sentir hace sólo unos años, podría pensarse que ello es debido a la aparición de algún principio fundamental nuevo, del cual dimanaría todo el proceso realizado. No es así, sin embargo.

El proceso de realimentación (feedback), que se considera por muchos como fundamental en Automática, es no solamente conocido, sino también aplicado desde hace muchos años. Basta recordar el regulador de fuerza centrífuga inventado por Watt en 1788. Ahora bien, el hecho importante ocurrido en los últimos años ha sido edificar una ciencia coheren-

---

(\*) PUIG ADAM, Pedro: «Torres Quevedo. El cálculo mecánico y la Automática.» *Revista de la Real Academia de Ciencias*. Madrid, tomo XLVII, cuaderno 1.º.

(\*\*) GARCÍA SANTESMASES, JOSÉ: *Switching research in Spain*. Proceedings of an International Symposium on the Theory of Switching. Universidad de Harvard, Cambridge, Mass. (EE. UU.).

te basada en este fenómeno de la realimentación, universalizándolo y unificando los métodos de investigación y estudio, sea cual fuere su aplicación. El fenómeno de realimentación se había utilizado en la regulación de motores, en reguladores de tensión, en amplificadores electrónicos, etc., pero los estudios llevados a cabo en cada uno de estos campos se realizaron independientemente, ignorándose mutuamente, y por consiguiente desconociendo los principios comunes a todos ellos. El conocimiento de esta base común permitió el estudio e investigación matemática, de forma general, de los problemas que resultan de la aplicación del principio de realimentación.

Los primeros trabajos, donde se inicia el estudio analítico de estos sistemas (concretamente de los servomecanismos, que podemos considerar como sistemas de realimentación donde la variable regulada es una posición mecánica), fueron publicados por Hazen e Ivanoff en 1934. (\*) Durante la segunda guerra mundial estos estudios se desarrollaron extraordinariamente, publicándose en la postguerra la información obtenida en forma de libros y artículos en revistas. (\*\*)

Según es sabido, en los sistemas de realimentación la diferencia entre el valor de la variable regulada y el valor deseado de la misma (es decir, el error) se utiliza para regular el propio sistema.

Esta diferencia se mide en el órgano detector de error y una vez amplificada actúa sobre los mecanismos de gobierno.

Es interesante observar que el proceso de realimentación se cumple, también, en cierto modo, en los sistemas de regulación a bucle abierto (*open loop*), que por principio mismo no son sistemas de realimentación desde el punto de vista automático. En efecto, en estos sistemas, el punto de realimentación se cierra a través del operador humano, el cual observa las desviaciones del comportamiento real del sistema respecto del deseado y aplica las correcciones convenientes, es decir, el hombre actúa de detector de error y de órgano regulador.

Ahora bien, el progreso de la tecnología ha puesto en evidencia, que en muchas ocasiones, cuando se trata de procesos complejos, el operador humano se adapta mal a esta función reguladora. En estos casos, ha sido preciso sustituir el eslabón humano en el bucle de realimentación, por aparatos sensibles que cumplen mejor su tarea. Esta observación es importante. Llega un momento en que el hombre no está a la altura de las máquinas, no puede competir con ellas, hay que eliminarlo porque al lado de éstas es torpe, sus sentidos no están perfeccionados, sus reflejos no son tan rápidos, tiene imaginación... y, en fin, porque es un hombre.

Esto nos muestra las dos vertientes de la Automatización. Por un lado lleva consigo la liberación del operador humano de los trabajos rutinarios (aspecto muy importante desde el punto de vista social), pero, por otro, las máquinas también quedan liberadas de las restricciones impuestas por la limitación de las facultades del hombre.

Incidentalmente hay que hacer notar que el fenómeno de la realimentación, así como las posibles oscilaciones que le acompañan, tienen lugar en campos muy diversos, y alejados de los problemas de regulación automática que estamos tratando. Así, se presenta en los sistemas económicos: las fluctuaciones periódicas de la actividad económica, con épocas de prosperidad y de depresión, estudiadas hace años por Keynes, son un ejemplo de oscilaciones producidas en un sistema de realimentación.

Podríamos citar otros ejemplos, en este sentido, pero acaso el más interesante es el que se refiere al hombre y a los animales, analizado por Wiener. La coordinación de los movimientos en el hombre es debido a un fenómeno de realimentación. El hecho simple de mover la mano para coger un objeto que está en la mesa, se realiza por un proceso de realimentación visual, observando la posición de la mano y corrigiéndola continuamente hasta alcanzar su objetivo. Los ojos envían la información al cerebro, indicando la forma cómo se está realizando la operación, y el cerebro, de acuerdo con esta información, transmite las instrucciones precisas para modificar convenientemente la acción de los músculos, hasta que la mano logra coger el objeto. Wiener analiza algunas enfermedades, como la *ataxia locomotriz*, en la que las sensaciones que experimentan las piernas del paciente no se transmiten al cerebro, es decir, se ha roto este circuito de realimentación. En estas condiciones, el enfermo debe mirar siempre a las piernas cuando anda, con objeto de vigilar sus movimientos, lo cual no es necesario a las personas normales.

---

(\*) HAZEN, H. L. «Theory of Servomechanisms». *J. Franklin Inst.* 1934, 218; 3, 279. IVANOFF, A. «Theoretical Foundations of the Automatic Regulation of Temperature». *J. of Institute of Fuel*, 7, 117, 1934.

(\*\*) Entre las aportaciones españolas en este campo hay que destacar la interesante comunicación presentada por D. Pedro Puig Adam en el Coloquio sobre «Les Machines à Calculer et la Pensée humaine», París, 1951 titulada *Les systèmes rétroactifs en chaîne et les fractions continues*.

También hay que destacar la excelente monografía sobre estos temas, primera escrita en lengua española, debida, al también Académico de esta Corporación, D. Antonio Colino, que lleva por título: *Teoría de los servomecanismos*. Publicaciones del Instituto Nacional de Electrónica, 1950.

Si bien en el proceso de la Automática ha intervenido, como uno de los factores esenciales, el desarrollo de los sistemas de realimentación, hay que considerar, también, otros no menos importantes, como son la teoría de la información (\*) y las calculadoras electrónicas (en realidad podríamos denominarlas, de una forma más general, máquinas elaboradoras de información) que en estos últimos años han evolucionado de forma impresionante.

Otras causas han contribuido, también, al florecimiento actual de la Automática; así, hay que considerar el avance tecnológico producido durante la última guerra mundial y después de ella. En efecto, las necesidades militares hicieron avanzar en forma insospechada las técnicas de la electrónica y de la regulación automática, y en la postguerra han sido las aplicaciones militares las que se han acogido más abiertamente y sin reservas a los procesos de automatización. Así, por ejemplo, el problema de los proyectiles dirigidos exige un cerebro electrónico que tenga memoria, posibilidad de realizar cálculos y de tomar decisiones con gran rapidez, al propio tiempo que regula el movimiento del proyectil partiendo de estas decisiones. Esta aplicación incesante de la Automática a los problemas militares, ha hecho decir al ingeniero Ramo, de la Ramo-Wooldridge Co., «que el ingrediente más importante de la tecnología militar moderna, no es, como se supone corrientemente, alcanzar la potencia explosiva máxima contenida en una sola bomba, sino la tendencia operativa hacia sistemas cada vez más automáticos».

Simultáneamente, las aplicaciones militares impulsan el avance tecnológico en otras direcciones. Al propio tiempo que se lucha por obtener aparatos cada vez más complejos, se tiende a la reducción de las dimensiones y peso del material y a incrementar su seguridad; y se comprende la dificultad de compaginar estos objetivos, muchas veces contradictorios. Esto ha tenido como consecuencia afinar en las componentes y técnicas empleadas, utilizando cada vez más transistores, ferritas y aparatos de tipo magnético.

En fin, para terminar con esta enumeración de las causas que explican el estado actual de la Automática, debemos señalar, también, el proceso de mecanización, cada vez más intenso, llevado a cabo durante los últimos años en las grandes industrias, particularmente americanas, como la de automóviles, alimentos, etc.

