

# ALDABA

*REVISTA DEL  
CENTRO ASOCIADO A  
LA UNED DE MELILLA*

Año 7º núm. 14 - 1989

# ALDABA

*REVISTA DEL  
CENTRO ASOCIADO A  
LA UNED DE MELILLA*

**Año 7º núm. 14 - 1989**

## **DIRECCION**

**José Megías Aznar**

## **CONSEJO DE REDACCION**

**Vicente Moga Romero — José Manuel Calzado Puertas — Teresa Rizo Gutiérrez —  
Celia García Marfil — Antonio Bravo Nieto — Paloma Moratinos Bernardi — Isabel  
Gutiérrez Román — Teresa Serrano Darder**

## **EDITA Y DISTRIBUYE**

**Servicio de Publicaciones del Centro UNED de Melilla  
Palacio Municipal. Apdo. 121. Teléfono 681080 y 683447**

**Imprime: COPISTERIA LA GIOCONDA  
Melchor Almagro, 16  
Depósito legal: 526/1983  
I.S.S.N.: 0213-7925  
GRANADA**

## ÍNDICE

	Pág.
<b>PRESENTACIÓN</b>	
<i>Joaquín Summers Gámez</i> .....	7
<b>INTELIGENCIA ARTIFICIAL: PASADO, PRESENTE Y FUTURO</b>	
<i>Sebastián Dormido y J. M. de la Cruz</i> .....	9
<b>IMPORTANCIA DE ESPAÑA EN LA CONSERVACIÓN DE LA NATU- RALEZA</b>	
<i>José Luis Tellería</i> .....	23
<b>IMPACTO DE LA BIOTECNOLOGÍA EN LA SOCIEDAD: PRESENTE Y FUTURO</b>	
<i>Manuel Espinosa</i> .....	31
<b>LA CIENCIA EN LA SOCIEDAD: INTELIGIBILIDAD E INFLUENCIA</b>	
<i>Joaquín Summers Gámez</i> .....	39

# Presentación

## Seminario “Ciencia y Sociedad”

Con mucha frecuencia la ciencia y la cultura parece que se ocupa de compartimentos estancos. Cuando una persona conoce a los protagonistas o a las figuras ilustres de la música, de la literatura, de la pintura, etc., en seguida, se le considera una persona culta. Casi siempre se excluye cualquier referencia al mundo científico, parece como si la ciencia no fuese un bien cultural. Es evidente que no compartimos esta idea, estamos plenamente convencidos de que, en la actualidad, no se puede entender el mundo de la cultura sin incluir a la ciencia, aunque para decirlo todo, también es cierto, que el lenguaje de la ciencia tiene unas particularidades y una especificidad que impide sea asequible a cualquier persona sin unos determinados conocimientos previos. No sucede lo mismo con la pintura o con la literatura, pues parece que todos estamos capacitados para emitir un juicio y decir si un cuadro es bonito o no, así como si la lectura de una determinada novela es agradable o no; otro problema es la validez y formalismo de este juicio. Por el contrario es difícil que cualquier ciudadano medio pueda dar una sencilla explicación sobre la teoría de la relatividad, sobre ADN, sobre los últimos conocimientos de la ingeniería genética, etc. En estos casos como en otros del mundo de la ciencia parece evidente, que no es adecuado un juicio sencillo y simple. Como se ha dicho la ciencia es única y su respuesta también lo es.

La ciencia nos proporciona un mejor conocimiento del entorno que nos rodea y, a su vez, supone un importante revulsivo para la sociedad, pues, en general, los grandes acontecimientos científicos han supuesto una importante repercusión en la sociedad, de esta manera al mismo tiempo que se contempla la evolución de la ciencia es necesario considerar su influencia en la sociedad y en la cultura de cada momento.

Aunque los conocimientos humanísticos son importantes, son insuficientes para poder entender y comprender la realidad actual. Es preciso unos especiales conocimientos científicos o si se prefiere una sensibilidad científica para entender el mundo del siglo XX. Precisamente aquí se encuentra el propósito inicial del Seminario “Ciencia y Sociedad”, organizado por el Centro Asociado de la UNED en Melilla, es decir, analizar la influencia que ejerce la ciencia en la sociedad y al mismo tiempo que se intenta desmitificar el aspecto inaccesible que tiene la ciencia para que forme parte de nuestra cultura.

En este seminario han participado los doctores Sebastián Dormido Bencomo (Catedrático de Ingeniería de Sistemas y Automática de la UNED), José L. Tellería Jorge (Profesor Titular de Biología Animal de la Universidad Complutense de Madrid), Manuel Espinosa (Investigador de Ingeniería Genética del C.S.I.C.) y José María Quintana González (Profesor de Investigación del Instituto de Astrofísica de Andalucía).

Un seminario de este tipo tiene ciertas limitaciones que imponen una selección en los aspectos a tratar así como en su profundidad, pero en ningún momento trae consigo una restricción en el rigor específico y seriedad en el tratamiento.

Esperamos que esta primera iniciativa que ha tenido el Centro Asociado de la UNED en Melilla pueda repetirse en años sucesivos dada la buena acogida que ha tenido.

Joaquín Summers Gámez  
*Profesor Titular de Física UNED*

# Inteligencia artificial: Pasado, presente y futuro

S. Dormido y J.M. de la Cruz

## 1. Introducción

Imaginemos que estamos en el futuro. Un estudiante está en la biblioteca de su colegio buscando información para un proyecto de investigación. Afortunadamente tiene al lado un terminal de computador, pero desgraciadamente nunca ha tenido tiempo de aprender a usarlo.

Con cierto enojo y desconfianza teclea en el terminal: “¿Tienes alguna información sobre la industrialización en el siglo XIX?”.

Para su alivio, aparecen en la pantalla unas palabras que dicen: “Por supuesto, ¿qué necesitas saber?”.

El estudiante murmura en voz alta “lo que necesito saber es como influyó la invención del telar de Jacquard en las tendencias automatizadoras posteriores”. Para su sorpresa el computador le responde de viva voz: “¿quieres esta información estructurada como un informe, o prefieres mantener una conversación interactiva?”.

El estudiante opta por mantener una conversación interactiva y el computador le dirige a través de una sesión de preguntas y respuestas, hasta que el estudiante decide que tiene toda la información que necesita. Por último, el estudiante le explica al computador para que necesita los datos y éste le da su consejo sobre la forma más provechosa de utilizar la información dada.

Volvamos al presente. Por supuesto, no existe en la actualidad ningún computador con la capacidad de la maravillosa máquina de la historia anterior. Sin embargo, las semillas para que eso se pueda realizar existen ya en los laboratorios de investigación, y algunas de las tecnologías involucradas están convirtiéndose en realidades comerciales.

Los científicos que están investigando el potencial de estas nuevas tecnologías, están trabajando en varios campos muy diferenciados, pero dichos campos a menudo se agrupan bajo un nombre común: *Inteligencia Artificial (I.A.)*.

Pero, *¿Qué es la Inteligencia Artificial?*: Resultaría fácil dar una explicación clara de la I.A. si se dispusiera de una definición concisa y aceptada de forma general. Desgraciadamente no existe acuerdo ni dentro del propio campo. No es inusual encontrar científicos que consideran que están trabajando en el campo de la I.A. y otros colegas suyos no lo crean así. Y a la inversa, existen científicos que trabajan en áreas que se consideran de forma “tradicional” como parte de la I.A., pero que ellos se

niegan a aplicar dicha etiqueta a su trabajo.

No obstante, puede resultar provechoso examinar algunas definiciones que se han sugerido para la I.A., ya que esto nos permitirá encontrar similitud entre ellas y captar la esencia de lo que es la I.A.

### **Definición 1**

*La I.A. es el estudio de como hacer computadores pare que realicen tareas, para las que hasta ahora, los hombres eran mejores*

*E. Reich. Artificial Intelligence*

Implícita en la definición está la idea de que los computadores pueden hacer cosas mejor que nosotros, lo que todos sabemos que es así.

Algunas de las tareas que las máquinas pueden hacer mejor que las personas son:

### **Cálculo numérico**

Si nos pidieran hacer una multiplicación complicada, por ejemplo 3.576 por 9.874, utilizaríamos una calculadora en lugar de hacer un cálculo mental.

### **Almacenamiento de la información**

El computador de un Banco puede contener los nombres y las direcciones de miles de personas, junto con un registro de sus transacciones financieras. Una persona no podría retener todos esos datos. El computador no solamente puede retenerlos, sino que puede evocarlos con solo darle una orden.

### **Operaciones repetitivas**

El computador del Banco hace el mismo tipo de operaciones miles de veces todos los días, sin cansarse, cosa más que probable que le ocurriría a una persona.

Las actividades que acabamos de enumerar son puramente mecánicas. Desde la revolución industrial la humanidad ha aceptado el hecho de que las máquinas pueden superar al hombre en actividades físicas puramente mecánicas. De forma similar, a partir de la realización del primer computador (últimos 40 años), hemos empezado a aceptar que las computadoras pueden superar al hombre en actividades *mentales de tipo mecánico*. Esta aceptación no daña nuestra autoestima, pues estamos seguros de que las personas podemos hacer muchas cosas mejor que los computadores.

¿Qué pueden hacer las personas mejor que las computadoras?

Las personas podemos ver nuestro entorno y procesar información sobre este; podemos entender y hacemos entender extrayendo significado de una serie de sonidos e imágenes. Utilizamos lo que se denomina *sentido común* para movernos por un mundo que parece a veces completamente ilógico. En definitiva, podemos decir que las personas sobrepasan a las computadoras en actividades que necesitan *inteligencia*.

Ahora bien, si las personas son más inteligentes que las computadoras, y según la definición anterior la I.A. trata que las computadoras superen a los hombres en las tareas en que éstos son mejores, entonces el objetivo de la I.A. es hacer a las computadoras más inteligentes. Esta es la base para una segunda definición de I.A.

## Definición 2

*La I.A. es la parte de la informática que trata del diseño de computadoras inteligentes, esto es, que exhiban las características que asociamos con la inteligencia en el comportamiento humano*

A. Barr, E. Feigenbaum. *The handbook of artificial intelligence*

La definición anterior caracteriza la inteligencia en el computador como una emulación del comportamiento inteligente de los humanos. Pero ¿qué es la inteligencia en los humanos? Podríamos pasarnos días y días intentando encontrar una definición sobre ésta sin encontrar algo convincente para todos. No obstante, todos tenemos una idea de que actos humanos son inteligentes, por ejemplo:

—La *percepción* de una determinada situación, nos permite *encontrar similitudes* con otras situaciones ya *vividas (aprendidas)* en el pasado, y *sacar conclusiones* que *dirijan* nuestras *acciones*.

“Está lloviendo. Cogeré el paraguas y me pondré ropa apropiada o cogeré un resfriado”.

—La capacidad de *comprender* mensajes ambiguos o contradictorios y de reconocer *la importancia relativa* de los elementos de una situación.

“A pesar de lo que dice Juan, creo que le molestó que no le llamáramos para jugar el partido”.

Una característica de las habilidades que hemos expuesto, es que las personas las realizamos sin ningún esfuerzo. Justamente estas actividades que desarrollamos de forma natural son las más difíciles de simular en un computador. Por el contrario, si necesitamos una gran concentración para realizar los pasos precisos para producir un determinado resultado, no puede resultar muy difícil programar dichos pasos en un computador. Así, los matemáticos pueden describir con precisión los pasos necesarios para multiplicar dos números, y los contables pueden describir con precisión los procedimientos de la contabilidad. Estos son dos ejemplos de actividades que son difíciles para mucha gente, pero debido a que pueden describirse con mucho detalle son fáciles para las computadoras. Pero, ¿cómo describimos el proceso de entender lo

que oímos? ¿Cómo coordinamos la serie de movimientos musculares necesarios para, por ejemplo, coger un balón?

Esto nos lleva a una tercera definición de la I.A.

### **Definición 3**

*La I.A. es el estudio de las facultades mentales mediante el uso de modelos computables*

*E. Charniak, D. McDermott. Introduction to A.I.*

En esta definición el término *facultades mentales* no se debe de entender con el significado que se le suele dar cuando hablamos de alguien muy inteligente, que suele ir asociado a creatividad, imaginación o recursos, si no a un intento de crear las facultades mentales “de la gente corriente”, como son la visión, el lenguaje y el movimiento. Esto puede hacer pensar que la I.A. es una parte de la psicología, y aunque hay muchos cambios de ideas entre ambos campos, la mayoría de los científicos que trabajan en la I.A. lo sienten como algo diferente. De una parte, la I.A. trabaja con programas que modelan el comportamiento, mientras que los psicólogos se sienten más a gusto con las confirmaciones de tipo experimental; pero fundamentalmente la I.A. trata del comportamiento general asociado a la inteligencia y no se preocupa de ninguna forma particular de producir los resultados, y en particular, los métodos que utiliza puede que no sean exactamente aquéllos que utilizan las personas.

## **2. Historia de la I.A.**

El objetivo último de la investigación en I.A., y del cual nos encontramos todavía muy lejos, es construir una persona, o más modestamente, un animal. Esta es una idea que viene arrastrando el hombre desde hace siglos. Nos podemos remontar a la Mitología Griega donde encontramos numerosos ejemplos.

Hephaestus, al parecer, esculpió estatuas humanas en su fragua, y Talos, una de sus creaciones, guardó y defendió a Creta.

Otro ejemplo es Pigmalión, el cual, desencantado con las mujeres humanas, construyó una mujer de márfil, Galatea, a la cual dio vida la diosa Afrodita.

Ya en la Europa Medieval, se atribuye al Papa Silvestre II la creación de una cabeza parlante que respondía “sí” o “no” a las preguntas que el Papa le hacía sobre el futuro.

También se atribuyó la creación por astrólogos árabes de una máquina que pensaba llamada la “zairja”, a la que respondió el mallorquín Raimundo Lulio con una adaptación cristiana.

A finales del siglo XVI se dice que el judío Checo Juda Ben Loew, esculpió un hombre de arcilla (José Golem) al que dio vida para que espantara a los gentiles de Praga.

Desgraciadamente, Golem se volvió muy agresivo y hubo que desmantelarlo.

