

El desafío tecnológico en España: papel de las Fundaciones

Sean mis primeras palabras de agradecimiento al Centro de Fundaciones por el honor que me ha concedido al invitarme a pronunciar esta conferencia.

Ante todo, deseo señalar, en justicia, la importante labor que están realizando las Fundaciones en los campos cultural, científico y tecnológico, que ha contribuido, sin duda, al progreso de nuestro país en estas directrices.

La gama de objetivos de las Fundaciones es muy amplia, así hay que considerar, además de los señalados, los benéfico-asistenciales, laborales, de enseñanza agraria, establecimientos benéficos en el extranjero, etc., que se hallan bajo el patrocinio y protección de los Ministerios de Educación y Ciencia, de Sanidad, de Trabajo, de Agricultura y de Asuntos Exteriores.

Dentro de este amplio espectro de objetivos de las Fundaciones nos vamos a referir particularmente a los que tienen un marcado interés en apoyar las investigaciones científicas y tecnológicas, aunque al propio tiempo dediquen su ayuda y patrocinio a otras manifestaciones culturales, como las letras y las artes.

¿Cuál puede ser el papel de las Fundaciones en su apoyo a la investigación tecnológica en nuestro país?

Antes, reflexionemos sobre el impacto de las nuevas tecnologías, en el mundo y en España. La biotecnología, la microelectrónica, la informática, las telecomunicaciones y la energía y los materiales constituyen, sin duda, los retos mayores en la competición internacional de los países industrializados. El continuo avance de los conocimientos científicos en estos campos abre también, sin cesar, nuevos caminos tecnológicos. Se considera que la microelectrónica y la biotecnología serán los campos privilegiados fundamentales del futuro, susceptibles de modificar radicalmente muchas tecnologías actuales.

Los progresos de la microelectrónica se traducen continuamente en avances de la informática, la cual influye en todos los campos de la industria, los servicios y la sociedad en general.

Dado el impacto de la microelectrónica en nuestra sociedad y particularmente en los avances de las nuevas tecnologías, vamos a dedicar breves momentos a recordar su evolución, ejemplo de investigación tecnológica nacida de un descubrimiento científico.

El amplificador de estado sólido, es decir, el transistor, fue inventado, en 1947, por J. Bardeen, W.H. Brattain y W. Shockley, a los que, por dicho motivo, les fue concedido el Premio Nobel, y que trabajaban en los Bell Telephone Laboratories.

Aunque este descubrimiento no fue apreciado en todo su valor en los primeros años, después la industria se apresuró a aprovechar la innovación que representaba el transistor para desarrollar sus aplicaciones.

La aparición del transistor dio lugar a nuevas innovaciones que pueden englobarse bajo la denominación de «Electrónica del estado sólido» y marcaron el comienzo de la microelectrónica.

Para darnos cuenta del impacto de ésta en nuestras vidas, tenemos que pensar que sin ella no se hubieran logrado muchos de los avances tecnológicos que constituyen el entramado de nuestra civilización actual. Así, no se habrían conseguido las grandes computadoras actuales ni los pequeños microprocesadores, ni las comunicaciones por satélite, ni la robótica, ni las exploraciones en el espacio. La aplicación de la microelectrónica en la medicina es muy importante, tanto en los métodos para realizar diagnósticos, como en dispositivos especiales, marcapasos y aparatos para sordos. Los magnetófonos, radiotransistores, relojes electrónicos, calculadoras electrónicas de bolsillo, hoy al alcance de todo el mundo, no existirían sin la microelectrónica.