#### **DESARROLLO ACTUAL DE LA AUTOMATIZACIÓN**

Hasta ahora la automatización se ha desarrollado principalmente en las industrias donde la producción es continua como, por ejemplo, la industria química, la industria del petróleo, la producción de energía, la siderúrgica, etc. Las industrias que producen en serie también son susceptibles de ser automatizadas, como por ejemplo, la industria del automóvil, la fabricación de material eléctrico, etc. La automatización ha tenido un clima propicio para su crecimiento en los países más industrializados, ya que en ellos, precisamente, están muy desarrolladas las industrias susceptibles de ser automatizadas.

Aunque se ha indicado el interés creciente del uso de calculadoras en automatización, existen, sin embargo, procesos industriales que por su índole no exigen su presencia. Así ocurre en los procesos de fabricación simples, que siguen un programa fijo, donde el ciclo operativo es siempre el mismo. En estos procesos basta con asegurarse que las diversas operaciones se verifican en el orden y con la duración previamente establecidos. Son procesos de bucle abierto, en los cuales no existe realimentación, y se usan, por ejemplo, en la industria de la alimentación, en embalajes, etc.

Sin embargo, la automatización de los procesos mecánicos, químicos, eléctricos, etc., utiliza, en la mayoría de los casos, el sistema de realimentación, con o sin calculadora electrónicas, si bien el uso de éstas se extiende cada vez más.

El progreso en la automatización no se realiza, en general, en la industria bruscamente, sino por etapas sucesivas. Ello es debido a varias circunstancias, no siendo las menos importantes las económicas. Se procede, pues, a automatizar parcialmente, cerrando, sucesivamente, sistemas de realimentación, que, en definitiva, serán todos ellos gobernados por una calculadora. Así ocurre con la industria productora y distribuidora de la electricidad en Estados Unidos, donde el proceso de automatización se lleva a cabo según este criterio, y se espera que para 1970 estará en operación el primer sistema productor y distribuidor de energía eléctrica completamente automático. (\*\*)

---

(\*) En la literatura española sobre esta materia hay que señalar los interesantes trabajos de D. Antonio Colino: «Una introducción a la teoría del filtrado y de la predicción». *Rev. Ciencia Aplicada*, enero-febrero 1952. «Una introducción a la teoría de la información». *Rev. Instituto Nac. Electrónica*, enero 1958 y abril 1959.

(\*\*) VANNAH, William E. «Control Enters a New Decade». *Control Engineering*, enero 1960.

Una de las características de la automatización que conviene destacar, ya que se está empleando cada vez más, y probablemente tendrá gran importancia en el futuro, es la que podríamos denominar tele-automática, y que consiste en transmitir a distancia las señales procedentes de los órganos de gobierno del sistema. (\*) Esta transmisión de señales tiene, evidentemente, gran interés en aquellas industrias donde intervienen gran número de instalaciones diseminadas, a grandes distancias unas de otras, y que de esta forma pueden ser gobernadas y reguladas desde un organismo centralizado.

El objetivo de la automatización es cada vez más ambicioso y amplía sus límites más allá del campo de los procesos de producción, extendiéndose a la organización completa de las empresas. Según estas perspectivas, el proceso de producción estaría gobernado por un sistema de realimentación, que a su vez formaría parte de un sistema más complejo, constituido por varios bucles de realimentación. El correspondiente al proceso de producción tendría por variable de entrada órdenes de la dirección, de las investigaciones sobre mercados, del departamento de ingeniería, etc., que indicarían la cantidad de productos a fabricar.

## ASPECTOS ECONÓMICOS

Son muchas y diferentes las causas del progreso de la automatización. En algunos casos se automatiza porque es el único procedimiento para la fabricación del producto deseado. En este sentido se han logrado, y se lograrán en el futuro, muchos productos nuevos que no hubieran podido obtenerse sin automatizar. En otros casos, la razón fundamental estriba en obtener productos de mejor calidad y de vida más larga. En algunas fábricas es la protección de los obreros la causa fundamental; así ocurre en los trabajos en las minas, en las centrales térmicas, en algunas fábricas de productos químicos, etc. Una mayor seguridad en las operaciones a efectuar puede ser motivo de automatización; en la URSS, la automatización de las centrales hidro-eléctricas ha tenido como consecuencia una disminución apreciable de las averías en las centrales. En otros casos la automatización disminuye el consumo específico de materia prima, así como el material de desperdicio.

En general, el capital invertido en automatizar una fábrica es superior al necesario para equipar la misma fábrica con los sistemas clásicos de producción. Si lo que se trata es de sustituir la maquinaria de una fábrica que ya está funcionando, por otra automática, el problema del capital se presenta aún más desfavorable. Sin embargo, no siempre ocurre así; en algunos casos, automatizar representa ahorrar capital invertido. En otros, la economía se obtiene al reducir la superficie necesaria para la maquinaria, ya que como ésta es automática, en general, ocupa menos espacio.

De todas maneras, en muchos casos, se automatiza con objeto de obtener un mayor rendimiento económico en la fabricación, debido a la liberación de parte de la mano de obra, y del incremento en la eficacia del personal que queda. Éste es el principal objetivo que incita a las empresas a automatizar. Es decir, que si bien aumenta el capital inmovilizado, ello está compensado por una disminución en la mano de obra.

El temor a que esta liberación de la mano de obra dé lugar a paro obrero, es uno de los factores que ensombrecen el panorama de la automatización. Sin embargo, no hay que ser pesimistas a este respecto; basta recordar que ese temor también existió en la primera revolución industrial y, no obstante, son innegables los beneficios aportados por ella a la humanidad.

Todo hace suponer que, si bien la automatización sigue un ritmo acelerado, no se implantará de forma brusca y global, ya que existen una serie de factores, muchos de ellos económicos, que en la mayoría de los países tienden a retrasar su implantación. Este proceso evolutivo de la automatización aliviará el posible paro obrero. De hecho, actualmente, en los países más adelantados industrialmente, donde el proceso de automatización tiene un campo más propicio para desarrollarse, con una economía en proceso de expansión, existe falta de mano de obra, así como de personal técnico y científico.

Pero aunque el proceso de automatización dé lugar a un cierto paro temporal (y ello dependerá del ritmo de implantación del automatismo), se han preconizado muchas soluciones para aminorarlo. Una de ellas consistiría en elevar el nivel técnico de los obreros afectados por la automatización, de forma que pudieran ejercer las funciones de supervisión y mantenimiento de las propias máquinas que los desplazan en las fábricas. Esto no sería más que una solución parcial, ya

(\*) BROTHMAN. «Digital telemetering Techniques». *Communication and Electronics*, núm. 54, p. 81, 1961. BAYER. «Information System Controls Plant over 500-Mile Data link». *Control Engineering*, vol. 8, núm. 7, 1961.

que el número total de los obreros de la empresa queda reducido, normalmente, al automatizar. Por otra lado, no todos los obreros están en condiciones de sufrir este cambio en su trabajo.

Posiblemente sería una mejor solución crear escuelas profesionales, donde los obreros pudieran adquirir otra profesión más adecuada a las necesidades de la automatización. Sin duda, esta solución no se adapta a aquellos obreros cuya deficiente formación les excluye de la posibilidad de aprender un nuevo oficio; en el período de transmisión habrá dificultades en este sentido, pero son las propias empresas las que deben tratar de resolverlas, posiblemente con ayuda estatal. (\*)

El papel de los Gobiernos puede dirigirse a la realización de obras públicas en gran escala que, beneficiando al país, absorban a los obreros desplazados temporalmente por la automatización.

Este problema se verá también suavizado por otra consecuencia importante de la automatización, la reducción de la jornada de trabajo, que exigirá un incremento en la mano de obra. Por otro lado, parte de la mano de obra liberada podrá ser absorbida por las industrias aún no automatizadas y por las nuevas industrias que aparecerán como consecuencia de la automatización.

Otro problema económico que se plantea es la necesidad cada vez mayor, de nuevas inversiones de capital para seguir el ritmo creciente de la automatización. Ello dependerá, sin duda alguna, de la situación económica e industrial de cada país, lo cual se traducirá en una política distinta para cada uno.