Ya en nuestros días tenemos los ejemplos de HAL, la computadora de la obra de Arthur C. Clarke 2001. Este computador tenía las características que son actualmente objeto de investigación en la I.A. Hablaba y reconocía el lenguaje, y era capaz de tomar decisiones inteligentes. Había sido diseñado para ayudar a los humanos en el manejo de una nave espacial.

Tenemos también como ejemplos a los robots de la película La Guerra de las Galaxias, R2-D2 y C-3PO.

Las computadoras fueron utilizadas por primera vez por los americanos y los británicos durante la Segunda Guerra Mundial, para realizar tareas complejas de cálculos numéricos y de desciframiento de códigos, actividades que hasta entonces se había considerado que necesitaban de la inteligencia humana. Probablemente era inevitable que los científicos que trabajaban en las primeras computadoras se preguntaran cuán “inteligentes” podrían llegar a ser esas maravillas electrónicas.

Alan Turing fue un brillante matemático inglés, que trabajó durante la Segunda Guerra Mundial en el proyecto británico ULTRA, dirigido a descifrar el código alemán denominado ENIGMA. Como parte de su trabajo en dicho proyecto, Turing ayudó a diseñar una de las primeras computadoras que se han construido. En 1950 escribió un provocativo artículo titulado “Máquinas de cálculo e inteligencia” que le ha valido el ser considerado, casi de forma unánime, como el padre de la I.A. Turing comenzó su artículo con estas palabras “*Yo me propongo considerar la siguiente pregunta: ¿pueden pensar las máquinas?*”. En el artículo se propone una prueba en forma de juego para dilucidar la respuesta, y que hoy todo el mundo conoce como Test de Turing. El juego trataría de ver si en una conversación entre un hombre y una máquina se puede determinar quien es uno y quien el otro. Si el computador puede hacernos creer que se trata de un humano, algunos consideran que se podría afirmar que es inteligente.

Pero no era Turing el único que se ocupaba de estos temas; en ese mismo año Claude Shannon escribió un influyente artículo en la revista Scientific American, en el cual discutía por primera vez la posibilidad de utilizar un computador para jugar al ajedrez. Sin embargo, se da la fecha de 1956 como la del inicio de la I.A. tal como es conocida hoy en día. En ese año fue cuando tuvo lugar la denominada *Conferencia de Dartmouth*. La conferencia fue organizada por un joven profesor ayudante de matemáticas de la Universidad de Dartmouth, de nombre John McCarthy, con la ayuda de su amigo del M.I.T., Marvin Minsky. El objetivo que se proponían era “explorar la conjetura de que cualquier aspecto del aprendizaje o cualquier otro aspecto de la inteligencia puede ser, en principio, descrita de forma tan precisa que se puede hacer que una máquina lo simule”. El nombre de I.A., sugerido por McCarthy para designar a la nueva ciencia, quedó asociado firmemente con el nuevo área de investigación.

La conferencia es recordada fundamentalmente no por sus logros, sino porque en ella se encontraron por primera vez los cuatro hombres que serían los líderes de la I.A.

en los EE.UU. durante los siguientes veinte años. Estos hombres fueron los ya nombrados McCarthy y Minsky, mas Allen Newell y Herbert Simon. Estos dos últimos eran los más avanzados de todos los participantes, pues se presentaron en la conferencia con un programa de I.A. que funcionaba: el "Logic Theorist". El programa fue diseñado para probar teoremas del libro "Principia Mathematica" de B. Russell y A.N. Whitehead. Este ha sido posiblemente el primer programa que utilizó razonamiento heurístico.

Estos no fueron los únicos asistentes a la reunión pero si los que más influencia han tenido posteriormente. Minsky estableció un grupo de investigación en el M.I.T.; McCarthy uno en Stanford y Newell y Simon otro en la Universidad Carnegie-Mellon. Los tres centros más importantes de la I.A. en los EE.UU.

En los primeros años de la I.A., período que abarcaría hasta aproximadamente mediados de los años sesenta, se creía que unas pocas leyes de razonamiento junto con poderosas computadoras producirían máquinas con un comportamiento que imitaría la inteligencia humana. La experiencia demostró que con la limitada potencia de las estrategias para la solución de los problemas de propósito general era muy complicado resolver problemas complejos. Por ello, muchos investigadores comenzaron a trabajar en problemas de aplicación muy concretos. Algunos de estos subcampos son: visión, comprensión del lenguaje natural, reconocimiento del lenguaje hablado, robótica, demostración de teoremas, programación automática, aprendizaje y sistemas expertos.

### 3. Visión

Es una de las áreas más importantes de investigación de la I.A. Su objetivo es poder fijar cámaras de televisión a las computadoras de modo que estas puedan "ver" su entorno, esto es que les permita reconocer formas.

De los experimentos realizados en este sentido, se ha aprendido que para un procesamiento útil de datos de entrada complejos se requiere "comprensión", lo que a su vez requiere un amplio conocimiento básico de las cosas que se perciben. El proceso de percepción de una escena visual requiere que se realice un gran número de operaciones sobre la información recibida. En primer lugar la escena se codifica mediante sensores y se representa como una matriz de puntos cada uno de los cuales representa un valor de intensidad. Estos valores se procesan por detectores que buscan componentes primitivas del cuadro, tales como segmentos lineales, curvas, esquinas, etc. Posteriormente se tratan para inferir información acerca del carácter tridimensional de la escena en términos de superficies y sombras. El objetivo último de estas operaciones es representar la escena por un modelo apropiado. Este modelo podría consistir en una descripción de alto nivel como: "una manzana encima de una mesa". Este proceso es muy complicado, ya que pueden existir una enorme cantidad de descripciones en las que el sistema puede estar interesado. Normalmente se utiliza una técnica denominada "Visión Basada en Modelos": el computador utiliza descripcio-

nes de las características de un objeto para encontrar dicho objeto.

En la actualidad, la visión en los computadores se está utilizando con fines militares: navegación e identificación de objetivos. También se utiliza: para dotar de visión a robots con el fin de que puedan realizar funciones como manejo de objetos e inspección de piezas, para lectura de textos impresos, para monitorización de información recogida por sensores tales como sismógrafos, y para generación de mapas a partir de imágenes aéreas o de satélites.

#### **4. Comprensión del lenguaje natural**

El objetivo de este área de la I.A. es hacer que las computadoras puedan comprender y producir lenguaje natural escrito.

De ambos aspectos, comprensión y producción, la mayor parte de la investigación se ha realizado en la comprensión, ya que la tarea fundamental debe de ser que el ordenador nos comprenda para poder hacer lo que le ordenamos.

El proceso de comunicación de las personas por el lenguaje es extremadamente complejo y todavía muy poco conocido. Ha sido muy difícil desarrollar sistemas capaces de generar y comprender lenguaje natural, debido fundamentalmente a cuatro características de éste: ambigüedad, imprecisión, inexactitud e incompletitud. Pensemos en estos ejemplos:

—La madre pegó a la niña porque estaba histérica.

—Los dinosaurios desaparecieron de la tierra hace mucho tiempo.

—He estado esperando al autobús mucho tiempo.

¿Quién estaba histérica, la madre o la niña? ¿Cuánto es mucho tiempo? Obviamente no es lo mismo para la tercera frase que para la segunda.

A pesar de estos problemas los humanos logramos comprenderlo porque tenemos unas estructuras mentales muy similares que nos permiten situarnos en un contexto común. A veces la comprensión se logra por familiaridad con una situación, o bien por que “lo más probable” es que fuera como pensamos.

Se han desarrollado algunos programas que permiten utilizar lenguaje natural en contextos muy reducidos, por ejemplo los programas:

INTELLECT (1979, AI Corp.) permite obtener información a partir de un inglés bastante informal.

LUNAR (1972, BBN) procesa lenguaje natural para extraer información de una base de datos para ayudar a los geólogos en el estudio de rocas lunares.

#### **5. Reconocimiento del lenguaje hablado**

El objetivo es que el computador pueda reconocer las palabras que pronunciamos. Una vez conseguido esto, el proceso sería análogo al seguido para la comprensión del lenguaje natural. Los problemas surgen debido a que: dos personas no poseen exactamente la misma señal cuando dicen una misma palabra; una misma persona al

decir dos veces la misma palabra puede variar su pronunciación, contexto o circunstancias. Resulta relativamente fácil comprender la voz de una persona o de muchas personas en un vocabulario reducido, pero es una tarea harto complicada reconocer una palabra de cualquier persona dentro de un contexto.

Uno de los logros más importantes ha sido el conseguido con el programa HEARSAY-II (1980, Carnegie-Mellon) el cual comprende discursos de un vocabulario de más de mil palabras.

## 6. Robótica

Es una de las ramas de la I.A. más avanzadas en cuanto a implantación en aplicaciones para resolver problemas reales. Existen robots que se denominan inteligentes y otros que no: Estos últimos suelen ser programados para realizar siempre la misma función. Los robots inteligentes llevan sensores que les permiten “comprender su entorno” y realizar acciones apropiadas dependiendo de la situación externa. Los tipos de sensores más utilizados son: 1) *de contacto*, que responden a información táctil, como fuerzas y torsiones. Un sensor de contacto puede evitar que un robot inserte un tornillo que no está bien alineado. 2) *de no contacto*, pueden detectar objetos con los cuales no tienen contacto físico. El método primario es el de la visión. La aplicación de la visión a los robots industriales es muy útil, ya que normalmente tienen que reconocer un número muy limitado de objetos diferentes.

Algunos robots inteligentes actuales son:

CONSIGHT (General Motors). Mueve objetos de una cinta transportadora a distintos lugares.

KEYSIGHT (General Motors). Inspecciona automóviles para encontrar defectos de montaje.

MIC (Machin Intelligence Corp.). Reconoce partes específicas y se utiliza para inspección y manipulación.

## 7. Demostración de teoremas

Encontrar una demostración para un teorema matemático que se conjetura, se puede considerar como una tarea intelectual. No solo se requiere la habilidad para realizar deducciones a partir de hipótesis, sino que además se necesita cierta intuición para adivinar que lemas se deben de probar con anterioridad para que ayuden a demostrar el teorema principal. Se han construido algunos programas para demostración de teoremas que poseen en cierto grado, si bien muy limitado, la habilidad necesaria para realizar la demostración de teoremas.

El estudio de la demostración de teoremas ha tenido una gran significación en el desarrollo de métodos para la I.A. Por ejemplo, la formalización del proceso deductivo utilizando la lógica, ha ayudado a comprender más claramente algunos componentes del razonamiento. muchas tareas como el diagnóstico médico y la

extracción de información de unos datos, se pueden formular como problemas de demostración de teoremas. De ahí la importancia que este área tiene en la I.A.

## 8. Programación automática

La tarea de escribir un programa de computador está relacionada con las áreas de la robótica y de la demostración de teoremas. Mucha de la investigación básica que se realiza en estos campos está solapada.

De alguna manera los compiladores actuales de las computadoras realizan una programación automática. Aceptan como entrada unas especificaciones en código fuente que indica lo que debe de realizar el programa, y escriben un programa en código objeto (sucesión de unos y ceros) que realiza dicha tarea. Lo que se entiende por programación automática es un "super compilador" o un programa que admita como entrada una descripción de muy alto nivel de la tarea que se desea realizar y que la realice. La descripción puede ser por ejemplo en castellano, lo que requeriría un diálogo posterior entre el computador y el usuario para resolver las posibles ambigüedades.

## 9. Aprendizaje

Su objetivo es producir máquinas que puedan acumular conocimiento observando ejemplos. El primer programa que posiblemente se ha escrito, capaz de aprender de sus fallos, es el denominado Jugador de Damas de Samuel, escrito por Arthur Samuel (1961), uno de los asistentes a la conferencia de Dartmouth.

Una idea que suele tener mucha gente es que casi todos los actos de los seres humanos obedecen a algo aprendido. De acuerdo con esta idea, nacemos sabiendo muy poco o casi nada, y adquirimos casi todo por medio del aprendizaje. No obstante, la mayoría de los científicos de la I.A. piensan que esta idea ha sido enterrada por las investigaciones realizadas en este campo, que revelan que para que un organismo aprenda algo debe de saber mucho. *El aprendizaje comienza con un conocimiento organizado, que crece y se transforma en algo mejor organizado.* Sin una noción de que se debe de aprender no se consigue aprender nada.

## 10. Sistemas expertos

De todas las áreas de la I.A. aquella que ha obtenido un mayor número de aplicaciones exitosas y de mayor significación industrial inmediata ha sido la de los sistemas expertos.

Como hemos visto, el conocimiento tiene un papel fundamental dentro de todas las áreas de la I.A. A mediados de los años sesenta, algunos investigadores que se dieron cuenta de este hecho se dedicaron al desarrollo de teorías de representación del conocimiento y de sistemas asociados de propósito general. A los pocos años se vio

que el conocimiento es un objetivo demasiado amplio y diverso. Las fuerzas para resolver problemas basados en el conocimiento en general eran prematuras. No obstante, se comprobó que algunas aproximaciones a la representación del conocimiento eran suficientes para los expertos que las usaban, surgiendo así la idea del "conocimiento experto" como llave para las realizaciones expertas.

La mayoría de los sistemas expertos utilizan como representación del conocimiento un gran número de reglas sencillas y utilizan reglas deductivas para realizar inferencias o extraer conclusiones. Por ejemplo:

## Conocimiento

- Si la inflación es alta los intereses de préstamos son altos.
- Si los intereses de préstamos son altos los precios de las casas son altos.

## Hecho

La inflación es alta.

## Inferencia

Los precios de las casas son altos.

Esta forma de combinación de reglas parece bastante similar a la forma en que pensamos y tomamos decisiones. Si tenemos un computador en el que podemos expresar nuestro conocimiento sobre alguna materia, en forma de reglas, y utilizamos un computador para combinar las reglas, realizaríamos deducciones o inferencias..