El hecho de que se realizaran investigaciones sobre la Física del estado sólido en los laboratorios Bell, motivó que concurrieran un conjunto de factores positivos que contribuyeron al descubrimiento del amplificador de estado sólido. Por un lado, la propia organización y estructura de los laboratorios Bell, con su apoyo y aliento, en todo momento, a sus científicos, que a su vez se hallaban respaldados por grandes y sofisticados equipos de investigación. Este ambiente más que favorable, de estímulo y ayuda a los científicos, fueron circunstancias que influyeron en el invento. Por otro lado, hay que tener presente la gran concentración de científicos de primera línea, entre ellos los verdaderos protagonistas del amplificador de estado sólido: Bardeen, Brattain y Shockley. A esto hay que añadir que dada la gran organización de los laboratorios Bell, esta misma organización aseguraba la ulterior utilización de los productos obtenidos, pues aún en el caso de que no tuviera salida comercial fuera de la Bell, ésta crearía el mercado adecuado.

Los procesos operativos de los dispositivos empleados son tan complejos, y su tamaño tan pequeño, que no hubieran podido lograrse en laboratorios equipados con medios menos sofisticados.

Hay que tener presente que en un sólido todo sucede en un espacio tan pequeño que no pueden observarse los procesos elementales, ni siquiera con un microscopio electrónico. Ello lleva a los científicos a tener que trabajar de forma abstracta. Y experimentalmente tienen que operar con materiales de gran pureza, en los que no se tolera un átomo extraño por diez millones de átomos correctos.

Hay que señalar que si bien el invento se considera que fue debido a tres hombres, el hecho no hubiera tenido lugar sin la contribución de gran número de científicos, en lugares y laboratorios distintos, particularmente la de los químicos y metalúrgicos que trabajaron para producir los semiconductores, de forma que resultaran útiles a los físicos.

El primer tipo de transistor fue el de contacto de punta, inventado en realidad por Bardeen y Brattain aunque la contribución de Shockley fue vital. Sin duda alguna hubo disparidad de criterios, a pesar de la estrecha colaboración de estos científicos.

Bardeen, en 1951, dejó los laboratorios Bell por estar en desacuerdo con la directriz que tomaba el trabajo, y dirigió sus investigaciones hacia la superconductividad, tema en el que le fue concedido su segundo Premio Nobel.

Al transistor que reemplazaba a las válvulas de vacío pronto le sucedió el circuito integrado, en el que las funciones de varios componentes discretos son realizadas en una pieza única de material semiconductor.

Si el advenimiento del transistor fue un invento científico, realizado por científicos, que tenían poco contacto con la industria, el circuito integrado fue una innovación comercial realizada por científicos que trabajaban en una industria electrónica.

Los primeros circuitos se construyeron, independientemente, por investigadores de la Texas Instruments y Fairchild en 1959.

Durante décadas el interés de la industria electrónica se dirigió hacia la miniaturización. Se trataba de reducir el tamaño, peso y consumo de potencia, lo cual interesaba mucho a las Fuerzas Armadas. Por otro lado, existía la convicción (que no llegó a probarse) de que la miniaturización incrementaría la fiabilidad.

Los circuitos integrados fueron incrementando, de año en año, la densidad de integración, disminuyendo el tamaño de los transistores individuales. Esta tendencia a la miniaturización exigió la aplicación de nuevas técnicas más sofisticadas, como la microlitografía, con objeto de lograr una resolución cada vez más fina para el grabado de los circuitos. Al propio tiempo que se aumenta la densidad de elementos, es decir, se incrementa la resolución, hay una tendencia a aumentar las dimensiones de los chips. Actualmente se realizan chips de superficie superior a los 100 mm² y se prevé que para 1990 se lograrán superficies superiores a 100 mm². El crecimiento de las dimensiones de los chips juntamente con la capacidad de integración permitió extrapolar y prever para 1990 la existencia de chips que serían elementos de memoria de 1 Megabit. Como ha ocurrido en más de una ocasión, esta prospección ha resultado errónea, ya que en 1985 varios fabricantes de dispositivos de estado sólido han ofrecido memorias, en pequeñas cantidades, de 1 Megabit. Por otro lado se trabaja en memorias RAM de 4 Megabits.