Si bien son evidentes los beneficios que reportará a la humanidad el uso progresivo de la automatización, no es posible aún concretar las consecuencias que pueden derivarse desde el punto de vista de la economía general de cada nación, debido principalmente a que los datos que se poseen hasta ahora son insuficientes.

Sería preciso una cooperación internacional con objeto de obtener datos precisos sobre los resultados de la automatización en los diferentes países, estimulando el estudio de las relaciones entre la automatización y el aumento de la productividad, así como la política general de inversiones de capital, implantación de industrias, etc.

Esto ha sido iniciado ya por la *Organización Europea de Cooperación Económica*, y es de esperar que estos estudios permitirán encauzar el desarrollo de la automatización en su aspecto económico.

## ASPECTOS SOCIALES

Un aspecto muy importante de la automatización desde el punto de vista social, es la sustitución del obrero en sus trabajos rutinarios, satirizados por Chaplin en una de sus películas. La automatización llevará al *uso humano de los seres humanos*, según frase de Wiener, eliminando tanto el trabajo en cadena de las fábricas, como el monótono y reiterativo de las oficinas, en las cuales el hombre utiliza una parte mínima de su inteligencia. El hombre desligado de esta servidumbre podrá dedicar sus actividades a una labor creadora y que exija iniciativa. Se necesitarán, de todas maneras, en las fábricas, incluso completamente automatizadas, personal, pero su trabajo será de otro tipo. Trabajo de supervisión y mantenimiento por un lado, y de programación de la labor a realizar por otro. Con esta clase de trabajo se aumenta la categoría del obrero, adquiriendo mayor importancia y dignidad.

Sin duda alguna, hay tareas que, por su idiosincrasia misma, no se prestan a la automatización, como, por ejemplo, la construcción de edificios, de puentes, de presas, el trabajo en el campo, etc. Pero también es cierto que si bien en ellos se exige esfuerzo muscular, no pueden compararse, bajo el punto de vista psicológico, con la monotonía de la repetición inacabable de las mismas operaciones en la labor en cadena.

Este mayor número de horas libres, este incremento del ocio, es de esperar que producirá un mayor nivel educativo de las gentes, mayor cultura, así como también aumentará el tiempo dedicado a deportes, viajes, espectáculos, etc. Esto tendrá una consecuencia secundaria: el florecimiento de las empresas dedicadas a satisfacer estas necesidades de las gentes en las horas libres, lo cual dará lugar a la creación de nuevas industrias, y a un desarrollo de las actuales. Estas industrias, denominadas en América «leisure industries», han adquirido en el mundo actual un volumen que sorprende. Así, según se desprende de un estudio estadístico, el pueblo americano gasta anualmente cerca de 32 mil millones de dólares en productos y servicios del mercado del ocio, es decir, el doble que para el automóvil y la mitad que para la ali-

(\*) Lord Halsbury: *L'Automation, fiction verbale, réalité psychologique*. «Impact», vol. VII, núm. 4, diciembre 1956.

mentación. Con el aumento de horas libres a que la automatización conducirá forzosamente, estas industrias del ocio se desarrollarán en mayor proporción, creando necesidades, muchas de ellas artificiales. (\*)

Una de las tareas de más responsabilidad para las clases dirigentes será encauzar estas actividades fuera de las horas de trabajo, con objeto de aumentar la cultura del hombre en un sentido preferentemente humanista, que contrarreste la mentalidad materialista que puede surgir en un mundo dominado por el automatismo.

Esto nos lleva a otro punto importante. La necesidad de nuevos métodos de enseñanza y de formación adaptados a esta nueva civilización, a cuyo nacimiento estamos asistiendo.

La era del automatismo exigirá un número creciente de especialistas, pero, al propio tiempo, también necesitará científicos e ingenieros de espíritu creador, con una base científica y técnica muy amplia, que les permita el diálogo con los especialistas, con objeto de hallar caminos nuevos, dentro de la complejidad creciente de los problemas que presentará la Automática en el futuro.

Para formar esta «élite», estos cuadros técnicos superiores, será preciso darles una formación profesional amplia, que se extienda a diferentes especialidades. Al lado de estos dirigentes científicos de la Automática, con una visión global de la misma y que irán creando una nueva tecnología, deberán existir gran número de especialistas que se encarguen de llevar a cabo, de plasmar en realidades, los nuevos senderos abiertos por aquéllos.

También se deberá renovar, siguiendo nuevos cauces, la formación profesional de los obreros, adaptándola a los nuevos derroteros tecnológicos.

Por otro lado, el desarrollo de la automatización con su secuela de problemas económicos, exigirá, también, la formación de cuadros dirigentes de las empresas industriales. Hasta hace poco se consideraba que los buenos administradores nacían, no se hacían; la administración de los negocios se consideraba más un arte que una ciencia. Sin embargo, hace unos años se han descubierto teorías de tipo cuantitativo, que harán evolucionar a la administración de las empresas (*gestion des affaires*) en forma cada vez más científica. (\*\*)

Diremos sólo unas palabras sobre la automatización en los países poco desarrollados. Desde este punto de vista existen opiniones dispares. Por un lado algunos autores, entre ellos Leontief, opinan que precisamente es en los países subdesarrollados en donde la automatización puede tener más éxito, ya que permite quemar etapas en el progreso técnico. En efecto, opinan que no existiendo mano de obra calificada, más fácil que preparar ésta para la producción no automatizada, es formar el personal técnico reducido que exige la automatización. Al mismo tiempo, el problema económico que se presenta en los países desarrollados, al sustituir o modificar los sistemas de producción existentes por los nuevos, no aparece en los países subdesarrollados, dada la escasez de equipos industriales instalados.

Por otro lado, existen teorías completamente opuestas a las anteriores, que defienden que en los países poco industrializados, los progresos técnicos en los métodos de producción no pueden realizarse quemando etapas, sino que se deben pasar por fases sucesivas hasta llegar a los métodos de producción en los países más desarrollados. Esto, con más motivo se aplicaría a la automatización. Se parte de la base, para preconizar esta teoría, de que dada una cierta relación de capital invertido–coste mano de obra, no se puede desarrollar la industria produciendo una variación brusca en esta relación, como ocurriría aumentando mucho el capital invertido como consecuencia de la automatización. Es decir, que en los países poco desarrollados en que el coste de la mano de obra es pequeño, el capital invertido tiene que estar en consonancia con aquél, y por consiguiente, no debe ser muy grande. Se arguye también, a mayor abundamiento, que no existen en estos países grandes capitales para invertir.

Entre estas dos posiciones, una optimista y otra pesimista, existe, posiblemente, un término medio que hay que considerar.

De los dos factores, capital y trabajo, hemos visto que en la mayoría de los casos, el proceso de automatización, ahorra el segundo factor e incrementa el primero, es decir, que desde este punto de vista, no parece apropiada su implantación en los países poco desarrollados; pero esto no siempre es verdad: existen casos en los cuales las técnicas del Automatismo suponen una disminución del capital empleado. En otros la implantación de la automatización lleva consigo un

---

(\*) FREDERIK POLLOCK: *L'Automation*. Les éditions du Minuit. París, 1957, pág. 134.

(\*\*) ALEXANDER KING: *La gestion des affaires. Une technologie*. «Impact Science et Societé», vol. VIII (1957), núm. 2.

ahorro de capital y trabajo, lo cual es también conveniente a los países poco desarrollados, y aun ello permite la iniciación de industrias nuevas, al producirse una reducción simultánea de ambos factores de la producción. (\*)

Por otro lado, incluso aquellos procesos de automatización que llevan exclusivamente a un ahorro de la mano de obra pueden ser interesantes para los países atrasados, escogiendo convenientemente industrias nuevas en el país y que, por consiguiente, no exijan sustitución del material existente, y que, además, no necesiten un gran capital. Ya hemos visto que una de las ventajas de la automatización estaba, precisamente, en producir mejor y más barato que en los procedimientos clásicos, y por consiguiente, siempre que ello no sea demasiado oneroso para el país, a la larga redundará en beneficio del mismo como fuente de divisas.