El primer sistema experto construido es el conocido como DENDRAL. Fue realizado en la Universidad de Stanford en 1972. El proyecto comenzó gracias a la petición que en 1960 hizo la NASA a dicha Universidad para que construyera un programa que debía de ir a bordo de una nave con destino a Marte, para que analizara el suelo de este planeta. El programa analiza los datos de experimento químicos para inferir las posibles estructuras del compuesto. El programa sobrepasa a cualquier humano en dicha tarea, y es utilizado por miles de químicos en sus estudios.

Otros sistemas expertos interesantes son:

—MYCIN (1976, Stanford). Se utiliza para diagnosticar enfermedades infecciosas.

—PROSPECTOR (1979, SRI Intern.). Desarrollado para descubrir depósitos de minerales. Predijo la localización de un depósito de molibdeno enterrado a gran profundidad, depósito cuyo valor se estima en más de 100 millones de dólares.

—CADUCEUS (1979, Carnegie-Mellon). Posee mayor conocimiento sobre medicina interna que cualquier humano.

—MACSYMA (1977, M.I.T.). Diseñado para realizar cálculo diferencial e integral de forma simbólica. Sobrepasa a cualquier humano, siendo utilizado diaria-

mente por matemáticos y físicos de todo el mundo. Tiene incorporado cientos de reglas suministradas por expertos en matemática aplicada. Cada regla expresa una forma de transformar una expresión en otra equivalente. La solución a un problema requiere encontrar una cadena de reglas que transforma la expresión original en una simplificada de la forma adecuada.

## **11. El futuro de la I.A.**

Aunque es imposible predecir el futuro de cualquier área con completa fiabilidad, el status actual permite prever importantes progresos en cada uno de los campos que se han presentado. Para lograr avances significativos en estas áreas se están realizando grandes inversiones en los EE.UU., Japón y Europa Occidental. Veamos algunos de estos esfuerzos.

### **11.1. Avances en la tecnología de las computadoras**

Los avances en la I.A. han estado limitados siempre por la tecnología de las computadoras existentes. Los programas de I.A. requieren normalmente mucha más potencia de cálculo que otros programas. Algunas teorías sobre I.A. no se han implementado todavía debido a que no existen computadoras lo bastante poderosas. Esto hace que se esté dedicando un gran esfuerzo a aumentar la potencia de las nuevas computadoras. La mayoría de la investigación conducente a lograr este objetivo se dirige al desarrollo de nuevos tipos de arquitectura de computadores y al desarrollo de nuevas técnicas de diseño de circuitos integrados, para lograr mayor capacidad y velocidades. Por ejemplo, el proyecto japonés de la quinta generación espera desarrollar computadores con memorias de un billón de caracteres y velocidades de mil millones de inferencias por segundo.

### **11.2. Programa de cálculo estratégico (SCP)**

En 1983 un organismo para el desarrollo de proyectos de investigación avanzada del ministerio de defensa de los EE.UU., conocido por las siglas DARPA, anunció uno de los proyectos de investigación más ambiciosos que se han desarrollado jamás, el denominado *Programa de Cálculo Estratégico (SCP)*. Este programa, que comenzó en 1984, contiene proyectos en prácticamente todas las áreas de la I.A. que hemos presentado: lenguaje natural, visión, reconocimiento del lenguaje, sistemas expertos, programación automática, así como en el desarrollo de nuevas tecnologías VLSI y de arquitectura de computadores.

El programa va dirigido fundamentalmente a tres aplicaciones militares:

—Desarrollo de vehículos autónomos capaces de operar sin ayuda humana, para evitar de esta forma poner en peligro vidas humanas (propias, por supuesto) en ciertas situaciones militares. Ejemplos de estos sistemas autónomos serían misiles, vehículos

con capacidad de navegación limitada y robots. Los sistemas incorporarían visión por computador y sistemas expertos.

—Máquinas copiloto.

Debido a que los aviones militares son cada vez más complejos, el proyecto pretende liberar al piloto de muchas funciones. Utilizando reconocimiento del lenguaje y tecnología de sistemas expertos, el piloto podrá delegar muchas de sus tareas al copiloto. En realidad, el copiloto puede llegar a desautorizar al piloto si considera que el piloto realiza ciertas operaciones que no son las apropiadas.

—Sistema de dirección de batallas.

La dirección de tareas o empresas de grandes dimensiones se caracterizan porque las decisiones tienen que tomarse con mucha incertidumbre en la información. Si la tarea es una batalla de grandes dimensiones, la toma de una decisión incorrecta puede resultar devastadora. Un sistema inteligente de dirección de batallas asistiría a los militares en la toma de decisiones en el transcurso de una guerra. El sistema, según prevén los expertos de DARPA, utilizaría sistemas expertos, reconocimiento del habla y procesamiento del lenguaje natural para asistir en todas las fases de las tomas de decisión.

Los objetivos del programa SCP son, por supuesto, militares, pero como siempre sucede, de ellos se deducirán importantes aplicaciones en otros campos.

### 11.3. El proyecto japonés de la quinta generación

Este proyecto, que comenzó en 1982 con una duración prevista de diez años, tiene como foco central el desarrollado de una "quinta generación" de computadores diseñados de forma específica para aplicaciones de I.A. Los japoneses han dividido el proyecto en las siguientes partes:

—*Acceso a Datos*

Los programas de I.A. requieren grandes cantidades de datos. La habilidad para poder extraer información de los datos es tan importante como la de poder almacenarla. El proyecto de la quinta generación ha desarrollado ya un prototipo de computador denominado "*Máquina de Base de Datos Relacional*", que se ha diseñado de forma específica para facilitar el almacenamiento y extracción de información.

—*Deducción*

El proyecto está desarrollando un prototipo de computador conocido como "*La Máquina de Deducción Secuencial*" para posibilitar deducciones en lenguaje PROLOG.

El denominado generador de inferencias, es un componente esencial de un sistema experto. El computador sirve para escribir programas para otras partes del proyecto.

—*Facilidad de uso*

El proyecto incluye investigación en otras áreas de la I.A. que faciliten el manejo de los computadores, tales como: visión por computador, reconocimiento del lenguaje hablado y escrito, y procesamiento del lenguaje natural.

—*Programación automática*

Que permitirá acelerar las fases de programación en todas las fases del proyecto.

Aunque muchos dudas de que el proyecto consiga ser un éxito, no cabe duda de que aún sin lograr todos los objetivos propuestos, Japón puede convertirse en el líder indiscutible en el dominio de la información o del conocimiento; elemento que se considera fundamental para la era pos-industrial que se aproxima. Además, algunos piensan (incluido los japoneses, por supuesto) que el grado de conocimiento que el proyecto de la quinta generación aportará al diseño y manufacturación de productos, hará que el Japón domine el mercado mundial de productos convencionales.

Hay también otros esfuerzos, como el consorcio de empresas americanas de alta tecnología conocido como MCC (Microelectronics and Computer Technology Corporation) que agrupa a cerca de 30 de las más importantes empresas americanas de alta tecnología, y el proyecto europeo EUREKA. Todos estos esfuerzos puede llevarnos, en palabras de un investigador en I.A. a la “*consecución de logros todavía no soñados*”.

# Importancia de España en la conservación de la naturaleza europea

*José Luis Telleria*

## Introducción

La conservación de la naturaleza ha dejado de ser un tema de preocupación exclusivo de ciertos ambientes científicos para convertirse en una inquietud asumida por un amplio espectro de ciudadanos. La constatación cotidiana del deterioro ambiental (contaminación, destrucción de hábitats, extinción de especies, etc.) y de sus implicaciones sanitarias y/o económicas, junto con una creciente permeabilidad de la información disponible sobre estos aspectos, ha dado lugar a una mayor sensibilidad social hacia este tipo de problemas.

La destrucción indiscriminada de la diversidad biológica de la Tierra (extinción de especies) es, tal vez, la consecuencia más dramática de este proceso. Se calcula, por ejemplo, que la tasa de extinción de las especies animales y vegetales se aproxima hoy a la de hace 65 millones de años (P. Ehrlich en Lewin 1983) cuando, como consecuencia de drásticos cambios ambientales de origen aún no bien conocido (erupciones volcánicas, impacto de meteoritos, etc.), hubo una extinción en masa de multitud de formas vivas (entre ellas, los populares dinosaurios). Este proceso de pérdida de diversidad biológica es especialmente grave si se considera su carácter irreversible (las especies son irrepetibles) y los peligros implícitos al despilfarro de un potencial biológico apenas conocido y que bien pudiera contribuir a una solución inteligente de nuestros problemas medioambientales (Ehrlich y Ehrlich 1981).

La entrada de España en la Comunidad Económica Europea ha implicado una mejora de la cobertura legislativa concerniente a la conservación de estos recursos (convenios de Washington, Bonn, Berna y Directiva Europea para la Conservación de las Aves Silvestres; ICONA 1986), aunque también plantea incertidumbres sobre el futuro de su riqueza biológica ante los previsiblemente drásticos cambios en sus estructuras productivas (Baldock y Long 1987).

Por ello, puede ser útil realizar un análisis de la contribución española al patrimonio natural europeo con el objeto de apuntar las potenciales modificaciones asociadas a los cambios ambientales derivados de nuestro ingreso en la CEE.

Abordaré este aspecto tomando a la fauna de vertebrados terrestres como ejemplo representativo de la riqueza biológica española. Las razones de esta selección son sencillas: la supervivencia de los vertebrados silvestres exige la conservación de grandes superficies de aquellos hábitats que los alberga y de los sistemas de explotación capaces de tolerarlos; en consecuencia, la diversidad faunística de este

grupo implica la existencia de una diversidad ambiental que también beneficia la conservación de muchas otras formas de vida más discretas y abundantes. Desde este punto de vista científico puede asumirse, en resumen, que la situación de los vertebrados de un país es un índice excelente del nivel de conservación de su diversidad biológica (por ej. Soulé 1986).

### **La diversidad faunística española: sus causas**

En la tabla 1 se expone el número de especies de vertebrados terrestres que crían en España y en el conjunto de Europa. Como puede verse, España alberga poblaciones de la mitad de las especies europeas pese a que su superficie apenas supone el 5% de este continente. Esta importante contribución a la riqueza faunística europea es el resultado de la acción combinada de una serie de condiciones ambientales, históricos y socioeconómicos que comentaremos brevemente.

#### *Condiciones ambientales*

Las características bioclimáticas de la Península Ibérica, al igual que las de las penínsulas Balcánica e Itálica, son más diversas que las de buena parte de los países europeos como consecuencia de la combinación de los dos principales tipos de climas que concurren en este continente: el mediterráneo, caracterizado por las fuertes sequías estivales, y el atlántico o eurosiberiano, de rasgos mucho más húmedos (Rivas Martínez 1983). Cada uno de estos climas determina la aparición de una vegetación adaptada a sus peculiares circunstancias (precipitaciones, temperaturas ...) que, a su vez, condiciona los rasgos de las comunidades animales que alberga. Por ello, la fauna de la franja cantábrica española, una región de características ambientales eurosiberianas, es similar a la de Europa Central, mientras que la de los tramos más meridionales presenta rasgos típicamente mediterráneos. Esta alternancia climática propicia, en resumidas cuentas, una sucesión biológica que enriquece la diversidad faunística del entorno ibérico.

#### *Condicionantes históricos*

Las condiciones climatológicas actuales difieren de las que prevalecerían en la Península durante las glaciaciones pleistocenas. hace unos 18.000 años, gran parte de Europa Septentrional estaba cubierta por hielo y nieve y sólo en latitudes más meridionales crecían bosques similares a la taiga de coníferas que hoy ocupa Escandinavia o a los bosques caducifolios de Centroeuropa (ver Moreu 1972). Gracias a su situación meridional, Iberia, junto con el resto de las penínsulas mediterráneas, fue uno de esos lugares afortunados donde pudieron refugiarse comunidades de plantas (taiga en la mitad norte y bosques caducifolios en la sur) y animales desplazados de latitudes nortefías. Se convirtieron así en reservorios de diversidad

biológica a partir de los cuales, y tras la retirada de las glaciaciones, muchas especies recolonizaron Europa. Este hecho ha tenido una importancia relevante en la configuración de la diversidad faunística actual de la Península que hoy cuenta con muchas especies de origen terciario que sobrevivieron al efecto arrasador de los fríos glaciares.

Pero hay, además, otra consecuencia importante de las glaciaciones ya que la retirada de las condiciones climáticas que hoy dominan en el norte de Europa en favor de las mediterráneas no fue total al quedar retazos de estos climas en las numerosas montañas de la región mediterránea ibérica. Las montañas, a lo largo de sus gradientes altitudinales, propician la disminución de la temperatura que, al facilitar la condensación del vapor de agua, da lugar a un incremento local de las precipitaciones. Ello implica que las montañas mediterráneas son sectores más fríos y húmedos que su entorno circundante, asimilándose así a las condiciones ambientales que imperan en latitudes más septentrionales. Este hecho propició que, al avanzar la xericidad ambiental mediterráneo, con su flora y fauna asociada, quedasen acantonadas en las montañas ibéricas muchas especies de plantas y animales periglaciares en retirada hacia el norte. Por eso, las montañas ibéricas cuentan hoy con poblaciones de vertebrados típicos del centro y norte de Europa, incapaces de sobrevivir en el entorno mediterráneo circundante. Muchas de estas poblaciones, además, han evolucionado para adaptarse a las peculiares condiciones de cada macizo dando lugar a nuevas especies y subespecies que revalorizan, aún más, este papel diversificador de las montañas mediterráneas (ver Tellería y Sáez-Royuela 1986).

### *Condicionantes socioeconómicos*

Pese a la larga tradición productiva de la Península Ibérica y a los impactos que desde antiguo ha sufrido su entorno, se ha conservado bien la diversidad de su patrimonio biológico. Esto se ha debido a la propia dureza ambiental de muchos sectores peninsulares (las montañas), sólo adecuados para una explotación ganadera extensiva y estacional (trashumancia) donde las modificaciones humanas, al margen de la deforestación parcial, han sido relativamente limitadas. Estas montañas han permitido llegar hasta nuestros días a muchos grandes mamíferos, aniquilados de los sectores más accesibles y humanizados (por ejemplo, osos, lobos, jabalíes, ciervos...). En aquellos países europeos con climatología más bonancible y/o terrenos menos abruptos, la intensificación agrícola y la presión demográfica extinguieron hace siglos a muchas de estas especies. Por otro lado, el desdoblamiento del medio rural experimentado por España a partir de la década de los 60 ha permitido la revalorización de las áreas más abruptas y montañosas como refugios de estas grandes especies que, en ciertos casos, han aumentado hasta cotas desconocidas (por ej. Tellería y Sáez-Royuela 1984).