Por lo que hace referencia a la barrera de 1 micra de espaciado entre elementos, se están haciendo grandes progresos con la litografía óptica. Se están poniendo a punto sistemas litográficos capaces de lograr tecnologías de 0,7 a 0,8 micras de resolución. Se considera que mayores adelantos en la litografía óptica conducirán a resoluciones del orden de 0,5 micras.

El mercado de estos chips (V.L.S.I.) cada vez más sofisticados, se hallará principalmente en los sistemas de inteligencia artificial, sistemas expertos y robots.

La microelectrónica abre, pues, amplios caminos a la investigación, algunos de los cuales pueden ser recogidos por las Fundaciones en una función complementaria a la de los centros de investigación estatales.

Si bien la ciencia y la tecnología han tenido siempre un carácter internacional, en el sentido de que su difusión ha traspasado las fronteras de los países, sin embargo, ello no ha sido incompatible con la idea de que los descubrimientos científicos y las investigaciones tecnológicas constituyen una baza decisiva en la competitividad entre las diferentes naciones. Hay que tener presente que, desde muy antiguo, no entraban solamente consideraciones de prestigio en este papel que se asignaba a la ciencia y tecnología (aunque lo fueron en un principio y siguen siendo un aspecto importante de las investigaciones), sino que desde finales del siglo pasado se dieron cuenta los dirigentes de los países industrializados de que la investigación científica y tecnológica constituía la base misma del progreso industrial, que creaba industrias nuevas y además contribuía de forma drástica a los nuevos tipos de armamento, lo cual completaba su importancia bajo el aspecto estratégico.

Esta convicción de que la investigación científica y la tecnológica constituyen la base en que se apoya el progreso de las naciones es hoy más fuerte que nunca.

Uno de los mayores y más urgentes problemas que plantea el reto tecnológico es el educativo. Necesitamos no solamente técnicos superiores y de grado medio, sino también trabajadores con gran profesionalidad y entrenados en la complejidad de los sistemas automáticos. En las fábricas ya no se exige trabajo físico, pero sí es necesario que el trabajador se halle adiestrado en las nuevas técnicas y que haya adquirido una cierta base científica y lógica.

La transferencia a nuestro país de tecnología extranjera debe efectuarse con sumo cuidado. Hay que realizar paralelamente una investigación propia nacional sobre la parcela objeto de la transferencia, con objeto de lograr modificaciones oportunas que permitan mejorar la tecnología dada, a lo largo de los años. Lo importante es alcanzar una tecnología propia que evite la colonización tecnológica de España.

Como ejemplo de país que se ha desarrollado en poco tiempo debemos, siempre, citar a Japón. Adquirió tecnologías que se hallaban en el mercado y dedicó su energía creativa a adaptarlas y mejorarlas. Con ello consiguió, al cabo de los años, ser un potencia científica de primer orden, cuyas grandes contribuciones a las nuevas tecnologías, tales como microelectrónica e informática, la sitúan como uno de los líderes en este campo en el mundo actual.

Las transferencias, pues, deben ir acompañadas por investigación propia para, que puedan ser beneficiosas al país.

Igual observación debe hacerse sobre las multinacionales que actualmente se instalan en España, y acaso en ellas existe aún de forma más palpable la posibilidad de colonización. Existe el peligro de que las multinacionales constituyan compartimentos estancos en nuestro país, aislados de él, que venderán sus productos a España y al extranjero, pero en cuya producción no participará la tecnología española,

aunque sí personal español. Aparentemente, la implantación de multinacionales puede dar la impresión de que en España se han creado de la noche a la mañana industrias punta y que la tecnología española ha dado un paso de gigante. Nada más lejos de la realidad. Pueden existir estas industrias y, sin embargo, la tecnología española seguir tan atrasada como antes. Para que esto no ocurra hay que investigar paralelamente de forma continua y eficaz, porque no podemos esperar que la tecnología propia nos la regalen. Hay que ganarla.