Habrà que estudiar, con gran detenimiento, y teniendo en cuenta el conjunto de factores económicos e industriales de cada país, la forma de aplicar la automatización con mayor o menor rapidez. Pero es de esperar que el impacto social de la automatización será tan grande para la humanidad, su beneficio será tan considerable, el nuevo sistema de vida que nos ofrece es tan esperanzador, que nos cuesta trabajo creer que ello pueda ser sólo disfrutado por determinados países, por muchos argumentos económicos que se puedan presentar en defensa de esta tesis.

\* \* \*

Sólo unas palabras antes de terminar. Este mundo maravilloso, tan lleno de vida y de promesas, que con mano torpe he tratado de bosquejar, cuenta solamente unos quince años de vida. En este corto tiempo ¡cuántas realidades fecundas se han logrado y cuántos caminos se han abierto a la investigación! Algunos de ellos se están descubriendo con el esfuerzo y la estrecha colaboración de investigadores de distintas procedencias: matemáticos, ingenieros, físicos, fisiólogos, lingüistas, economistas, etc.

Este espíritu de colaboración no solamente es imprescindible en ciertos aspectos del campo de la automática, sino también en otras ramas de la Ciencia. Me atrevería a decir que es una de las características de nuestro tiempo, del mundo científico en que vivimos. Se ha dado un paso más; no sólo es necesaria la labor de equipo entre especialistas de una misma disciplina, sino también la colaboración entre los que cultivan materias diferentes.

Tengo la esperanza de que también en España, se logrará esta colaboración y de que al gran ejército de investigadores que dedican su vida a ensanchar las fronteras de la Automática se sumarán, también, muchos de los que integran la juventud investigadora de nuestro país, que está demostrando, tanto en nuestra Patria, como fuera de ella, que no es cierta la tan extendida teoría sobre la incapacidad de los españoles para la investigación científica.

*Discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*  
[págs. 9-16 y 58-66] del profesor García Santesmases, 1961.

---

(\*) ESTAPÉ, F.: *Automática y Economía*. Actas del Congreso Internacional de Automática, 1958.

## EL PROCESO Y LA TÉCNICA DEL BIOFEEDBACK

A nivel puramente técnico, el biofeedback puede analizarse atendiendo simplemente a la descripción de los elementos y operaciones o fases que componen el proceso, las cuales, por otro lado, no difieren sustancialmente de las utilizadas típicamente en el registro de respuestas fisiológicas, en general, y que uno de nosotros ha descrito con amplitud de detalles en otro lugar (Carrolles, 1981), a donde remitimos para una mayor ampliación de la información sobre el tema.

Los elementos y fases incluidos en el proceso de biofeedback pueden ser vistos de forma gráfica en la figura 3, tomada de Carrolles (1981), en la que, de modo general, se observa la secuencia de las operaciones implicadas en un típico circuito de feedback.

Para mantener la coherencia de nuestro propio discurso en el desarrollo secuenciado de nuestro libro, quizá convenga precisar que este circuito básico que aquí vamos a describir es sólo el circuito de feedback; es decir, el circuito de recogida de información o de registro de la respuesta o función biológica y de facilitación (feedback) de la misma al sujeto, y que, por tanto, está incluido como elemento esencial en el esquema más amplio del proceso general del biofeedback descrito en el apartado anterior y representado gráficamente en la figura 2. En síntesis, puede decirse que el proceso aparentemente más amplio representado en la figura 2 es construido sobre el circuito de feedback básico que ahora consideramos, y no es, en último término, otra cosa que este mismo circuito una vez convertido en procedimiento típico de biofeedback con el aditamento de las instrucciones para el cambio de la respuesta o función biológica y el ejercicio de control (feedforward) ejercido sobre la misma por el propio sujeto. De este modo, el circuito de feedback básico representado en la figura 3 puede convertirse en el circuito de biofeedback más amplio de la figura 2 con sólo añadirle el recuadro correspondiente a las instrucciones que inciden sobre el sujeto y la relación de control o de «feedforward» ejercida por el sujeto sobre la respuesta a la salida de la misma del propio individuo y antes de ser ésta detectada o registrada.

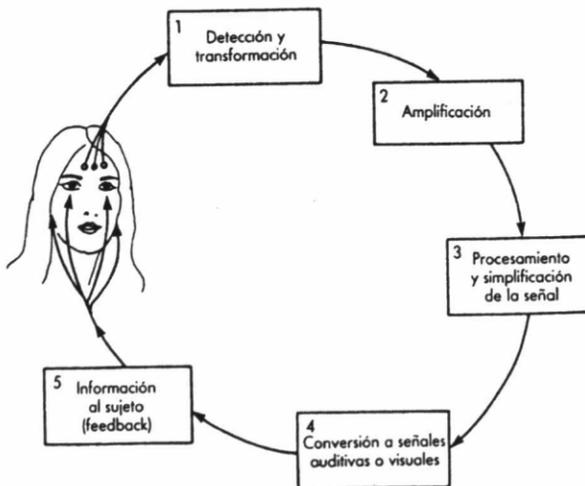


Figura 3. El proceso de biofeedback: elementos y fases que lo componen.

Para describir los distintos elementos y operaciones implicados en el diagrama de la figura 3, representativo, técnicamente hablando, de un circuito de biofeedback, hemos tomado como ejemplo el registro de la respuesta electromiográfica (EMG), que representa uno de los campos más eficaces y de mayor aplicación práctica del biofeedback, y sobre esta respuesta centraremos nuestra descripción de los elementos técnicos de un circuito o proceso de biofeedback. Es importante insistir en la considerable utilidad que la comprensión de este proceso tiene para un buen entendimiento de lo que

representa el biofeedback y, sobre todo, para poder utilizar o manejar adecuadamente aparatos de este tipo. Para facilitar esta doble comprensión técnica y de manejo práctico de los equipos de biofeedback procederemos a describir sucesivamente tanto el interior como el exterior de estos equipos, con objeto de facilitar al lector la relación o equivalencia entre los distintos elementos técnicos de los mismos y los botones, teclas y mandos exteriores que son los que realmente habrá de manejar el terapeuta o experimentador usuario de un aparato de biofeedback. El aspecto exterior de uno de estos aparatos en el que se muestran los mandos o controles que típicamente incluyen los mismos puede verse en la figura 4. Esta fotografía que muestra el módulo de un aparato de biofeedback-EMG, representa el aspecto exterior del proceso mostrado en la figura 3 y con él será comparado en la explicación y descripción del mismo que pasamos a exponer a continuación.

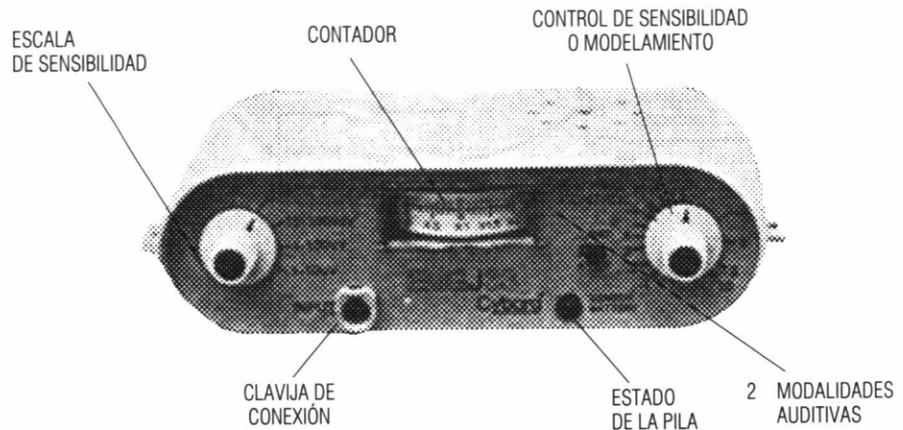


Figura 4. Módulo de un aparato de biofeedback-EMG.

Las fases u operaciones típicamente incluidas en un proceso de biofeedback, como el representado en la figura 3 son, de este modo, las cinco siguientes:

1. Detección (transformación).
2. Amplificación.
3. Procesamiento y simplificación de la señal.
4. Conversión a señales auditivas o visuales.
5. Información al sujeto (feedback).