Los sectores más agrícolas de España, profundamente modificados desde siglos, tampoco han experimentado un proceso de intensificación agrícola similar al sufrido por los países centroeuropeos, especialmente en lo concerniente a las fuertes inversio-

nes en adecuación del terreno, maquinarias, fertilizantes e insecticidas con el consiguiente impacto negativo sobre la fauna (por ej. Molenaar 1983). Aunque el campo español se ha modernizado notablemente desde los años 60, adquiriendo niveles europeos en ciertas regiones y sectores (concentración parcelaria, mecanización, etc.), siguen quedando amplias zonas donde las actividades agrícolas son compatibles con el mantenimiento de un entorno natural biológicamente diversificado (pastizales y campifias nortefias y perimontanas, ciertas estepas cerealistas, etc.). Merecen especial mención, por su extensión y significado conservacionista, aquellos cultivos tradicionales que, como las dehesas de encinas y alcornoques del suroeste o los olivares, se basan en la explotación de árboles mediterráneos, perfectamente adaptados a las circunstancias de esta región y a los que, recíprocamente, se adapta bien la fauna autóctona.

### **Importancia de España en la conservación de la fauna europea**

En la tabla 1 se realiza una valoración del número de especies de vertebrados terrestres amenazados en Europa, así como del número de ellos que alberga España (según Smith y Wisngaarden 1976, Honegger 1978 y Parslow y Everett 1981). También en este caso, y por las mismas razones que se comentaron en el apartado anterior, España desempeña un papel relevante en el contexto de la protección de este patrimonio europeo.

Esta importancia aumenta, además, si se contempla el papel que desempeña desde el punto de vista de la conservación de la fauna migradora (aves, especialmente), un recurso que requiere una gestión coordinada por parte de todos los países europeos. Muchas de las especies de aves que nidifican en Europa, optan por desplazarse hasta el África transahariana llegado el invierno ante la imposibilidad de alimentarse por la persistencia del hielo y nieve en los sectores más nortefios. Buena parte de las restantes especies desarrollan movimientos migratorios o nómádcos dentro de la propia Europa que terminan por concentrarlas en aquellos sectores más adecuados para su supervivencia invernal. Dentro de este contexto, la Península Ibérica ocupa una posición privilegiada como área de invernada de muchas especies de aves. Este hecho es consecuencia de su benignidad climática invernal y de las características de la estacionalidad productiva de la región Mediterránea. Como Mooney y Kummerow (1981) han revisado, la llegada de las lluvias otoñales pone fin a la incidencia negativa de la sequía estival (factor limitante de la productividad primaria mediterránea y de la comentada distribución de muchas especies animales y vegetales de matiz nortefio) permitiendo el rebrote de la vegetación y el anegado de charcas y lagunas. Durante el invierno tiene lugar, además, una abundante producción de frutos de muchos árboles (alcornoques, encinas, etc.) y arbustos (lentiscos, enebros, acebuches ...) capaces de mantener ingentes poblaciones de especies de aves invernantes (unos 260 millones de aves; ver Tellería 1988). Incluso la propia fenología de los cultivos mediterráneos contribuye a favorecer la invernada de muchas especies: en otoño se labran y siembran

la mayoría de los cultivos de cereales, cuyas semillas arvenses son un importante recurso alimenticio para diversas especies invernantes, y comienza la fructificación de los olivares y dehesas que albergan ingentes cantidades de aves insectívoras y frugívoras durante dicho período. En consecuencia, el ciclo productivo de la región mediterránea es complementario del de la Europa Central y Nórdica, permitiendo así la supervivencia de una porción importante de las especies de aves de dichos sectores. Si tenemos en cuenta, además, que la Península Ibérica cuenta con la mayor superficie mediterránea de Europa y Norte de África, parece evidente su responsabilidad en la conservación de este patrimonio internacional (ver Tellería 1988).

### **Perspectivas futuras**

Todo lo comentado hasta aquí apoya la tesis del importante significado de España en la conservación de la naturaleza europea. Igualmente, se ha apuntado que, si bien esta relevancia tiene su origen en las peculiaridades ambientales y paleohistóricas de la Península, ha conseguido llegar hasta nuestros días gracias al concurso de una serie de usos tradicionales del medio. La ganadería y agricultura autoctonas, responsables del mantenimiento de los mejores enclaves naturales de España, han sobrevivido gracias al aislamiento autárquico en que se ha desarrollado buena parte de la economía de nuestro país durante las últimas décadas. Sin embargo, es previsible que la entrada en la CEE, con la supresión definitiva de muchas barreras proteccionistas, conduzca a la bancarrota de estos sistemas artesanales de utilización del medio. Todavía es pronto para avanzar las consecuencias ambientales de este proceso, aunque parecen apuntarse ya una serie de tendencias resumidas por Boldock y Long (1987).

Según dichos autores, es previsible que se produzca una mayor intensificación de los cultivos de las áreas agrícolas más competitivas (costas mediterráneas y SW peninsular), con las consiguientes secuelas de polución, envenenamientos y uso exhaustivo del medio. Además, dadas las características climáticas del mediterráneo español, donde el agua es el principal factor limitante de la producción agrícola, es previsible una superexplotación y contaminación (abonos, salinización) de los acuíferos, como de hecho ya ocurre en ciertos sectores del SE peninsular. La contaminación y/o destrucción de los acuíferos puede tener unas consecuencias gravísimas para el mantenimiento de la vida natural, al propiciar el deterioro o desaparición de encharcamientos y lagunas, vitales para la supervivencia de un amplio espectro de plantas y animales en las xéricas condiciones del Mediterráneo español. Las mortandades de animales en el Parque Nacional de Doñana como consecuencia de la contaminación del agua por insecticidas o la difícil supervivencia de las lagunas del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel, ante la succión del acuífero que las mantiene por los agricultores de la zona, son dos buenos ejemplos de los previsibles efectos de una intensificación agrícola descontrolada.

Hay otras dos previsiones de consecuencias tampoco alagüefas para la conservación de la diversidad biológica de España. La primera es la sustitución de las campiñas

nortefías por plantaciones de árboles de crecimiento rápido (eucaliptos) ante la falta de competitividad del sector lácteo de esta zona. De confirmarse esta opción productiva, la sucesión de pastos, setos y bosquetes que configuran el paisaje de esta zona, con sus cientos de especies de plantas y animales, será sustituida por una inmensa plantación de árboles exóticos mucho menos adecuados para la supervivencia de los seres vivos autóctonos. La segunda, es el futuro incierto de las dehesas y olivares ante la presión ejercida por la intensificación agrícola o los excedentes comunitarios (aceite). La desaparición o reducción de estos sistemas de explotación implicaría, como consecuencia más llamativa, un duro revés al papel internacional de España como cuartel de invernada de millones de aves paleárticas.

Como contrapunto a este previsible proceso de intensificación del uso agrícola del suelo, hay sectores poco productivos cuyo abandono se recomienda y prima mediante la concesión de subvenciones. Esta política agrícola, que afecta fundamentalmente a los cultivos de cereales de secano de las mesetas ibéricas, contribuirá a acentuar el despoblamiento sufrido por estos sectores durante la diáspora industrial de los años 60. Aunque todavía no están claras las alternativas productivas de estas regiones, es previsible que oscilen alrededor de un uso ganadero y forestal. En cualquiera de los casos, y de confirmarse esas tendencias, se asistirá a una remodelación del paisaje al propiciarse la reconstrucción de comunidades vegetales más estables y diversificadas (pastos y bosques), con unas comunidades animales también más variadas que las asentadas sobre los campos agrícolas. Constituye ésta una excelente oportunidad para mejorar el entorno natural, si esta obligada reorganización del paisaje asume la necesidad de aunar criterios productivos y conservacionistas. Sería especialmente importante, por ejemplo, que la política forestal a desarrollar en estas zonas contemplara la promoción de la vegetación forestal autóctona, reconstruyendo así la diversidad florística y faunística perdida desde hace siglos por una implacable actividad agrícola. Nos encontramos, probablemente, ante una oportunidad histórica de desarrollar en estas regiones un entramado productivo que garantice y mejore sus valores naturales.

Como es obvio, la forma en que se desarrollen estas previsiones dependerá de múltiples factores de índole económico y social. Pero, en cualquier caso, la magnitud de las consecuencias positivas o negativas de tales modificaciones sobre nuestro patrimonio biológico, dependerá del rigor e intensidad con que la sociedad española reclame de sus administradores un mayor interés y eficacia en la conservación de la naturaleza.

**Tabla 1.** Distribución del número de especies de vertebrados terrestres en Europa y España. Se señala, entre paréntesis, el porcentaje de especies que crían en España con respecto al total europeo.

	TOTAL			AMENAZADAS		
	Europa	España	(%)	Europa	España	(%)
mamíferos	137	77	(56)	22	11	(50)
aves	407	238	(58)	72	32	(44)
reptiles	81	40	(49)	29	16	(55)
anfibios	45	22	(44)	13	8	(62)
<b>TOTAL</b>	<b>670</b>	<b>377</b>	<b>(56)</b>	<b>136</b>	<b>67</b>	<b>(49)</b>

## Bibliografía

- BALDOCK D. y T. LONG (1987). The Mediterranean under pressure: The influence of the CAP on Spain and Portugal and the "IMPs" in France, Greece and Italy. Institute for European Environmental Policy. Bonn.
- EHRlich P.R. y EHRlich A.H. (1981). Extinction. Random House. N. York.
- HONEGGER R.E. (1978). Amphibiens et reptile menacés en Europe Conseil de l'Europe. Strasbourg.
- ICONA (1986). Lista roja de los vertebrados españoles. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- LEWIN R. (1983). No dinosaurs this time. Science 221: 1.168-1.169.
- MOLENAAR J.G. (1983). Agriculture and its effects on birdlife in Europe. Proceed. 13th. Conf. of European Continental Section of ICBP: 13-34.
- MOONEY H.A. y I. KUMMEROW (1981). Phenological development of plants in Mediterranean-climate region. pp.: 303-397 de D.W. GOODALL y R.L. Specht (eds.): Ecosystems of the World 11. Mediterranean Type Shrublands. Elsevier. Amsterdam.
- MOREAU, R.E. (1972). The Palaearctic-African bird migration system. Academic Press. London.
- PARSLOW J.L.F. y M.J. EVERETT (1981). Les oiseaux ayant besoin d'une protection speciale en Europe. Conseil de l'Europe Strasbourg.
- RIVAS MARTINEZ, S. (1983). Pisos bioclimáticos de España. Lazaroa 5: 33-43.
- SMITH C.J. y A. WIJNGAARDEN (1976). Mammifères menacés en Europe. Conseil de l'Europe. Strasbourg.
- SOULE M.E. (1986). Conservatin Biology. The science of scarcity and diversity. Sinauer. Sunderland.

- TELLERIA J.L. ed. (1988). Invernada de aves en la Península Ibérica. Monografías SEO. Madrid.**
- TELLERIA J.L. y C. SAEZ-ROYUELA (1984). The large mammals of Central Spain. An introductory view. Mammal Review 14: 51-56.**
- TELLERIA J.L. y C. SAEZ-ROYUELA (1986). La fauna de vertebrados de las montañas ibéricas Una revisión histórica. La Garcilla 66: 14-18.**

# **Impacto de la Biotecnología en la sociedad. Presente y futuro**

*Manuel Espinosa*

## **I. Introducción**

Ante la sociedad actual se nos presenta uno de los retos más apasionantes del presente siglo, únicamente comparable en la historia moderna con la revolución industrial del siglo XIX. Dos son los aspectos de este desafío, derivados ambos del desarrollo de nuevas tecnologías y que se conocen como “revoluciones” cibernética y biotecnológica. Las nuevas tecnologías en informática y comunicación, la investigación en inteligencia artificial y el desarrollo de sistemas informáticos capaces de aprendizaje y decisión, plantean una disyuntiva particular: de un lado, los niveles de comunicación e información de los individuos son mucho mayores; de otro, la posibilidad de un control exagerado sobre las personas puede ser alarmante. Por otra parte, el desarrollo de la tecnología de la Ingeniería Genética y su aplicación a problemas de alimentación y salud humana presenta un porvenir halagüeño, quizás enturbiado por la posible aplicación de esta tecnología al desarrollo de armas biológicas. La irrupción en nuestra sociedad actual de lo que se ha denominado (con no demasiado acierto) Biotecnología, no es ya un tema de futuro sino una realidad: los primeros productos de importancia terapéutica, derivados de la tecnología del DNA recombinante (insulina, interferón) están siendo utilizados habitualmente.

De modo necesariamente breve intentaré explicar cómo ha sido posible este avance de la Biología, plantear el estado actual y las perspectivas futuras de la Biotecnología, su impacto económico y su posible impacto social. Procuraré emplear el mínimo lenguaje científico/técnico, ya que creo deseable comunicar con claridad y precisión los descubrimientos científicos que nos han puesto a las puertas de la revolución biotecnológica.