Volviendo, ahora, a las propuestas culturales de las Fundaciones, vemos que una de las facetas prioritarias será, sin duda, contribuir eficazmente a que nuestro país alcance una tecnología nacional.

Para ello, las Fundaciones tienen que proponer temas de investigación, pensando más en el futuro que en el presente, más en lo que puede ser que en lo que es. Hay que establecer temas prioritarios en aquellas tecnologías en las que se prevea un mayor impacto e incidencia en la sociedad y economía del futuro y que al propio tiempo estén en fase de investigación en todo el mundo. Lo importante es comenzar pronto, cuando se vislumbra el camino pero no está aún explorado, y entonces lanzarse con medios y entusiasmo, teniendo presente que toda investigación puede o no dar los resultados propuestos, incluso pueden obtenerse otros no previstos. La investigación es siempre un riesgo y hay que tomarlo así. Y desde luego considero contrario a los intereses y prestigio de nuestro país defender la opinión, como ya se ha hecho más de una vez, de que se deben evitar los riesgos de la investigación tecnológica.

En este sentido, el apoyo de las investigaciones sobre temas que no se hallen totalmente establecidos, en los que aún hay zonas inexploradas o poco exploradas, puede ser una contribución importante en las Fundaciones.

Entre las interesadas en promocionar las nuevas tecnologías hay que señalar a Fundesco (Fundación para el Desarrollo Social de las Comunicaciones), que dedica mucha atención a la aplicación de las telecomunicaciones a distintas especialidades científicas y a utilización de bancos de datos. También hay que mencionar a la Fundación Universidad-Empresa, que estudia las relaciones entre Industria y Universidad en el campo de la investigación, promueve seminarios y edita publicaciones con este fin.

Entre las Fundaciones que apoyan a la investigación científica sin limitación de campos se encuentran la Fundación Juan March (que ha ayudado a más de 3.500 científicos y profesores españoles a realizar investigaciones en España o en el extranjero) y la Fundación Barrié de la Maza (que tiene una Comisión dedicada a la Investigación Científica y Técnica y ha creado varios centros de investigación).

No hago una enumeración de las diferentes Fundaciones, muchas de ellas muy interesantes, porque juzgo sería apartarse del objetivo de esta conferencia.

La relación Fundación-Investigador puede ser de dos tipos distintos. Bien, la Fundación establece un concurso para presentar propuestas de investigación dentro de un campo bastante amplio, con lo que el investigador goza de gran libertad para escoger un tema concreto, o bien el concurso establecido por la Fundación se ciñe a

un tema más restringido, con lo cual el investigador tiene que sujetarse, también, a límites más estrechos en la propuesta de investigación.

Ejemplos del primer sistema de concurso son los establecidos por la Fundación March.

Este tipo de concurso ofrece indudables ventajas en el sentido de libertad del investigador en escoger su propio tema de trabajo que le permita seguir una trayectoria determinada, pero que puede modificar de acuerdo con el resultado de las investigaciones.

Por otro lado, si la Fundación fija un tema concreto (aunque de suficiente amplitud), tiene otro tipo de ventajas para la investigación e indudable interés para orientar ésta en una directriz previamente establecida.

Ejemplos de este tipo de concursos son los que promueve la Fundación Juan March, que viene desarrollando, desde 1972, temas especiales en Biología, Sociología y actualmente en Biología molecular.

Así mismo, la Fundación Areces, con el mismo criterio, concreta sus ayudas en proyectos especiales relativos a la Energía solar, Bioquímica, investigaciones agrícolas o ganaderas, o bien sobre neurociencias, enfermedades vasculares o robótica.

Ciñéndome a esta última por su carácter tecnológico, señalaremos que es un campo suficientemente amplio para que pueda enfocarse bajo aspectos distintos, ya que en ella intervienen la informática, microelectrónica y mecánica de precisión.