#### **DETECCIÓN Y TRANSFORMACIÓN**

La primera operación o fase de un proceso de biofeedback es la de detección y transformación, en caso necesario, de la señal o respuesta producida por el sujeto. El elemento básico de esta primera operación de detección son los denominados electrodos (sondas o sensores) encargados de registrar o captar la señal en el lugar en que es producida por el sujeto y transmitirla al interior del aparato de biofeedback, donde la misma habrá de ser sometida a diversas operaciones ulteriores con objeto de hacer que la señal sea útil y manejable.

Existen básicamente dos técnicas de detección o registro de la señal biológica producida por el sujeto, y suelen denominarse con los nombres de *técnicas invasivas* y *técnicas no invasivas*. La diferencia esencial entre ambos tipos de técnicas estriba en que en las técnicas invasivas los electrodos de registro son insertados dentro del sujeto a través de una pequeña intervención quirúrgica, con objeto de situar éstos lo más cerca posible del sistema fisiológico que se pretende registrar, mientras que en las técnicas no invasivas los electrodos de registro son situados sobre la superficie de la piel encima del sistema fisiológico que se desea evaluar, sin que sea requerido ningún tipo de manipulación quirúrgica. Las ventajas y desventajas de uno y otro sistema fácilmente se comprenderán, siendo las más relevantes la mayor precisión de medida de la técnica invasiva respecto de la no invasiva, junto a las dificultades y los riesgos de la intervención quirúrgica requerida por las técnicas invasivas, frente a la mayor facilidad y comodidad de las no invasivas. El balance de

estas ventajas y desventajas es, por lo que respecta al biofeedback, claramente positivo a favor de las técnicas no invasivas que son las más ampliamente utilizadas, ya que normalmente satisfacen la mayor parte de los requerimientos exigidos en los diversos campos de las aplicaciones clínicas del biofeedback. Por todo ello, la mayoría de los trabajos publicados sobre biofeedback están referidos a técnicas no invasivas y sobre estas técnicas están centradas, igualmente, las referencias y desarrollos de nuestro propio libro.

En el caso concreto del biofeedback-EMG que tomamos como ejemplo de referencia para ilustrar el procedimiento, ambos tipos de técnicas de detección están representadas por el empleo de un tipo particular de electrodos de registro: *electrodos de aguja* y *electrodos de superficie*; y que, como su nombre indica, los primeros son insertados dentro del músculo y pueden registrar con gran precisión la actividad mioeléctrica de unidades motoras aisladas, mientras que los electrodos de superficie se colocan sobre la piel, encima del músculo, y registran la actividad del conjunto de unidades motoras situadas debajo, en las proximidades de los electrodos.

**Cuadro 1.** Sistema clasificatorio de las respuestas fisiológicas atendiendo a la naturaleza de las mismas.

<p>A) <i>Señales bioeléctricas directas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>— Electrocardiograma (ECG o EKG).</li><li>— Electroencefalograma (EEG).</li><li>— Electromiograma (EMG).</li><li>— Electroowlograma (EOG).</li><li>— Electrogastrograma (EGG).</li><li>— Potencial eléctrico de la piel.</li></ul> <p>B) <i>Señales bioeléctricas transducidas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>— Resistencia de la piel (RP).</li><li>— Conductancia de la piel (CP).</li><li>— Impedancia de la piel (IP).</li><li>— Pletismograma de impedancia.</li><li>— Pneumografía de impedancia.</li><li>— Reoencefalograma.</li></ul> <p>C) <i>Señales biológicas físicas:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>— Temperatura.</li><li>— Volumen pletismográfico.</li><li>— Movimiento.</li><li>— Motilidad gástrica.</li><li>— Presión sanguínea (PS).</li><li>— Flujo sanguíneo (FS).</li></ul>
---

Por otra parte, la actividad fisiológica producida por el organismo y registrada por los electrodos puede ser una señal directamente eléctrica, bajo la forma de un potencial eléctrico al ser detectada por los electrodos sobre la superficie del organismo. En otros casos, sin embargo, la señal detectada no es la actividad eléctrica directa producida por un órgano o sistema fisiológico, sino que constituye una simple propiedad eléctrica del sistema al ser sometido el mismo a una manipulación especial, como es el caso, por ejemplo, de la resistencia que ofrece la piel al ser aplicada a la misma una pequeña corriente eléctrica. Un tercer grupo de fenómenos fisiológicos, por último, no son ni directa ni indirectamente señales eléctricas, sino que son, simplemente, fenómenos físicos o propiedades físicas o mecánicas asociadas a determinados fenómenos o sistemas fisiológicos y que sólo pueden convertirse en señales eléctricas al ser transformados a partir de su registro o medida con métodos físicos o mecánicos convencionales. Los fenómenos fisiológicos del segundo y tercer grupo mencionados constituyen, de este modo, fenómenos o señales transformadas o transducidas en señales eléctricas, forma bajo la cual se facilita enormemente su utilización dentro de la Psicología, en general, y en especial dentro de los procedimientos de biofeedback.

En el cuadro I, adaptado de Brown (1972), puede verse una clasificación de las principales respuestas fisiológicas utilizadas, agrupadas según los tres tipos de características que comentamos de: a) señales bioeléctricas directas, b) señales bioeléctricas transducidas, y c) señales biológicas físicas.

### AMPLIFICACIÓN

La señal captada por los electrodos de registro procedente de un proceso o respuesta fisiológica emitida por un sujeto es transmitida al interior del aparato de biofeedback para ser procesada o analizada, pero dado el bajo nivel habitual de las señales fisiológicas es necesario amplificar éstas con la mínima distorsión posible para poder efectuar este análisis. La amplificación se opera básicamente sobre la magnitud o amplitud de la respuesta fisiológica, pudiéndose regular el grado de amplificación requerido a través del mando de ganancia o sensibilidad (*gain* o *sensitivity*, en inglés, respectivamente) que normalmente incluye el panel exterior de mando del aparato (ver figura 4). De forma esquemática, y simplificada, la amplificación de una respuesta o señal opera del modo representado gráficamente en la figura 5, tomada de Peper y Williams (1981), en la que la señal ha sido amplificada al doble de la respuesta original.

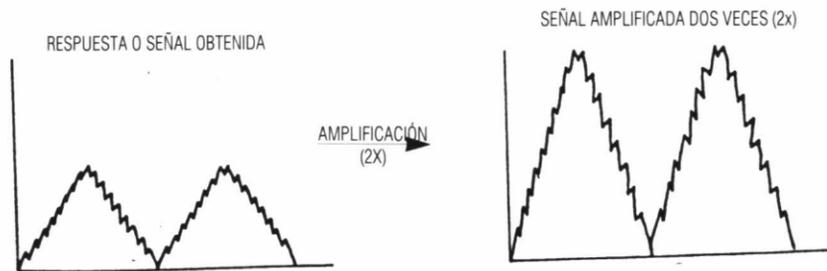


Figura 5. Esquema simplificado de la amplificación de una señal bioeléctrica.

### PROCESAMIENTO Y FILTRADO DE LA SEÑAL

Normalmente, la señal captada por los electrodos de registro no es una señal pura, compuesta estrictamente por la actividad procedente del órgano o función biológica que estamos interesados en registrar en cada caso, sino que, junto a esta señal, el aparato puede captar una multitud de señales o potenciales eléctricos extraños, procedentes de diversas fuentes ajenas a la señal bioeléctrica que deseamos evaluar. Estas señales interfirientes reciben el nombre genérico de *ruido* o *artefactos* por oposición a la auténtica señal bioeléctrica objeto del registro.