## **2. Antecedentes**

No se puede entender el desarrollo que ha experimentado la Biología sin una breve visión retrospectiva, ya que las claves de la tecnología del DNA recombinante y sus aplicaciones se encuentran en la investigación básica realizada en las pasadas décadas. El pasado año se cumplía el cincuentenario de la publicación del trabajo pionero de Fred Griffith, quien descubría la posibilidad de realizar una transformación “in vivo” de estreptococos no patógenos en formas patogénicas de la misma especie y demostraba que esta transformación era hereditaria. Quince años más tarde, el equipo

formado por Avery, McLeod y McCarthy descubrieron que el “principio transformante” era el ácido desoxirribonucleico (DNA), pronto identificado como la molécula responsable de guardar la información necesaria para el mantenimiento de los caracteres hereditarios. Este descubrimiento despertó el interés por el estudio de las características del DNA, demostrándose que éste se halla formado por una larga sucesión de unidades denominadas nucleótidos. A su vez, los nucleótidos son el resultado de la combinación de un azúcar (desoxirribosa), un grupo fosfato y una de las cuatro bases que se encuentran en el DNA: adenina (A), timina (T), citosina (C) y guanina (G). En 1953 se presentó el modelo de Watson y Crick que asigna al DNA una estructura de doble hélice y en el que se postula que ambas hélices son complementarias y antiparalelas, existiendo un apareamiento de las bases (A-T y G-C) de una y otra hélice (Figura 1). Las predicciones de este modelo se van confirmando experimentalmente y los descubrimientos se suceden con rapidez: se desentraña el código genético, el cual define que cada grupo de tres bases codifica para una de las unidades (aminoácidos) que constituyen las proteínas. Así, cada gen codificaría para una proteína cuya estructura dependerá del orden (secuencia) de sus aminoácidos y ésta, a su vez, de la secuencia de nucleótidos del DNA. Se investiga el papel del ácido ribonucleico (RNA), cuyo azúcar es la ribosa y en el que la timina se halla sustituida por uracilo (U). Se realiza la primera síntesis química de un gen y se estudian los mecanismos por los que una molécula de DNA es capaz de copiarse a sí misma (replicación), mediante los enzimas DNA polimerasas. La replicación del DNA fue un descubrimiento clave para explicar la transmisión de información genética entre un ser vivo y sus descendientes. Una larga lista de nombres ilustres podrían incluirse aquí, siendo Severo Ochoa uno de ellos. Se trabaja en el análisis químico de los nucleótidos y se postula el llamado “dogma central” de la Biología (Figura 2A) que afirma que la clave genética del DNA (sucesión o secuencia de nucleótidos) se copia en el RNA mensajero (mRNA) durante el proceso de transcripción y que el mRNA se traduce en proteínas.

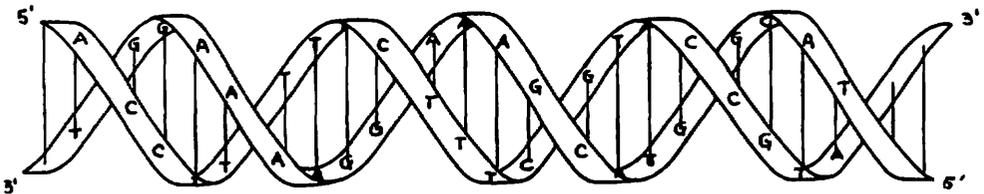
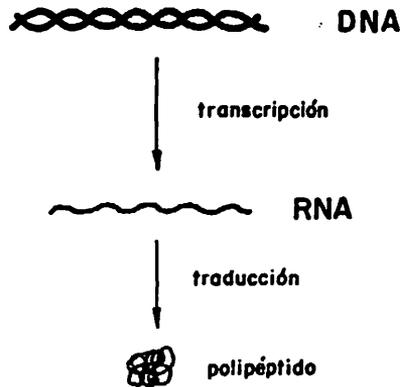


Figura 1

**"DOGMA CENTRAL" (HASTA 1971)**

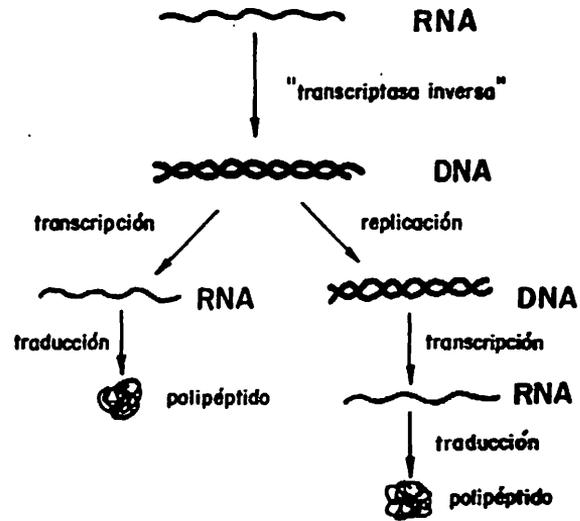


**HIPOTESIS: CODIGO GENETICO**

**CONSECUENCIA: UN CISTRON  $\Rightarrow$  UN POLIPEPTIDO**

Figura 2A

**CODIGO + ANTICODIGO GENETICOS (TEMIN 1972)**



**HIPOTESIS: CODIGO + ANTICODIGO GENETICOS**

**CONSECUENCIA: UN CISTRON  $\Rightarrow$  UN POLIPEPTIDO**

Figura 2B

Afortunadamente, el “dogma” duró tan sólo el tiempo necesario para descubrir que el material genético de muchos virus es RNA, el cual se copia en DNA (transcripción inversa; Figura 2B).

Finalmente, nuevas piezas se añaden al tablero al descubrirse y utilizarse una serie de enzimas que actúan sobre el DNA: enzimas de restricción, capaces de reconocer y cortar el DNA en una secuencia determinada; metilasas,ificadoras del DNA y DNA ligasas, capaces de sellar extremos de moléculas de DNA. A la utilidad de éstos, se añade la de otros enzimas ya conocidos: los enzimas de reparación (DNA polimerasas de tipo I) y algunas desoxirribonucleasas (DNasas) cuya acción controlada permitirá una manipulación final del DNA.

### 3. Tecnología del DNA recombinante

El esquema conceptual de la construcción de un DNA recombinante es relativamente simple y se basa en la posibilidad de cortar DNA en fragmentos discretos (digestión con enzimas de restricción), unir sus extremos (ligación), introducirlos en un organismo (transformación) y rescatar finalmente las moléculas generadas. La realización experimental, en un ejemplo simple, requiere una serie de condiciones que quedan esquematizadas en la Figura 3. En primer lugar, el DNA que se desea clonar (“DNA pasajero”) se digiere con un enzima de restricción que genere extremos autocomplementarios (extremos cohesivos) o extremos romos. Este DNA se liga a un DNA vector digerido con el mismo enzima de restricción o con otro que genere extremos compatibles. El DNA vector debe ser capaz de replicarse en el organismo huésped elegido y es deseable que posea algún carácter genético seleccionable (habitualmente, una resistencia a un antibiótico). La mezcla de ligación se utiliza para transformar al organismo huésped (se suele emplear la bacteria *Escherichia coli*). Las células del huésped transformadas con el DNA recombinante se pueden seleccionar en un medio de cultivo sólido para, finalmente, extraer un DNA, analizarlo y comprobar que contienen el DNA recombinante deseado. Esta estrategia de clonaje es la clásica y no se emplea demasiado en la actualidad. El esquema se ha modificado enormemente, en función del tipo de DNA que se desea clonar, de la selección aplicada, del organismo huésped, etc. ... Existe la tecnología para convertir el sitio de reconocimiento de un enzima de restricción por otro diferente, se han diseñado vectores específicos para ciertos clonajes, vectores para expresar en grandes cantidades el producto del gen clonado, etc. Se han desarrollado métodos y vectores para introducir, y mantener de forma estable, DNA recombinante en células vegetales y animales. De esta manera, características típicas de un ser vivo pueden ser transferidas y expresadas de forma hereditaria en otros seres vivos. En cualquier caso, la elección del organismo huésped depende del gen que se desea clonar y de la evaluación de las ventajas e inconvenientes del organismo elegido (Tabla 1). Uno de los criterios puede ser el económico, puesto que hiperproducir un producto en una bacteria (alrededor de un billón de células bacterianas en dos litros de cultivo) puede ser mucho menos

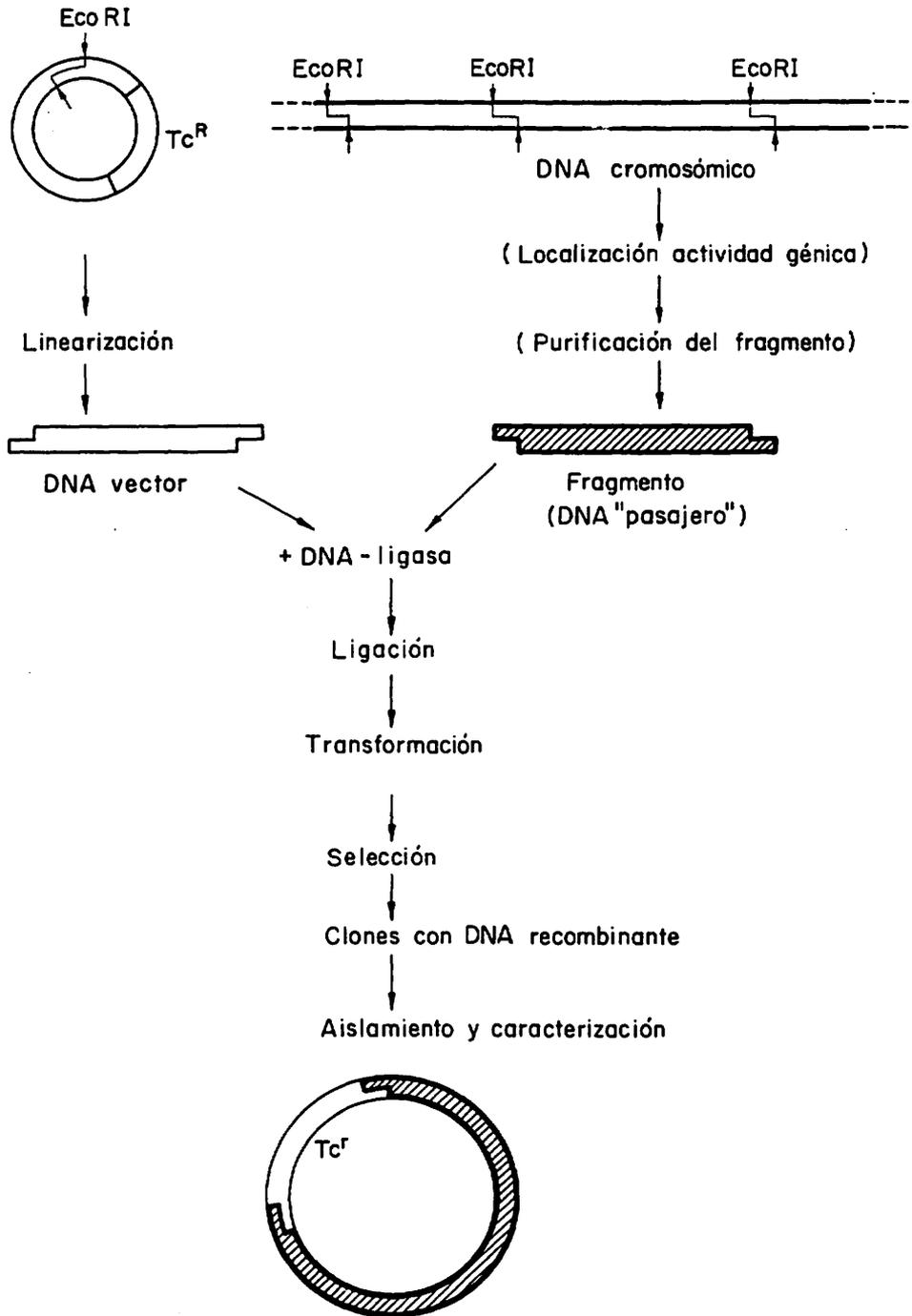


Figura 3

costoso que el hacerlo en otros huéspedes. Además, la aplicación de las reacciones específicas para la caracterización de las bases del DNA (desarrolladas en las décadas 50-60), ha permitido la puesta a punto de procedimientos para determinar el orden de estas bases en un determinado gen (secuenciación del DNA). Ello, unido a la automatización de estas técnicas y la transferencia de resultados a supercomputadores, ha permitido el planteamiento de proyectos tan ambiciosos como la secuenciación de todo el genoma humano.

**Tabla 1: Algunos microorganismos de interés en Biotecnología**

Microorganismo	Productos de interés	Aplicación	Ventajas	Inconvenientes
E. Coli			bacteria de elección para clonajes	Síntesis de lipopolisacáridos
Pseudomonas	Polisacáridos Proteasas	Alimentación Peletería Ind. Químicas	Buen conocimiento genético y bioquímico	Baja eficiencia de expresión
Bacillus	Proteasas Amilasas Celulosas	Ind. Químicas Ind. Textil Ind. Papeleras Antibióticos	Buen conocimiento. Secreción. Fermentación Ind. Farmacéuticas Detergentes Bioconversión	Alto contenido en proteasas. Alto contenido en DNAsas.
Streptomyces	Antibióticos Celulosas Proteasas	Ind. Farmacéuticas Alimentación Ind. Textil	Experiencia en fermentación. Secreción	Poco conocimiento genético. Mala expresión heteróloga
Hongos filamentosos	Antibióticos Celulasas Quitinasas	Ind. Farmacéuticas Ind. Papeleras Bioconversión	Experiencia en fermentación. Manipulación simple	Poco conocimiento genético. Pocos vectores de clonaje
Levaduras	Fermentaciones alcohólicas Vitaminas.		Experiencia en fermentaciones. Alto interés para expresión génica	Expresión heteróloga pobre.

#### **4. Utilización de productos de interés en biotecnología: economía, ciencia y sociedad**

Esta vez, en esencia, la tecnología empleada por la Ingeniería Genética para el clonaje de genes. Algunos ejemplos de logros conseguidos podrán ilustrar el potencial que nos presenta. Así, el gen de la insulina humana se clonó en *E. coli* y su producto, purificado de cultivos de estas bacterias está comercialmente disponible. Lógicamente, el coste del producto puede ser mínimo en un futuro próximo. El mismo criterio se ha aplicado para la producción del interferón humano, para la hormona de crecimiento, tanto humana como de algunos animales de interés, para el desarrollo de vacunas, etc. Se han clonado y transferido a plantas, genes de bacterias cuyos productos hacen a la planta resistente a infecciones por algunos insectos. Otros genes bacterianos se han transferido a plantas de interés horto-frutícola para protegerlas frente a heladas, etc. El porvenir se presenta, pues, lleno de posibilidades tendentes a la mejora de la salud humana y animal y a una mayor calidad de vida.