La robótica está muy desarrollada ya en muchos países, en EE.UU., Europa y Japón. En España se comenzó a investigar desde hace algunos años. Es una tecnología que ofrece grandes perspectivas, tanto bajo el punto de vista de la construcción sofisticada de robots, como el de su utilización y aplicación a la automatización y fabricación flexible. Trabajando con ahínco nuestro país puede contribuir al desarrollo de parcelas poco exploradas. Aún está a tiempo.

Dado el impacto de esta tecnología en el mundo, creo interesante hacer una breve exposición de la situación actual y perspectivas de la misma.

Hay que tener presente que los robots pueden clasificarse en dos tipos distintos. Los científicos o autónomos y los industriales.

Los primeros estarían dotados de funciones antropomórficas, que operarían en un entorno sin la ayuda del operador humano y mejorarían en su funcionamiento sin supervisión exterior. Estamos aún muy lejos de obtener un modelo de este tipo, aunque se han hecho tentativas para lograrlo.

Las más importantes son las realizadas en EE.UU. y en el Japón. El robot construido en el Stanford Research Institute puede entrar en una habitación y ordenar objetos sencillos que se hallen en el suelo. Su sistema de percepción visual le permite reconocer y localizar las puertas, las paredes y los objetos. El sistema se halla en un carro con ruedas.

Uno de los problemas más difíciles en este campo es la comunicación hombre-máquina. Que ésta comprenda lo que el hombre desea. Que se pueda establecer un diálogo entre el hombre y el programa de la computadora.

Hay que tener presente que si bien la traducción de un lenguaje de computadora a otro es un hecho perfectamente resuelto, no ocurre así en la traducción automática

de un lenguaje natural a otro. Este es un problema que se presenta mucho más difícil de lo imaginado al principio. Después de muchos años de investigaciones en este campo se ha llegado a la conclusión de que se necesita algo más que una gramática y un diccionario. Es necesario *comprender* el significado de la frase que se traduce para evitar resultados absurdos e inesperados, sin relación con el original.

Este concepto de comprender es el que se ha utilizado en los robots autónomos, en los que se ha logrado establecer diálogos entre el hombre y la computadora anexa al robot. Así se han diseñado sistemas que trabajan en un mundo de bloques representados por cubos, pirámides, cajas, que pueden ser operados por el brazo de un robot simulado. El diálogo permite que el hombre instruya al brazo del robot para que manipule los bloques.

Estos diálogos hombre-máquina y otros desarrollados por otros investigadores nos dicen que en el mundo limitado de los bloques el computador comprende al hombre. Pero si deseamos extender este mundo de *comprensión* los problemas aumentan extraordinariamente.

Estas tentativas, como se ve, no han dado grandes resultados. Para obtener robots que realicen tareas más inteligentes, se necesita progresar mucho en las técnicas de reconocimiento de caracteres y computadoras más rápidas. Sin embargo, estos primeros modelos y otros realizados en Inglaterra y Rusia, nos indican el camino a seguir.

Si en lugar de pensar en los robots autónomos consideramos los industriales, el panorama se presenta mucho más esperanzador.

A pesar de que no se han logrado aún elementos sensoriales (visión, tacto, etc.) adecuados para que el robot comunique perfectamente con el mundo exterior, en un futuro próximo los robots industriales jugarán un papel importante no sólo en la industria, sino también en los campos económico, científico y militar. A pesar de sus imperfecciones se utilizan con éxito y reducirán los costes de producción; se conseguirá una mejor calidad del producto. Se utilizan en pintar por pulverización, en soldadura o en tareas de ensamblaje, tareas todas ellas utilizadas en las fábricas de automóviles.

El robot industrial es simplemente la simulación de un brazo humano, que conjuntamente con su sistema de control le permite realizar una extensa gama de tareas. Actualmente están constituidos por servosistemas controlados por microprocesadores. Utilizan el control adaptativo que les permite ajustar el programa durante el trabajo, compensando las deficiencias de las piezas que se procesan.