Este ruido o artefactos pueden tener distintos orígenes o fuentes de procedencia, entre los que cabe mencionar, si tomamos como referencia la actividad eléctrica muscular (EMG) que elegimos como ejemplo para ilustrar nuestro caso, la actividad eléctrica generada por deficiencias en los electrodos, cables o equipo de registro, en general, las interferencias ambientales procedentes de otros aparatos eléctricos, electrónicos o mecánicos (como es el caso, por ejemplo, de las fuentes habituales de 50-60 Herzios, o ciclos por segundo, de los aparatos eléctricos conectados a la red); así como las originadas en otras funciones biológicas, como el electrocardiograma (ECC o EKG), que puede observarse con frecuencia en registros electromiográficos, especialmente en los obtenidos en músculos del tórax, cuello y hombros. Por otro lado, como es sabido, cualquier aparato eléctrico en funcionamiento genera internamente sus propias señales eléctricas, señales éstas para las que algunos autores reservan específicamente el nombre de ruido, denominando artefactos a las demás señales parásitas distintas de la señal bioeléctrica que se pretende registrar. Tampoco hay que olvidar que el cuerpo humano puede actuar como una antena, captando ruido eléctrico e introduciéndolo en el aparato de biofeedback si se encuentra próximo a éste, aunque no ocurre esto si está conectado a los electrodos o al chasis del aparato. Para evitar este efecto se recomienda que el cuerpo o manos del experimentador o terapeuta estén situados a no menos de treinta centímetros de los electrodos o cables de registro del aparato.

Entre la señal bioeléctrica registrada y los distintos artefactos o ruidos se establece la *razón señal/ruido* especificada normalmente como un nivel de decibelios, nivel que debe ser lo más elevado posible, pues cuanto mayor sea el nivel de decibelios mayor será también la razón señal/ruido. Para eliminar el ruido o los artefactos, la señal de entrada captada por

el aparato y previamente amplificada es *filtrada* según distintas gamas de frecuencia con objeto de rechazar en base a ellas las señales artefactos cuyas frecuencias se encuentran por encima o por debajo de la banda de frecuencia en que tiene lugar la señal bioeléctrica que se pretende registrar. Los límites superior e inferior de la banda pasante de frecuencia de los filtros varían según la función biológica que se pretende registrar con el aparato y las distintas casas constructoras de los mismos, siendo común la banda de frecuencia de 100–1.000 Hz. para el caso de la respuesta electromiográfica que estamos tomando como ejemplo.

El efecto del filtrado de una señal bioeléctrica puede verse de forma gráfica, aunque de un modo muy simplificado, en la figura 6, tomada de Peper y Williams (1981), en la que han sido filtradas o suprimidas del registro las señales de alta frecuencia, dejando pasar sólo las de menor frecuencia.

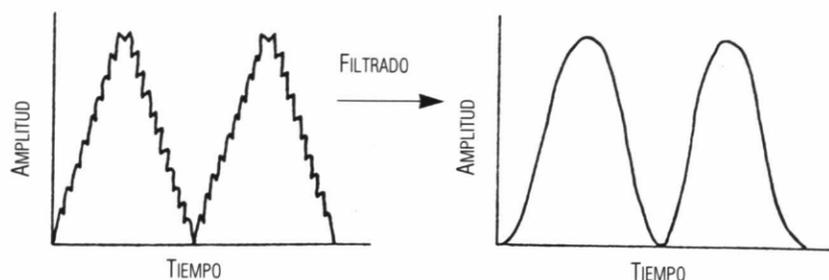


Figura 6. Esquema simplificado de la operación de filtrado de una señal bioeléctrica.

Una vez filtrada la señal, ésta podría pasar ya a ser convertida en señales visuales o auditivas para ser facilitada como información o feedback directo al sujeto. Sin embargo, en los tratamientos con biofeedback es frecuente que la señal sea previamente procesada de diferentes formas con objeto de hacerla más asequible y fácil de manejar para el sujeto. Entre los distintos tipos de *procesamiento* posibles, los más frecuentemente utilizados son la integración y el umbral de respuesta. El primero de ellos, la *integración*, consiste en la simplificación de la señal de feedback acumulando y promediando conjuntos de señales aisladas producidas en un determinado período de tiempo en una señal única que representa el área o el conjunto de las señales individuales, tal y como son producidas directamente por el sujeto.

Otra forma frecuente de procesamiento, tanto en el biofeedback-EMG como en otros tipos de respuestas fisiológicas, es el *umbral* de respuesta, consistente, en síntesis, en la facilitación de información o feedback al sujeto sólo cuando la señal sobrepasa, por encima o por debajo, según el caso, una determinada amplitud previamente establecida en el mando correspondiente (denominado *threshold* en inglés) del tablero de mandos del aparato.

### CONVERSIÓN DE LA SEÑAL

La cuarta fase del proceso de feedback consiste en la conversión o transformación de la señal eléctrica previamente amplificada, filtrada y procesada en señales o estímulos sensoriales susceptibles de poder ser percibidos y evaluados por el sujeto. Esta conversión puede hacerse sobre la señal previamente procesada, en caso de ser requerido algún tipo de simplificación de la señal de los considerados en el apartado anterior, o puede, en caso de no ser requerido este tipo de procesamiento, ser convertida la señal directamente a partir del filtrado de la misma, consistiendo la señal convertida, en este caso, en una medida directa de la señal registrada, normalmente bajo la forma del movimiento de una aguja indicadora en un contador o dial graduado en las unidades habituales en que suele expresarse la señal o respuesta que está siendo evaluada. En uno u otro caso las formas más frecuentes de conversión de las señales registradas son, por un lado, a las modalidades sensoriales visuales o auditivas, y, por otro, a la conversión de la forma análoga que normalmente tiene la señal en otra digital más simple y fácil de entender, en muchos casos, por el sujeto. Estas diferentes modalidades de señales convertidas serán consideradas con algo más de detalle en el apartado siguiente dedicado a la última fase de facilitación de información al sujeto en el proceso normal de feedback.

### FACILITACIÓN DE INFORMACIÓN O FEEDBACK AL SUJETO

La última fase del proceso de feedback consiste, como decíamos, en la facilitación al sujeto de un feedback o de información relevante y significativa sobre la actividad bioeléctrica de alguno de sus órganos, partiendo de la primitiva

señal de entrada producida por el sujeto y que sucesivamente ha sido sometida a los distintos procesos u operaciones que acabamos de comentar.

Un primer aspecto importante a considerar en relación con esta fase es, como ya sugeríamos anteriormente, el tipo de feedback utilizado, o, lo que es lo mismo, el modo en que la información sobre la respuesta fisiológica es facilitada al sujeto. En relación con el tipo de feedback cabe hablar, en primer lugar, de la modalidad sensorial del mismo, junto a la forma particular de presentación dentro de una misma modalidad. Aunque es posible utilizar un mayor variedad de modalidades sensoriales, y de hecho se encuentran no pocos ejemplos al respecto, los tipos de feedback más frecuentemente utilizados son el visual y el auditivo. A su vez, dentro de cada modalidad sensorial caben distintas formas de presentación específica de la información. Así, por ejemplo, dentro de la modalidad visual el feedback puede consistir en una serie de dígitos o en el movimiento de una aguja en un dial o escala graduada, facilitando en ambos casos información cuantitativa sobre la respuesta que está siendo registrada; o, por el contrario, la información facilitada puede ser principalmente cualitativa, consistente, por ejemplo, en una serie de luces de colores que van iluminándose o apagándose sucesivamente a medida que progresa el nivel de respuesta del sujeto; o puede, incluso, consistir en la puesta en marcha de un proyector de cine o un monitor de vídeo que permita la visualización de una variedad de gráficos, anagramas o de una película cada vez que el sujeto logra controlar la respuesta que estamos interesados en modificar.

En cuanto a la modalidad auditiva, aunque también cabe una cierta variedad de formas, lo más frecuente es presentar el feedback como un tono cuya frecuencia e intensidad varían de acuerdo con las variaciones producidas en el nivel de la respuesta que está siendo registrada y sometida al proceso de biofeedback.