Sin embargo, no deseo dar una tonalidad teñida tan sólo de color rosa a mi exposición. Indudablemente, los logros derivados de la Biotecnología son y serán grandes. Pero, indudablemente también, conviene analizar quiénes van a ser sus beneficiarios directos. En primer lugar, la tecnología de la Ingeniería Genética está siendo desarrollada principalmente en los USA, Japón y (muy por detrás) Europa. Es, por ejemplo, muy sintomático, la preocupación existente en los USA por la salida de esta tecnología a otros países, especialmente a la URSS y al Japón. De hecho, se está planteando la posibilidad de restringir la venta (fuera de los USA) de equipo biotecnológico. En segundo lugar, la mayoría de la investigación se desarrolla, total o parcialmente, en industrias pequeñas o en grandes empresas multinacionales. La investigación académica (Universidades y Centros Públicos de Investigación) se dirige a aspectos más básicos y los posibles resultados aplicados se patentan o venden a las industrias. Esta dinámica implica que los beneficiarios más directos de la aplicación de la Biotecnología van a ser estas industrias y, de últimas, los países más desarrollados. Será previsible que las diferencias actuales entre países se vean acentuadas en el futuro, a menos que exista un planteamiento *nuevo* de las relaciones entre países. Como no conozco ningún ejemplo histórico de ello, hago énfasis en lo de la novedad.

#### **5. Terapia génica y armas biológicas: ciencia y ética**

Para finalizar, deseo hacer algunas reflexiones, que no juicios, sobre el posible futuro (rosa y negro) de la tecnología del DNA recombinante. Quiero destacar que la mayoría de los gobiernos exigen que la experimentación se realice bajo unas normas de seguridad que dependen del grado de riesgo potencial que dicha experimentación entrañe. Así, se han establecido cuatro tipos de restricciones, que van desde las simple

medidas de higiene y descontaminación (condiciones P1 o P2) hasta la necesidad de realizar la experimentación en laboratorios bajo presión negativa (condiciones P3) o absolutamente aislados (por ejemplo, bajo tierra o lagos, en las condiciones P4). La regulación de las pruebas de campo sobre liberación (aún en condiciones controladas) de microorganismos genéticamente manipulados es muy estricta, quizás con demasiado énfasis en potenciales peligros que, muchas veces son mínimos o inexistentes. Es importante dejar esto claro, para que la sociedad sea consciente de los esfuerzos de políticos y científicos para establecer medidas de control en la experimentación biotecnológica.

He mencionado antes que se pueden insertar y expresar genes, de forma estable, en organismos superiores (animales y plantas). Ejemplos de animales transgénicos, en los que se han insertado varias copias del gen de la hormona de crecimiento y que muestran un tamaño dos o tres veces superior al de sus hermanos han sido noticia en la prensa diaria. Estos resultados han abierto bastantes especulaciones para desarrollar una terapia génica, cuyo ejemplo más evidente sería el de la inserción del gen de la insulina en enfermos diabéticos, eliminando así la carencia de esta hormona. Otros ejemplos se podrían describir como factibles para el tratamiento de muchas de las enfermedades genéticas conocidas: enanismo, talasemia, fenilcetonuria, distrofias musculares, etc. Esta disponibilidad tecnológica, indudablemente al alcance de la mano, plantea la cuestión ética de dónde poner los límites a la Biología. Creo que es una cuestión absolutamente opinable y que será solamente una sociedad culta, libre e informada la que tendrá que decidirlo. La misma decisión afecta a la posibilidad de desarrollo de armas biológicas nuevas, cuyo control es más que dudoso pero que ha planteado un serio debate en la comunidad científica norteamericana. Es actualmente posible el desarrollo de nuevas bacterias patógenas que tengan múltiples antibiótico-resistencias, el clonaje e hiperproducción de genes que codifican para toxinas microbianas, la producción de virus recombinantes patógenos para el hombre y otros horrores que desconozco. El planteamiento de que gran parte de esta investigación puede tener carácter defensivo es cuestionable, pero no banal. Es, no obstante, esperanzador que un grupo de más de 500 científicos de la USA hayan firmado un manifiesto en contra de este tipo de investigación. Es posible, pues, mantener la esperanza de que, por primera vez, el planteamiento *nuevo* que mencioné antes sea una realidad.

# La ciencia en la sociedad: inteligibilidad e influencia

*Joaquín Summers Gamez*

Tratar de abordar, con un mínimo de rigurosidad científica, un tema tan amplio como el que titula esta conferencia parece imposible, a pesar de que en el mismo título se trata de limitarlo a dos aspectos que considero determinantes de cualquier estudio sociológico de la ciencia. En efecto, la importancia o significado de la ciencia en la sociedad, de cualquier tipo que sea ésta, está condicionada por la capacidad de entendimiento y comprensión de las teorías científicas por parte de la sociedad, así como la influencia que el mundo científico ejerce en su contorno social desde la doble perspectiva que supone la aplicación de las innovaciones científicas en la resolución de los problemas diarios como su influencia determinante en las costumbres sociales.<sup>1</sup> Por tanto, atendiendo a la limitación de tiempo e incluso a mi incapacidad para considerarlo en su totalidad, trataré de acercarme o aproximarme al tema propuesto con un planteamiento sociohistórico, buscando los aspectos más significativos posteriores al establecimiento de la ciencia moderna. Conviene, para terminar esta introducción, advertir que mis planteamientos históricos están condicionados por mi personal comprensión de la ciencia, ajena a cualquier proceso acumulativo de teorías o creencias científicas extraño al entorno social en que se producen.<sup>2</sup>

## I

La ciencia antigua estaba asimilada al concepto de "saber absoluto"<sup>3</sup> y se trataba de una irregular acumulación de descubrimientos y consideraciones acerca del entorno que rodeaba al hombre de ciencia o filósofo. Además la ciencia antigua no tenía un interés práctico, salvo en ocasiones extremas en que el poder político consideraba necesaria su participación, normalmente esto ocurría en situaciones de guerra y su esfuerzo lo dirigían a preparar artefactos bélicos para la defensa y el ataque. El científico en el mundo antiguo era un ciudadano singular, solitario y asocial, se diferenciaba del resto de los humanos por no tener conexión con la sociedad a que pertenecía, preocupado por una actividad especulativa sin interés alguno, en la mayoría de los casos.

Era frecuente confundir al científico con el sabio, así lo pone de manifiesto

---

(1) MERTON, R., *Sociología de la ciencia*, Alianza, Madrid.

(2) KUHN, T.S., *La estructura de las revoluciones científicas*, FCE, México, 1971.

(3) FARRINGTON, B., *Ciencia y filosofía en la antigüedad*, Ariel, Barcelona, 1971.

Aristóteles, en alguna ocasión, que considera a la ciencia como “el conocimiento de la verdadera naturaleza de las cosas” y piensa que la ciencia es “sabiduría”. Era imprescindible la utilización de la razón para llegar al conocimiento de la naturaleza de las cosas que, además, suponía una garantía de la propia investigación puesto que la capacidad de comprensión y comportamiento de los científicos estaba por encima del nivel medio de los humanos.

Con ligeras matizaciones esta situación permanece hasta la llegada de la llamada ciencia moderna, en que pierde el significado de “saber absoluto”, abandona, por tanto, todo su contenido metafísico y, desde luego, se encuentra muy lejos de cualquier significación moral. El científico u hombre de ciencia deja de ser un sabio, se encuentra incluido en un entorno social y tiene una preocupación por las cuestiones concretas sin perder su interés por los grandes problemas filosóficos, pero trata de atender a la demanda social cada vez más importante.<sup>4</sup>

Ante un planteamiento de este tipo, por simplificado que se haya presentado, surge de inmediato, la duda o la seguridad de que, en ese momento, la ciencia es moderna porque tiene un soporte ideológico. Aunque voy a insistir en esta cuestión, en repetidas ocasiones, quiero anticipar que la ciencia moderna ha tenido el importante soporte de la “ideología burguesa”, influyendo de una manera decisiva en su desarrollo, con mejor o peor fortuna.<sup>5</sup>

Con el establecimiento de la ciencia moderna se puso de manifiesto, por primera vez, que la ciencia daba poder y que, por tanto, era importante para los políticos. Sabido es que la política es poder y que el cultivo de la ciencia traería un considerable progreso científico-técnico que podría proporcionar la fuerza necesaria para desarrollar una nueva forma de gobierno en el que se podrían abordar la resolución de diversos problemas planteados en la ciudad, en la industria, en los transportes, etc. Nace, en ese momento, una estrecha colaboración entre la ciencia y la técnica, es decir, se utiliza la ciencia para resolver los problemas planteados por la sociedad y que llegaría a su máxima expresión en el siglo XX.<sup>6</sup> El científico tiene una función diferente en la sociedad, existe una tendencia a la profesionalización del científico que traería, como consecuencia, un proceso de institucionalización de la ciencia, como luego tendremos ocasión de tratar.

Aunque sea dar un pequeño salto, conviene señalar antes de seguir que, en la actualidad la ciencia no tiene el mismo soporte ideológico de naturaleza burguesa. A mi entender, el significativo y rápido progreso científico de nuestro siglo hace que, en buena parte, no pueda ser controlado por el hombre. El desarrollo y el avance de la ciencia no puede ser dominado por el hombre, las decisiones provienen de instancias superiores que no protagoniza el científico aunque participe en ellas”. El científico

---

(4) BUTTERFIELD, H., *Los orígenes de la ciencia moderna*, Taurus, Madrid, 1971.

(5) SONNATI, S., *Ciencia y científicos en la sociedad burguesa*, Icaria, Barcelona, 1977.

(6) MUMFORD, L., *Técnica y civilización*, Alianza, Madrid, 1971.

está tan desposeído del producto de *su* cerebro como el obrero del de *su* máquina".<sup>7</sup> La ciencia no es neutral, tampoco lo son los científicos y el avance o progreso de una ciencia es una bandera social que los países utilizan como portavoz de una situación de bienestar o un factor medidor de un buen estado económico. La realización de la ciencia actual necesita de grandes inversiones económicas y una acción política muy determinada que, sin duda, se pueden aprovechar para obtener un buen rendimiento político.

Por otra parte, el progreso científico tiene una dimensión colectiva como consecuencia de la participación de los grandes equipos de científicos, multidisciplinarios en la mayoría de los casos, que despersonaliza el trabajo del hombre de ciencia al quedar respaldado por todo un equipo.<sup>8</sup> Es como si la ciencia tuviera una vida propia que le permitiera avanzar con independencia de la voluntad de los científicos. La ciencia, por tanto, tiene una implantación social que dista mucho de su significación tradicional. Lo positivo o negativo de un descubrimiento no depende de la buena o mala voluntad del hombre, está sometida a intereses que, en muchos casos, exceden a la decisión de un país<sup>9</sup> que, a su vez, se encuentra sometida a una extraordinaria y despiadada competencia. De una manera general, se conoce el resultado de cualquier experiencia, cómo se debe hacer, qué grupos de investigación están capacitados para realizarla, etc. Una planificación perfecta en la que también interviene el factor suerte.<sup>10</sup>

Después de este inciso volvamos al hilo de nuestra narración situándonos en los siglos XVI y XVII entre los que transcurre el Renacimiento. El Renacimiento supone un cambio radical en la vida social, política y científica; se caracteriza por una gran vitalidad, un interés por las cuestiones espirituales y prácticas, un interés en definitiva, por todo. La conclusión o el inicio de este cambio o de estas circunstancias es la revolución científica o la ciencia moderna. No quiero entrar a considerar los diferentes detalles sociales que permitieron la revolución científica aunque, para el propósito señalado, es necesario precisar que esta revolución científica nace en el seno de una revolución social, si bien no vamos a discutir cuál de estas dos revoluciones fue la primera. Lo cierto es que la nobleza, considerada como clase social privilegiada

---

(7) LEVY-LEBLOND, J.M., *La ideología de / en la física contemporánea*, Anagrama, Barcelona, 1975.

(8) Cuando se repasa la lista de los últimos galardonados con el Premio Nobel en materias científicas, se puede comprobar que se han otorgado a importantes científicos que dirigen grandes grupos de investigación.

(9) En este sentido es importante poner de manifiesto que para hacer frente a las costosas inversiones que supone la realización de una ciencia experimental es frecuente la agrupación de los presupuestos de varios países para tal fin, un ejemplo europeo es el CERN.

(10) El desarrollo de la comunicación científica para especialistas ha alcanzado en este siglo un auge grande, existe gran número de revistas científicas de gran prestigio que permiten conocer la ciencia que se está haciendo en el mundo entero y además dado el sistema de selección que se utiliza para su publicación proporciona un buen respaldo científico.

procedente del Medioevo, quería mantener su situación, no cambiar nada pues de esta manera pensaban prolongar un sistema social que sin duda les beneficiaba. Poco a poco emerge una nueva clase social, la burguesía, que apuesta fuertemente por el cambio pues confía en un futuro mejor ligado al progreso social y científico. Se trata de una situación que se ha presentado en repetidas ocasiones: es el enfrentamiento entre los progresistas y los inmovilistas.

Como ya he apuntado antes el mundo de la ciencia se encontraba marginado o aislado de su contexto histórico-social, tenía un ritmo de desarrollo ajeno a su entorno, mientras que la ciencia moderna supone una idea de progreso de la ciencia vinculado a los grandes problemas planteados por la humanidad. El desarrollo de la ciencia moderna se encuentra ligado al crecimiento de la clase burguesa. En conclusión, el mundo para la burguesía es el escenario donde aplicar unos conocimientos, es decir, la aplicación de la ciencia. El progreso tecnológico es imprescindible para resolver las cuestiones planteadas en la vida diaria así como para crear nuevas perspectivas.