En el futuro el trabajo en las fábricas y en las oficinas será realizado íntegramente por robots. Se utilizarán en las exploraciones planetarias. También aparecerán los robots domésticos, aunque su coste puede ser tan grande que su uso resulte limitado.

Muchas son las razones del impacto actual en los robots industriales, y una de las más importantes es el progreso en los microcomputadores y su bajo coste, que cada vez disminuye más. El abaratamiento de estas máquinas permite extender su utilización. Así, actualmente se dedica una de ellas a cada robot, pero en el futuro, esta continua disminución en el coste de las computadoras permitirá que un sólo

robot esté controlado por varias de aquellas máquinas. Aún así, el precio del sistema mecánico seguirá siendo superior al de las computadoras que lo controlan.

A todas las posibilidades de los robots se añade la de su autorreproducción. La producción de robots por medio de robots. Actualmente se usan muy poco, pero dentro de unos años será corriente el uso de robots en las fábricas de robots.

Esta generación de robots industriales controlados por ordenadores es el comienzo de una nueva era, de una nueva revolución industrial, tan importante o más que la primera, con la invención de la máquina de vapor y el descubrimiento de la electricidad.

Esta revolución, en cuyos comienzos estamos, libera al hombre de la labor manual y del trabajo rutinario en oficinas.

Por ello, los robots producirán riqueza. Por medio de ellos aumentará la producción de alimentos, energía, cuidado de la salud, educación, etc., y sin duda, seguridad para todos. Los robots pueden incrementar esta riqueza sin límites. Los robots industriales serán una nueva raza que viene a ayudar a la raza humana. Serán unos esclavos dispuestos a liberarnos de los trabajos rutinarios por su precio de coste y podrán trabajar todo el tiempo necesario, sin huelgas. La autorreproducción nos permite suponer que podrían fabricarse en suficientes cantidades para que cada ser humano pudiera poseer uno o varios robots. Esto no es una fantasía (no hablamos de los robots autónomos, sino de los industriales). Tecnológicamente puede ser verdad. La única duda se halla en la pregunta ¿la humanidad poseerá la sabiduría y sensatez suficientes para desarrollar esta tecnología de forma que beneficie a todo el mundo?

Hemos indicado que interesa investigar sobre temas que se hallan en sus comienzos, en los que sólo se vislumbra el camino y en los que por consiguiente puede o no llegarse a la meta deseada, es decir, en los que existe el riesgo sobre el resultado de toda investigación digna de este nombre.

Uno de estos temas que reúne las condiciones de estar en sus comienzos, y que sería aconsejable fuera patrocinado por Fundaciones españolas, es el de las investigaciones sobre dispositivos moleculares de computación, que llevarán con el tiempo a la realización de computadoras moleculares.

Esto, dicho así, puede parecer que estamos hablando de ciencia-ficción y, sin embargo, estamos afirmando una posibilidad a plazo no demasiado largo.

A las preguntas ¿las moléculas pueden calcular?, ¿las moléculas pueden utilizarse como elementos de computación?, la contestación es afirmativa. La Biología molecular muestra ejemplos concretos de moléculas que pueden servir para almacenar y transmitir la información. Es posible que en el futuro existan computadoras moleculares.

Hace ya algún tiempo, científicos de diferentes países consideran seriamente la posibilidad de construir dispositivos de cálculo en los que las moléculas orgánicas sustituirían a los transistores de silicio de los ordenadores actuales. Es decir, se trata de sustituir los «chips» por los «biochips», en que se integrarían las moléculas orgánicas.

Estos ordenadores, basados en el carbono, tendrían grandes ventajas sobre los actuales fundados en el silicio. Por un lado se obtendrían nuevos métodos para el tratamiento de la información, acompañados de nuevos procedimientos de enfocar el problema del reconocimiento de formas y visión artificial. Pero, además, por otro lado, la densidad de elementos de cálculo podría ser mucho mayor que la correspondiente en los «chips» de silicio, lo cual constituiría una superioridad tecnológica innegable.