Otro importante aspecto digno de ser considerado en relación con esta fase de feedback es el de la cantidad de información facilitada al sujeto por medio del feedback, lo que nos remite a la distinción entre los tipos de feedback análogo y binario. Hablamos de feedback análogo o proporcional cuando el feedback facilitado al sujeto (un tono, por ejemplo) varía de forma continua a lo largo de toda la gama o amplitud de la respuesta que está siendo registrada. Es decir, cuando cada valor del estímulo de feedback se corresponde (o es análogo) a uno equivalente de la respuesta evaluada, existiendo una relación o razón clara y directa entre ambas escalas la del feedback y la de la respuesta. En el feedback binario, por el contrario, el estímulo de feedback sólo tiene dos estados (de ahí el nombre de binario), cuyo límite ha sido previamente establecido a un nivel criterio determinado, de modo que la única información facilitada al sujeto por el estímulo de feedback es sólo si su nivel de respuesta se encuentra por encima o por debajo del criterio establecido, sin facilitar información específica sobre la magnitud del cambio de la respuesta, por lo que, como se verá, proporciona mucha menos información que el feedback de tipo análogo. Así, por ejemplo, si estamos utilizando un tono como modalidad de feedback, un procedimiento binario facilitaría una misma intensidad de tono bajo como feedback hasta un cierto nivel de respuesta, cambiando la intensidad del tono sólo cuando la respuesta del sujeto sobrepase el nivel criterio establecido, manteniéndose entonces el mismo nivel de tono sea cual sea el nivel de respuesta alcanzado. Normalmente es preferido el feedback análogo o proporcional sobre el binario por la mayor información facilitada y por su también aparente mayor eficacia, aunque la utilización de uno u otro tipo de feedback dependerá, fundamentalmente, del tipo de respuesta utilizada y del tratamiento que se pretenda realizar.

Junto a estos dos tipos de feedback el análogo o proporcional y el binario cabe situar, como próximos a ellos, los dos tipos principales de procesamiento de la señal bioeléctrica utilizados y ya considerados en un apartado anterior: la integración y el umbral de respuesta, y que conllevan formas de feedback intermedias a los extremos análogo y binario, aproximándose el feedback de una respuesta integrada más al extremo análogo, mientras que el feedback relacionado con una señal procesada según un umbral de respuesta se asemejaría más a un feedback binario.

En la práctica, los distintos autores que trabajan e investigan sobre el biofeedback difieren, y en ocasiones considerablemente, acerca de la mayor o menor cantidad de información sobre la respuesta fisiológica facilitada a sus clientes y que consideran óptima para conseguir un buen control sobre la misma a través del procedimiento de biofeedback. Es decir, con frecuencia se discrepa sobre el grado de procesamiento o simplificación a que se considera necesario someter la información antes de facilitársela a los sujetos en forma de feedback, en base, principalmente, a la capacidad o el grado de comprensión atribuido al sujeto sobre el significado de la respuesta o actividad fisiológica reflejada por el feedback. En este sentido, las posiciones varían desde autores que apenas facilitan información a los sujetos sobre el significado de la señal de feedback, procesada y simplificada, pidiéndoles, simplemente, que traten de modificar la misma en el sentido deseado, hasta otros que proporcionan a sus sujetos señales bioeléctricas apenas procesadas y facilitan descripciones

detalladas sobre la naturaleza y el significado de las mismas. Quizás el cómputo global avale más este último modo de proceder de la facilitación de una mayor información a los sujetos, aunque es aventurado adelantar conclusiones globales al respecto, dependiendo más bien la posición a adoptar de una serie de variables, tales como el tipo y nivel de problema presentado por el sujeto, la clase de aparato y de respuesta biológica utilizada, así como de la amplitud de manipulaciones disponibles a que pueda ser sometida la misma.

Para muchos autores, feedback es en gran medida sinónimo de conocimiento de resultados, especialmente en el campo de las habilidades motoras, y en este sentido cobra una importancia especial todo lo referente al tipo y a la cantidad de información proporcionada al sujeto con objeto de facilitar el aprendizaje del control de la respuesta que se desea modificar. Con el mismo propósito, también se insiste en otra serie de propiedades que debería reunir la señal de feedback para hacer más fácil, igualmente, el aprendizaje de su control. Entre estas propiedades se encuentra la *rapidez*, la *consistencia* y la *precisión* (Olton y Noonberg, 1980). Efectivamente, cabe afirmar, en general, que cuanto más rápido sea el feedback facilitado, es decir, cuanta menor sea la demora entre la respuesta del sujeto y el feedback facilitado sobre la misma, mejor será el aprendizaje, quizá porque una menor demora permite una mejor identificación de las acciones que han dado lugar a la respuesta observada. De igual modo, la consistencia del feedback es otra propiedad del mismo que, sin lugar a dudas, facilita el aprendizaje del control de la respuesta. No se concibe cómo puede controlarse una respuesta de la que se obtiene una información o un feedback erróneo. Por último, también la precisión del feedback parece ser una característica importante en la facilitación del aprendizaje con estos procedimientos. La detección de pequeños cambios en la respuesta sobre los que proporcionar feedback al sujeto facilitan considerablemente el control de la misma, especialmente al principio del entrenamiento. Todas estas propiedades que comentamos expresan, en último término, el papel fundamental que en el biofeedback desempeñan los aparatos o instrumentos encargados de medir las respuestas fisiológicas, procesarlas y facilitar el feedback sobre las mismas. Sin el empleo de aparatos altamente especializados no sería posible el aprendizaje del control de muchas de las funciones biológicas modificadas por medio del biofeedback, principalmente porque la información que normalmente recibimos de estas funciones sin la ayuda de estos aparatos no es ni suficiente, ni rápida, ni consistente, ni precisa. Como expresan muy adecuadamente Olton y Noonberg (1980) una de las principales aportaciones del biofeedback ha consistido en tomar los conceptos de feedback y de sistemas de control, añadir a los mismos los avances tecnológicos de la ingeniería biomédica, y combinar todos ellos en procedimientos apropiados de tratamiento para enseñar a las personas a autocontrolarse, a través de los principios y procedimientos, adecuados de aprendizaje, añadiríamos nosotros, desarrollados y utilizados por la Psicología.

CARROBLES, J. A., GODOY, J. *Biofeedback. Principios y aplicaciones*. Barcelona: Martínez y Roca, 1988. Pág. 44 a 56.



## Anexo: Currículo oficial (\*)

---

### **Introducción**

La tecnología constituye un campo de actividad fruto de la influencia y fecundación mutua entre la ciencia y la técnica. Desde un punto de vista epistemológico, las diversas técnicas (saber hacer) son conjuntos de acciones sistemática e intencionalmente orientadas a la transformación material de las cosas con un fin práctico inmediato, en tanto que por ciencia se entiende el conjunto de acciones dirigidas al conocimiento de la naturaleza de las cosas. La tecnología (saber cómo y por qué se hace) constituye el resultado de una intersección entre la actividad investigadora, que proporciona conocimientos aplicables y criterios para mejorar los resultados de la intervención sobre un medio material, y la técnica, que aporta experiencia operativa acumulada y conocimientos empíricos procedentes de la tradición y el trabajo.

La industria de producción de bienes es un ámbito privilegiado de la actividad tecnológica. Las diversas actividades y productos industriales, desde el transporte a la producción y aprovechamiento de la energía, desde las comunicaciones y el tratamiento de información a las obras públicas, poseen características peculiares, fruto de lo específico de los materiales y componentes con los que operan, de los procedimientos utilizados, de sus productos y sus aplicaciones. Pero, a pesar de su gran variedad, poseen rasgos comunes. Comparten, en gran medida, las fuentes de conocimiento científico, utilizan procedimientos y criterios de actuación semejantes, aplican elementos funcionales comunes a las actividades y productos más diversos. Ello permite acotar los componentes disciplinares de una materia del bachillerato, la Tecnología, de raíz y finalidad netamente industriales: (1) el modo operatorio, de planificación y desarrollo de productos, que es común a todos los procesos tecnológicos; (2) el conocimiento de los medios, los materiales, las herramientas y procedimientos técnicos propios de la industria y (3) un conjunto extenso de elementos funcionales, de ingenios simples, con los que se componen conjuntos complejos regidos por leyes físicas conocidas, ya sean mecanismos, circuitos o sistemas compuestos.

Estos componentes configuran, en Tecnología I, una materia que extiende y sistematiza los elementos de cultura técnica adquiridos en la etapa anterior. Se amplían y ordenan los conocimientos sobre materiales y sus aplicaciones, las técnicas productivas, los elementos de máquinas y sistemas, se inicia el estudio de los sistemas automáticos y se profundiza en los aspectos sociales y medioambientales de la actividad técnica. Tecnología II posee un carácter más ingenieril, precursor de opciones formativas para la actividad profesional en la industria, que denota una preferencia por las aplicaciones prácticas. El papel central de la materia lo asume el estudio teórico y práctico de los circuitos y sistemas automáticos, complementado con un conocimiento de materiales y máquinas marcadamente aplicativo y procedimental.