Francis Bacon fue el primer filósofo que estaba convencido de una ciencia productiva y burguesa “el verdadero y legítimo fin de la ciencia consiste simplemente en enriquecer la vida humana con nuevos descubrimientos y nuevo poderío”.<sup>11</sup> En definitiva, la ciencia debe influir en el desarrollo de la sociedad, el científico no debe despreciar el trabajo técnico, en este aspecto también insiste Descartes cuando avala en sus escritos el conocimiento de las cuestiones prácticas en contra de la filosofía especulativa al decir “por medio de éste (conocimiento práctico) llegando a conocer la fuerza y la acción del fuego, del agua, del aire, de los astros, del cielo y de todos los demás cuerpos que nos rodean ... podremos utilizarlos para todo aquello que necesitemos, transformándonos en consecuencia en amos y dominadores de la naturaleza”.<sup>12</sup>

Este planteamiento realizado para presentar el nacimiento de la ciencia moderna puede conducir a error pues no se ha mencionado que la nueva mentalidad científica encontró una fuerte oposición con el poder constituido tanto religioso como civil, aunque tal vez el primero fue más importante, probablemente, por la postura dura e intransigente adoptada por la Iglesia Católica frente a la Reforma alemana que entonces tomaba una especial significación. Sin lugar a dudas, el mejor ejemplo de esta situación lo proporciona Galileo Galilei considerado como el primer científico moderno y fundador del método experimental, tuvo grandes dificultades de entendimiento con la Iglesia a pesar de su interés por llegar a un acuerdo.<sup>13</sup>

Galileo era un buen católico que consideraba la actividad científica de interés público siendo su destinatario la sociedad. Sin proponérselo adoptó una postura revolucionaria al dar su propia interpretación de la naturaleza, situación que no admitía la Iglesia pues no podía aceptar que el hombre libremente, utilizando su

---

(11) BACON, F., *La gran restauración*, Alianza, Madrid, 1985.

(12) CLARK, D.M., *La filosofía de la ciencia de Descartes*, Alianza, Madrid, 1986.

(13) GEYMONAT, L., *Galileo Galilei*, Península, Barcelona, 1986.

inteligencia y su razón, pudiese dar una concepción del mundo sobre todo si no coincidía con la doctrina oficial. A pesar de su postura conciliadora no consiguió llegar a un entendimiento con el poder religioso constituido como es conocido de todos. La mentalidad antimetafísica y burguesa de Galileo se pone de manifiesto por su interés al aplicar los problemas teóricos que estudiaba y el esfuerzo en establecer una buena relación con el Poder, entre otras razones, por la posibilidad en adquirir una libertad de actuación basada en el apoyo político y económico a sus investigaciones. La situación de Galileo es significativa de una época que se repitió con demasiada frecuencia y durante mucho tiempo.

La interrelación entre la ciencia y la sociedad trae como consecuencia una situación de bienestar científico y social, es decir, mejoran las condiciones de vida de la población e incluso cambia la fisonomía de las ciudades. Así, por ejemplo, aparece una burguesía industrial resultado de aplicar el progreso tecnológico de los medios de producción para obtener una disminución del coste y un mayor beneficio de reinversión. Por otra parte, la institucionalización social de la ciencia, es decisiva para el progreso de la ciencia del siglo XVII y resulta como única salida posible a la absurda situación en que se encontraban las Universidades, ancladas en el pasado con unas importantes limitaciones sociales, religiosas y económicas. En estas condiciones el nuevo científico tenía que buscar, primero un lugar donde trabajar y, después, satisfacer la necesidad de agrupación de los hombres de ciencia, abandonando su tradicional trabajo en solitario.

Así nace en 1622, la *Royal Society* en una sociedad con un gran deseo de cambio. Se crea como un lugar de encuentro de científicos que sentían la necesidad de discutir y cambiar ideas. Los primeros científicos que se integran en esta sociedad también tienen intereses filosóficos y aceptan el espíritu baconiano con que nació este proyecto que consideraba a la ciencia como un bien público y en beneficio del género humano. Aquí se encuentra la justificación de la preocupación inicial de la *Royal Society* sobre cuestiones tan diversas como la industria textil y el tratamiento de pieles frente al desarrollo de diversos y extraños inventos.

Consecuencia inmediata de este gran desarrollo científico es la necesidad de la especialización de la ciencia pues a medida que se produce un avance de la misma es imposible que pueda estar al alcance de un sólo científico. Aparece una primera parcelación de la ciencia que, también, tuvo dificultades para ser aceptada por varios motivos entre los que destacaría el hecho de la incorporación inicial de muchos filósofos a la *Royal Society* hizo que ésta institución no fuera bien aceptada.<sup>14</sup>

La burguesía adquirió un protagonismo definitivo en la sociedad de la época al mismo tiempo que la nobleza continuaba ajena a su entorno, no preocupada por la ciencia moderna a la que consideraba como un fenómeno curioso y, en algunos

---

(14) MERTON, R., *Ciencia, tecnología y sociedad en la Inglaterra del siglo XVII*, Alianza, Madrid, 1984.

aspectos, mágico. El auge de la nueva ciencia llevaba paralelo un gran desarrollo tecnológico que facilitó el enriquecimiento de la burguesía y el nacimiento de una nueva y moderna sociedad industrial en la que, como ya he señalado, se afianzan las relaciones entre la ciencia y la sociedad, permitiendo la solución de complejos problemas técnicos dentro del nuevo marco científico-técnico.

## II

El protagonismo científico que tenían las islas británicas se trasladó al continente recibiendo los franceses el testigo de la nueva ciencia. A semejanza de *Royal Society* se crea la Academia Francesa de la Ciencia que participó activamente en fomentar la participación científica de la vida de la comunidad y en el desarrollo de la sociedad. Así, por citar algún ejemplo, se puede hacer mención a su apoyo a la innovación urbanística convocando, primero en el año 1767, un concurso para encontrar una buena solución al problema de la iluminación pública de las calles, concurso en el que participó Lavoisier aunque no fue el vencedor. Por el contrario, sí resultó ganador del concurso que trataba de encontrar una solución al abastecimiento del agua en París.

Estos dos ejemplos ponen de manifiesto, además, el protagonismo que había adquirido el hombre de ciencia en una sociedad en la que cada vez se encontraban más integrados, son más respetados y empiezan a ocuparse de cuestiones ajenas a su profesión (fundamentalmente se dedicaron a la política). La burguesía ya poseía el poder desde el punto de vista económico y político pero en el siglo XVIII se institucionaliza o se formaliza con la revolución francesa. Coincidiendo con la decadencia de la nobleza se produce este movimiento que, aunque el análisis sea precipitado, tiene algo de contradictorio, pues desde la perspectiva que nos preocupa tiene una base ilustrada<sup>15</sup> para intentar después ser revolucionario. Aparece, como en tantas otras ocasiones, un aspecto positivo y otro negativo, pero que en cualquier caso, puede considerarse como la culminación de las propuestas involucradas con la revolución copernicana.

La revolución francesa supuso una politización de la cultura y de la ciencia que para muchos historiadores fue excesiva, situación que, por otra parte, se produce con frecuencia en ocasiones semejantes. Una vez superada la ocasional aversión a la ciencia, consecuencia de un antiintelectualismo general de tipo popular, las cosas volvieron a su cauce y se aceptó que el progreso histórico coincidiese con el progreso científico. La ciencia era un factor dinamizador por excelencia que lógicamente estaba ligado a un desarrollo tecnológico.

El poder político tenía conciencia de que la ciencia debía tener una utilidad, una aplicación inmediata, y adoptó las medidas oportunas para que Francia se situase en

---

(15) La Ilustración constituía un amplio movimiento intelectual que propugnaba el gobierno de la razón, la experiencia y la aplicación de la ciencia con el consiguiente desarrollo de la ciencia.

la vanguardia del saber científico.<sup>16</sup> En este complejo proceso hay que señalar, al menos, una importante y significativa “politización” de los científicos e intelectuales de la época, lo que supuso, con frecuencia, una dificultad en el momento de diferenciar entre los problemas de la ciencia y los del estado. A mi entender esta ideología nace de la confianza en el hombre y en la ciencia, pero no se trata de una ideología impuesta desde arriba y tampoco se trata de ideología ajena a la esencia y al método de la ciencia (situación contraria a la que sucedió en la ciencia nazi y su “politización”).

El auge científico francés coincide con una situación de apatía en la sociedad inglesa, faltan las ideas y se aprecia una desconfianza hacia la libre investigación científica. La escasa consideración social del científico, la pequeña remuneración económica y la pobre actividad de la *Royal Society*, reducida a unas tareas burocráticas, conduce a que, en poco tiempo, se llegue a pensar que la ciencia es un lujo. En conclusión, Francia que aprendió del ambiente científico británico, consiguió crear un “mundo científico” que habría de servir de modelo a otros países europeos empezando por Alemania.

En el siglo XIX se afianza definitivamente la idea de progreso científico, tecnológico y social, prescindiendo de las situaciones políticas e históricas, se aprecia una atmósfera científica que proporcionó avances notables en el campo de la geología, biología y química, así mismo especial mención merece la medicina en la que enfermedades conocidas desde siglos antes desaparecen o se curan. La ciencia, en definitiva, adquiere para la sociedad una dimensión que antes no tenía.

Puede ser ilustrativo para entender el ambiente científico del siglo XIX detenernos, aunque sea mínimamente, en la teoría científica del evolucionismo,<sup>17</sup> considerada como la doctrina científica más importante de este siglo. Se trata de una aportación típica de la ciencia burguesa que contiene elementos de interpretación que pueden ser considerados contradictorios. En la formulación de esta teoría fue muy importante el trabajo realizado por Darwin que la fundamentó, difundió e hizo que fuera aceptada por el mundo científico. Según Darwin los seres vivos, animales y plantas, crecen y se desarrollan en estrecha relación con el ambiente en que se encuentran, de tal manera, que mientras algunos seres vivos continúan viviendo, a otros no le ocurre lo mismo. Se trata de una lucha por la existencia, una lucha por la supervivencia, en la que resulta vencedor el mejor adaptado al ambiente o tiene una mayor capacidad para vencer según sea su fortaleza, salud, etc.

---

(16) A este respecto es importante señalar la creación de la Escuela Politécnica resultado de la responsabilidad asumida por el poder político en la potenciación de la ciencia. En esta institución por primera vez los grandes científicos de la época (Laplace, Lagrange, Monge, etc.) se dedicaban a la enseñanza y procuraron realizar textos para la difusión de sus trabajos y estudio por parte de los alumnos. Tal vez puede considerarse como un intento para crear una ciencia popular.

(17) Las teorías evolucionistas son muy antiguas. Darwin la toma de Lamarck que la había defendido con escaso éxito años antes. Así mismo, Erasmo también la había establecido intuitivamente y Anaximandro explica el nacimiento de la vida según una ley evolucionista.

La teoría evolucionista supuso un impacto social muy importante pues además de tener una significación semejante a la establecida por la revolución copernicana, en la que la Tierra es un planeta más, pues el hombre pierde, definitivamente protagonismo siendo uno de los tantos animales de nuestro planeta. La Tierra, en su caso, y el Hombre, en el otro, dejan de tener una postura egocéntrica a partir de la cual poder explicar el resto del universo. Es una teoría desmitificadora que, en el momento de su aparición, puso en entredicho la moral, la ética, los valores, etc. y que escandalizó a amplios sectores de la sociedad al decir que el antepasado del hombre era un simio. El concepto de antepasado, del origen, de la stirpe, etc. se ve afectado seriamente con las doctrinas evolucionistas y colabora a que la ciencia adopte para la sociedad y la política un significado que antes no tenía.

### III

Con el análisis, precipitado, realizado de algunos aspectos científicos y sociales, se ha tratado de poner de manifiesto el desarrollo de una idea nueva de ciencia y su interrelación en la sociedad. La situación presentada puede ser considerada, en términos generales, como beneficiosa o positiva para la sociedad: la ciencia ha colaborado en proporcionar un bienestar a la humanidad resolviendo los más importantes problemas que tenía planteados. Ahora bien, en el siglo XX, el mismo desarrollo de la sociedad ha condicionado la evolución de la ciencia pues, como se ha señalado con anterioridad, el progreso científico depende de cuestiones que exceden a la voluntad del científico que interviene en el proceso de creación de la ciencia. Entiendo que el camino de la ciencia ha entrado en una situación de crisis, comprendida desde la perspectiva que supone una doble utilización de los resultados de una investigación científica que la hace “buena” o “mala”, si bien estos términos al ser relativos, pueden dar poca información inicial.

A este respecto es importante recordar lo que escribió Freud en su *Malestar en la cultura* a principios de este siglo: “En la última generación, los hombres han logrado progresos extraordinarios en las ciencias naturales y en su aplicación técnica, han establecido su dominio sobre la naturaleza de modo antes inimaginable ... esta sumisión de las fuerzas de la naturaleza que colma una aspiración de millones de años, no lo han hecho más feliz”. Puede parecer una opinión excesivamente pesimista pero lo cierto es que el conocimiento de la ciencia supone empobrecer la imagen del hombre puesto que debe explicar la realidad que le rodea sin la ingenuidad y fantasía con que lo hacía antes.

Para abundar en este planteamiento podemos recordar lo que supuso para la humanidad el descubrimiento de la bomba atómica y, sobre todo, con su utilización en Hiroshima que a todos nos recuerda una imagen silenciosa y escalofriante que viene a contraponerse al optimismo renacentista a que me refería al iniciar esta charla. La energía atómica se descubre en un período de desorientación y crisis, se trata de una época caracterizada por una situación de especial tensión internacional y del desarro-

llo de un exagerado nacionalismo. La realidad es que el estudio que habrían de conducir a la comprensión de la energía atómica se iniciaron hacia el año 1920 y, entonces, se pensaba que proporcionaría una decisiva información para el mejor conocimiento de la estructura de la materia y nadie pensaba que estos estudios tuvieran una aplicación práctica tan terrible. Así pensaba Rutherford cuando en el año 1933 dice: "Estas transformaciones del átomo son de extraordinario interés para los científicos, pero no podemos controlar la energía atómica de modo que sea de algún valor comercial ... Nuestro interés por la cuestión es puramente científico". En el mismo sentido se manifestaron Heisenberg, Bohr y Curie entre otros.

Algunos años después, en 1938, en Berlín, Otto Hahn consigue fusionar el átomo y cuatro años después Enrico Fermi experimenta la primera reacción en cadena controlada por el hombre que supuso la realización en 1945 de un experimento en un desierto americano de la explosión de una bomba. Era un experimento que sería el prólogo de lo sucedido en Hiroshima, consecuencia de unos condicionamientos socio-políticos y de unas grandes inversiones económicas. Surge la pregunta acerca de si merecía la pena la catástrofe sucedida y la amenaza constante que ha quedado en el mundo, a cambio de un mejor conocimiento de la materia, principio de un importante campo de investigación, sin olvidar lo que se ha dado en llamar utilización para fines pacíficos.

#### IV

Para completar nuestro planteamiento inicial parece necesario hacer algunas consideraciones acerca de dos aspectos que entiendo son fundamentales para dar una visión completa del tema que nos preocupa. Se trata de analizar la reacción de la sociedad ante la ciencia y cuál es su capacidad para recibir las nuevas teorías o doctrinas científicas. Me preocupa, en consecuencia, obtener una respuesta a las preguntas: ¿la sociedad entiende las teorías científicas? ¿tiene interés por conocerlas? ¿cómo influyen la ciencia en las estructuras sociales?

En el siglo XX el ciudadano medio tiene una actitud ambivalente hacia la ciencia. Probablemente, en general, exista una preocupación mayor acerca del incremento de inflación, conseguir una mejor remuneración económica para su trabajo, etc. es lógica la preocupación por las cuestiones inmediatas que pueden proporcionar un mayor confort vital, pero también, al mismo tiempo, posee una actitud positiva hacia la ciencia, existe un respeto y consideración hacia el científico por la tarea que realiza, así mismo le parece razonable que la tarea de investigación sea adecuadamente financiada puesto que antes o después beneficiará a la sociedad. La ciencia no se entiende pero se utiliza aunque siempre con una cierta desconfianza debida a una falta de conocimiento y a esa constante amenaza de manipulación que se contempla en la ciencia actual ejercida por los poderes políticos nacionales y transnacionales.

Ya hemos puesto de manifiesto que la situación no ha sido siempre la misma pues, prácticamente, hasta el siglo XIX el hombre ha vivido sin observar cambios impor-

tantes o definitivos de una generación a otra. Siempre han existido ideas geniales imprescindibles para el desarrollo científico y el progreso social, aunque debido a los condicionamientos ambientales quedaban reducidas a un ámbito muy restringido. Como ejemplo insistiré en que la revolución copernicana es determinante para la historia científica pero que en su época es conocido por un grupo pequeño de intelectuales que la aceptaban o no en función de sus condicionamientos religiosos que ahogaban socialmente a la población. Además, habría que objetar la falta de inmediatez en la aplicación de la aportación de Copernico, se trataba de un “problema filosófico” y, por tanto, no iba a aportar beneficio social alguno.

Se trataba, en definitiva, de una sociedad muy hermética y poco permeable a una influencia exterior; por otra parte, los factores socio-religiosos eran tan aplastantes que cualquier cambio social tenía que proceder de agentes externos que fueran capaces de modificar sustancialmente las condiciones de vida. Esto ocurrió en el momento que se le atribuye a la ciencia moderna el carácter de burgués, como ya hemos visto. Es decir, cuando la sociedad percibe el carácter utilitario de la ciencia, esto es, nace una “tecnología” que en un principio tiene carácter artesanal para después incorporar procesos y técnicas más elaboradas que permiten pasar de las primitivas máquinas muy semejantes a las utilizadas por los artesanos a unos dispositivos distintos que aportan una situación diferente y traen una desconfianza del hombre respecto a la máquina.

Esta situación ha sido recogida con mejor o peor fortuna en la literatura de la época, me permito recordar, tal vez, el personaje de ficción más conocido: Frankenstein. Entonces era frecuente la existencia de muchos científicos que con su trabajo y estudio trataban de ayudar a la humanidad, Frankenstein<sup>19</sup> había descubierto el secreto de la vida mediante el estudio de la electricidad, el galvanismo y la química, de esta experiencia resulta un monstruo-máquina que pronto demuestra ser superior y se produce un continuo enfrentamiento hasta el punto de que la máquina dá órdenes: “¡Esclavo, antes yo razonaba contigo, pero has demostrado ser indigno de mi correspondencia. Recuerda que tengo poder ... Puedo hacerte tan desdichado que la luz del día sería odiosa para tí. Tu eres mi creador, pero yo soy tu amo. Obedece!”. La conclusión no puede ser más alarmante: el monstruo-máquina se transforma en un patrón opresivo del hombre, aunque no fue creado con malicia alguna.

El cine también ha recogido esta preocupación, René Clair y Charles Chaplin han reflejado en sus películas la situación presentada en la que la máquina esclaviza al hombre (recordar los films *A nous la liberté* y *Tiempos modernos*). En resumen, la respuesta de la sociedad ante la ciencia es ambigua por una parte de apoyo y entusiasmo y, por otra, de enojo y de profunda desconfianza. De todas maneras la respuesta está matizada por las condiciones sociales de cada época.

---

(19) Frankenstein, fue un personaje creado en 1816 por la escritora británica Mary Wollstonecraft Shelly en su novela *El Doctor Frankenstein o el moderno Prometeo*.

Estimo indiscutible la influencia de la ciencia en la sociedad aunque prefiero plantear la interrelación entre la ciencia y la sociedad pues, como se ha intentado poner de manifiesto, en la actualidad la ciencia trata de dar respuesta a los problemas planteados por la misma, tanto en el momento de contestar a las grandes preguntas sobre la explicación de la naturaleza, como en su vertiente menos abstracta, más concreta que supone una tecnología cada vez más inmediata a todo el proceso que da lugar a la ciencia básica.<sup>20</sup>

Ahora la duda que se presenta es saber si las teorías científicas son entendidas por los ciudadanos, es decir, ¿cómo se deben explicar las doctrinas científicas? Solamente plantear esta pregunta presupone la conveniencia de este conocimiento por la sociedad, o sea, nos preocupa la capacidad de recepción acerca las teorías, doctrinas o creencias científicas. Estoy convencido que una buena parte de la sociedad tiene un especial interés relacionado tanto por la comprensión como por la explicación de las teorías científicas. Al hacer un planteamiento estricto sobre esta cuestión habría que plantear diferentes consideraciones para las distintas ciencias: Física, Matemáticas, Medicina, Biología, etc. si bien mi intención es hacerlo desde una perspectiva general sin perjuicio de que podamos descender al detalle por medio de algunas situaciones concretas.

En primer lugar, es preciso tener presente que, con frecuencia, es complicado por no decir que imposible, poder disponer de toda la información sobre una teoría científica. Es frecuente que la información disponible no sea completa dada la extraordinaria competencia existente en la ciencia contemporánea, cualquier exceso o descuido de una información puede suponer la pérdida del protagonismo de un científico o equipo de investigación. Los sistemas de información son, en la actualidad, tan perfectos que es imposible reservar cualquier información a pesar de tomar precauciones.

La explicación científica o la explicación de una teoría científica tiene un protagonista que puede coincidir o no con el creador de la teoría. En cualquier caso, es necesario hacer un esfuerzo divulgativo (me refiero a la explicación ajena al mundo de la ciencia) y comunicación para conseguir un entendimiento generalizado. Entonces surgen dos problemas de difícil solución: por una parte, los factores sociales y culturales, entre los que es necesario destacar los conocimientos previos sobre los que incide la nueva teoría y su influencia social. Además, por otra parte, es obvio que la dificultad en este caso es de mayor complejidad que en el caso anterior. Lo más adecuado en una situación de este tipo es adoptar una solución intermedia, un eclecticismo que facilita, por un lado, una justificación de la nueva doctrina a medida

---

(20) FEYERABEND, P., *La ciencia en una sociedad libre, Siglo XXI*, Madrid, 1982.

que se ejerce una crítica de las creencias involucradas.<sup>21</sup>

De la misma manera que existen unas condiciones sociales adecuadas para el surgimiento de una teoría o doctrina científica, como he puesto de manifiesto, se pueden contemplar factores sociales que favorecen o perjudican la discusión de los conocimientos científicos. Algunos de estos factores pueden ser: los prejuicios sociales y culturales empleados en la explicación, creencias religiosas, fidelidad a una escuela de pensamiento, adopción de posiciones teóricas, metodológicas y conceptuales, intransigentes, etc. Todo ello al margen de la propia oposición social que, en ocasiones, pueda presentar el mundo de la ciencia; así ocurrió, por ejemplo, con la teoría de la herencia de Mendel, los trabajos de Pasteur o la investigación de Planck acerca de la cuantización de la materia. A este respecto las palabras de Barber<sup>22</sup> son muy elocuentes: "... hay ciertas resistencias, que ellas tienen fuentes especificables en la cultura y la interacción social y que puedan ser en cierta medida inevitables, no es prueba de que en la ciencia haya más resistencia que aceptación ni que los científicos no sean de espíritu más abierto que otros hombres. Todo lo contrario, la poderosa norma de la imparcialidad, las pruebas objetivas por las que a menudo pueden ser válidos conceptos y teorías, y los mecanismos sociales que aseguran la competencia entre las nuevas y las viejas ideas, todo ello constituye un sistema social en el que la objetividad es mayor que en otros ámbitos sociales y la resistencia menor ... subsisten algunas resistencias, y son éstas lo que tratamos de comprender y, de este modo, reducir".

Por el contrario, la aceptación y difusión de algunas teorías científicas se han visto favorecidas por determinados factores sociales. Así ocurrió con el neoplatonismo que creó un clima de opinión favorable a la recepción de la cosmología moderna.<sup>23</sup>

Sin lugar a dudas el problema más importante es el que proporciona el lenguaje o vocabulario que utiliza la ciencia, en la mayoría de los casos no abordable y entendible por el ciudadano medio. Esto trae como consecuencia que el conocimiento científico llega al profano en la materia tras sufrir un proceso de traducción que puede realizarse con mejor o peor fortuna pero que, en todo caso, es inevitable. Es necesario iniciar un trabajo que nos encamine a establecer un lenguaje intermedio a mitad de camino entre el lenguaje científico y el lenguaje común que pueda resolver esta situación de incomunicación en que nos encontramos en algunas ocasiones.<sup>24</sup> Sobre esta iniciativa se han realizado muchos esfuerzos y estimo que se han conseguido unos buenos vínculos de comunicación entre el mundo científico y la sociedad legal en el

---

(21) EASLEA, B., *La liberación social y los objetivos de la ciencia*, Siglo XXI, Madrid; 1977.

(22) BARBER, B. "Resistance by scientists to scientific discovery", *Science*, vol. 134, núm. 3.479, 1 de septiembre 1961.

(23) KUNH, T.S., *La revolución copernicana*, Ariel, Barcelona, 1978.

(24) La utilización de un lenguaje específico no es una cuestión exclusiva de la ciencia, también sucede en otras disciplinas, por ejemplo, en el Derecho, lenguaje de difícil comprensión para legos en la materia.

tema, pero también, es cierto, que es necesario continuar y, en este caso, el esfuerzo debe realizarlo la sociedad aceptando dentro de su categoría cultural el conocimiento de las teorías y doctrinas científicas. La ciencia no es un mundo aparte y tampoco puede abandonar el aspecto de su lenguaje que es imprescindible para su metodología de trabajo, si la ciencia pierde la categoría científica que produce la metodología científica abandona su propia esencia. Existe un papel de mediador que debe fomentar, con ánimo integrador, la propia sociedad que fomenta, financia y disfruta, al menos debería ser así, de la ciencia.

En el planteamiento realizado he omitido, intencionadamente, un aspecto que entiendo decisivo para determinar la situación de confluencia en que se encuentra la ciencia y la sociedad, es decir, establecer la relación existente entre el pensamiento social y las teorías científicas. Si bien el pensamiento social es mucho más general y acoge a un número mayor de problemas, en repetidas ocasiones recurre al mundo de la ciencia para trasladar parte de su vocabulario y algunos de sus conceptos para explicar estructuras y funciones sociales que podían realizarse mediante los procedimientos tradicionales.<sup>25</sup>

A mi entender esta apropiación se ha producido de una manera regular y sistemática desde el siglo XIX, cuando muchos de los conceptos darwinianos se emplearon para explicar las estructuras y funciones sociales. Con anterioridad ya se utilizaban metáforas derivadas de la Física y de electrofisiología para explicar las capacidades humanas. Así los hombres era diferentes ante su resistencia a las enfermedades, su agudeza de percepción, respuesta de los estímulos, etc. y los médicos empezaron a hablar de la fuerza vital que enseguida se asoció al concepto de fuerza nerviosa gracias al esfuerzo por el físico y fisiólogo alemán Helmholtz que en 1852 midió la velocidad de la conductividad nerviosa y que pensaba que esa fuerza vital debía ser la electricidad o alguna forma de energía afín.

Lo mismo sucedió con el segundo Principio de la Termodinámica que permitía afirmar que el hombre tiene una cantidad limitada de energía vital y que las posibilidades de pérdida de energía desde el interior del sistema cerrado (organismo humano) son innumerables. En todos los casos se trataba de utilizar unas metáforas didácticas que querían ser arropadas por la autoridad de la ciencia, tratando de ocultar un intento de apuntalar un sistema de vida que tenía algunas grietas.

Detrás de este planteamiento, o tal vez, por encima de cualquier otra consideración se encontraba la idea de asociar el desarrollo de la ciencia con la idea de la verdad objetiva. Siempre se ha pensado que la actividad científica conduce de manera directa y espontánea a la verdad, además, para muchos de los no iniciados en el mundo científico parece que solamente es necesario explicar las creencias erróneas o falsas, puesto que las verdaderas son evidentes. Planteamiento carente de rigurosidad y contrario a la esencia del método científico.

---

(25) NISBET, R. y otros, *Cambio social*, Alianza Madrid, 1972.

Desde mi perspectiva, tomar el lenguaje de la ciencia para expresar conceptos de disciplinas que no tienen nada que ver con una metodología científica es ocultar la realidad. El lenguaje científico tiene validez cuando se emplea con la precisión necesaria y su utilización se ajusta a las normas establecidas por una metodología estricta y rigurosa que no se puede adornar para hacerla más asimilable. Fuera de este contexto existen otros procedimientos que pueden conducir a mejores resultados y evitar sorpresas extrañas.