---

(\*) Real Decreto 1.179/1992, de 2 de octubre, por el que se establece el currículo de Bachillerato («BOE» número 253, de 21 de octubre de 1992).

El proceso de diseño y desarrollo de productos técnicos se aborda, prolongando los contenidos similares de la etapa anterior, desde la perspectiva económica y social que le confiere el mercado, su referencia obligada. El conocimiento de los materiales, los modos de operar y las herramientas para cada operación, se enfoca ahora de un modo sistemático, mostrando relaciones comunes entre ellos, con independencia del producto o de la técnica en la que se aplican. Además, se tratan con mayor rigor científico que en la etapa precedente, para argumentar sus propiedades características, su configuración y las razones que aconsejan actuar de un modo determinado. En cuanto a los elementos que componen máquinas y sistemas complejos, reciben un tratamiento sistemático, clasificándolos por su función, con independencia de la máquina en la que han de operar y haciendo abstracción de la naturaleza del fluido que transportan. En Tecnología II se dedica un especial interés a la composición de sistemas automáticos.

El valor formativo de esta asignatura en el bachillerato deriva tanto de su papel en la trayectoria formativa del alumno, cuanto de su estructura y composición interna. La Tecnología constituye la prolongación del área homónima de la etapa Secundaria Obligatoria, profundizando en ella desde una perspectiva disciplinar. A la vez, proporciona conocimientos básicos para emprender el estudio de técnicas específicas y desarrollos tecnológicos en campos especializados de la actividad industrial. Vertebrada una de las modalidades del bachillerato, proporcionando un espacio de aplicaciones concretas para otras disciplinas, especialmente para las de carácter científico. Finalmente, y de acuerdo con la función formativa del bachillerato, conserva en sus objetivos y contenidos una preocupación patente por la formación de ciudadanos autónomos y con independencia de criterio, capaces de participar activa y críticamente en la vida colectiva.

### **Objetivos generales**

El desarrollo de esta materia ha de contribuir a que las alumnas y alumnos adquieran las siguientes capacidades:

1. Comprender el papel de la energía en los procesos tecnológicos, sus distintas transformaciones y aplicaciones y adoptar actitudes de ahorro y valoración de la eficiencia energética.
2. Comprender y explicar cómo se organizan y desarrollan procesos tecnológicos concretos, identificando y describiendo las técnicas y los factores económicos y sociales que concurren en cada caso.
3. Analizar de forma sistemática aparatos y productos de la actividad técnica para explicar su funcionamiento, utilización y forma de control y evaluar su calidad.
4. Valorar críticamente, aplicando los conocimientos adquiridos, las repercusiones de la actividad tecnológica en la vida cotidiana y la calidad de vida, manifestando y argumentando sus ideas y opiniones.
5. Expresar con precisión sus ideas y opiniones sobre procesos o productos tecnológicos concretos, utilizando vocabulario, símbolos y formas de expresión apropiadas.
6. Participar en la planificación y desarrollo de proyectos técnicos en equipo, aportando ideas y opiniones, responsabilizándose de tareas y cumpliendo sus compromisos.
7. Desarrollar autonomía y confianza para inspeccionar, manipular e intervenir en máquinas, sistemas y procesos técnicos y comprender su funcionamiento.

La materia de Tecnología II contribuirá a que los alumnos que la cursen progresen en la adquisición de estas capacidades.

## **Contenidos**

### **Materiales**

- Estructura interna y propiedades de los materiales. Técnicas de modificación de las propiedades. Oxidación y corrosión. Técnicas de protección. Tratamientos superficiales.
- Procedimientos de ensayo y medida de propiedades.
- Materiales reutilizables. Procedimientos de reciclaje. Importancia económica y social de la reutilización de materiales.
- Riesgos de la transformación, elaboración y desecho de materiales. Normas de precaución y seguridad en el manejo de materiales.

### **Principios de máquinas**

- Motores térmicos. Descripción de su funcionamiento. Motores alternativos y rotativos. Aplicaciones.
- Motores eléctricos. Principios generales de funcionamiento. Tipos y aplicaciones.
- Circuito frigorífico. Bomba de calor. Principios de funcionamiento. Elementos que los componen. Aplicaciones.
- Energía útil. Potencia de una máquina. Par motor en el eje. Pérdidas de energía en las máquinas. Rendimiento.

### **Sistemas automáticos**

- Elementos que componen un sistema de control: transductores y captadores de posición, proximidad, movimiento, velocidad, presión, temperatura e iluminación. Actuadores.
- Estructura de un sistema automático. Entrada, proceso, salida. Sistemas de lazo abierto. Sistemas realimentados de control. Comparadores.
- Montaje y experimentación de sencillos circuitos de control.

### **Circuitos neumáticos y oleohidráulicos**

- Circuitos neumáticos. Bombas y compresores de aire. Circuitos hidráulicos. Fluidos para circuitos oleohidráulicos. Conducción de fluidos. Caudal. Presión interior. Pérdidas. Técnicas de depuración y filtrado.
- Elementos de accionamiento. Elementos de regulación y control. Simbología y funcionamiento.
- Circuitos característicos de aplicación. Interpretación de esquemas. Montaje e instalación de circuitos.

### **Control y programación de sistemas automáticos**

- Control analógico de sistemas. Ejemplos prácticos.
- Circuitos lógicos combinacionales. Puertas y funciones lógicas. Procedimientos de simplificación de circuitos lógicos. Aplicación al control del funcionamiento de un dispositivo.

- Circuitos lógicos secuenciales. Reloj. Memoria. Registros. Diagrama de fases. Aplicación al control de un dispositivo de secuencia fija.
- Circuitos de control programado. Programación rígida y flexible. Programadores. El microprocesador. Microcontroladores. El autómatas programable. Aplicación al control programado de un mecanismo.

## ***Criterios de evaluación***

1. *Seleccionar materiales para una aplicación práctica determinada, considerando, junto a sus propiedades intrínsecas, factores técnicos, económicos y medioambientales.*

Se trata de comprobar si los alumnos saben aplicar los conceptos relativos a estructura interna y las técnicas de ensayo y medida de propiedades, para seleccionar un material idóneo para una aplicación real, conjugando con criterios de equilibrio los diversos factores que caracterizan dicha situación.

2. *Diseñar un procedimiento de prueba y medida de las características de una máquina o instalación, en condiciones nominales y de uso normal.*

Con este criterio se puede establecer si un alumno es capaz de identificar los parámetros principales del funcionamiento de un artefacto o instalación, en régimen normal, y comparar el comportamiento de dispositivos similares sometidos a pruebas metódicas para formarse una opinión propia sobre la calidad de un producto.

3. *Analizar la composición de una máquina o sistema automático de uso común, identificando los elementos de mando, control y potencia.*

Se trata de comprobar si los alumnos son capaces de identificar, en un aparato medianamente complejo, los elementos que desarrollan las funciones principales y, entre ellos, los responsables del control y, en su caso, la programación de su funcionamiento.

4. *Aplicar los recursos gráficos y verbales apropiados a la descripción de la composición y funcionamiento de una máquina, circuito o sistema tecnológico concreto.*

Con este criterio se quiere valorar en qué medida el alumno utiliza, no sólo un vocabulario adecuado, sino también los conocimientos adquiridos sobre simbología y representación normalizada de circuitos, representación esquemática de ideas, relaciones entre elementos y secuencias de efectos en un sistema.

5. *Montar y comprobar un circuito de control de un sistema automático a partir del plano o esquema de una aplicación característica.*

El alumno ha de ser capaz de interpretar los esquemas de conexiones de circuitos de control de tipo electromecánico, electrónico, neumático e hidráulico, seleccionar y conectar de forma adecuada los componentes y verificar su correcto funcionamiento.







CENTRO DE DESARROLLO CURRICULAR



DIRECCIÓN GENERAL de RENOVACIÓN PEDAGÓGICA

CENTRO de DESARROLLO CURRICULAR