Hay que tener presente que el aumento de la densidad de los elementos integrados en los «chips» de silicio no puede ser indefinido. Se alcanzará un límite físico en la miniaturización, por encima del cual no se podrá pasar. Se trata de emplear arseniuro de galio en lugar de silicio y utilizar métodos fotolitográficos de fabricación. Ello permitiría, posiblemente, alcanzar densidades mayores, llegándose a espaciados de elementos de 0,2 milésimas de milímetro. Una miniaturización mayor tropezaría con grandes dificultades, ya que podría producirse un efecto «túnel» entre elementos próximos, dando lugar a una pérdida de información. Además de esta limitación en el proceso de miniaturización, existe otra importante: nos referimos a la tendencia al calentamiento excesivo de los «chips», cuando aumenta mucho la densidad de sus elementos. Esto es un gran inconveniente difícil de soslayar en las computadoras actuales.

Las dificultades que se presentan al tratar de progresar en la miniaturización, y los límites físicos que impiden seguir en este camino indefinidamente, han hecho pensar si, en lugar de seguir por el camino de la miniaturización, no sería mejor comenzar por las propias moléculas y construir, partiendo de ellas, elementos de cálculo.

Mediante estos «biochips» sería posible, en principio, lograr elementos de circuito de dimensiones miles de veces menores que los obtenidos con los «chips» de silicio actuales. Otra ventaja importante de los dispositivos moleculares es el poco calor disipado en sus elementos, lo que permitiría obtener estructuras de tres dimensiones que contribuirían a incrementar la densidad posible de aquéllos.

Se ha observado que algunas moléculas orgánicas pueden existir en dos o más estados electrónicos estables, los cuales dependen de la distribución de las cargas dentro de las moléculas. Aplicando a éstas una diferencia de potencial, se puede pasar de un estado electrónico a otro, constituyendo un elemento biestable.

Esta posibilidad de utilizar las moléculas orgánicas fue estudiada, primeramente, por Aviran y Seiden, en 1974, que patentaron el diseño de un dispositivo molecular que funcionaría como un diodo.

Aunque las moléculas orgánicas son apropiadas teóricamente para la construcción de biestables, existen, sin embargo, problemas técnicos que se deben superar. Parece que la síntesis de estructuras complejas con los procedimientos convencionales no dan buenos resultados. Se debe emplear la ingeniería genética para «programar» microorganismos con objeto de que se produzcan las estructuras deseadas.

Las proteínas se podrían utilizar para construir bloques de un «biochip». Las proteínas tienen la aptitud de autoensamblarse en presencia de otras molécula

como el DNA (ácido desoxirribonucleico), y mediante el uso de la ingeniería genética se pueden producir bacterias u otros organismos que permiten construir el «biochip» utilizando su código DNA como conjunto de instrucciones.

Las investigaciones en dispositivos moleculares computacionales exigen una formación interdisciplinaria y se agrupan bajo la denominación de bioelectrónica. Los investigadores pueden agruparse en los siguientes campos: a) biólogos moleculares que investigan en la construcción de bloques biológicos para la fabricación de dispositivos de cálculo; b) químicos que trabajen en sintetizar estructuras químicas que funcionen análogamente a circuitos y conmutadores en los dispositivos convencionales; c) especialistas en ordenadores, con objeto de desarrollar nuevas arquitecturas que permitan simular el tratamiento de la información biológica; d) físicos e ingenieros electrónicos que trabajen en el problema del procesamiento de señales y de los órganos de entrada y de salida a escala molecular.

No se ha construido aún ningún prototipo de «biochip», aunque se han hecho varios intentos siguiendo diferentes caminos y tratando de demostrar su posibilidad mediante experimentos que permitan realizar la biestabilidad química o el autoensamblaje de conjuntos tridimensionales de proteínas.

Probablemente los primeros prototipos básicos se lograrán en las Universidades y centros de investigación. Partiendo de estos prototipos las grandes empresas y laboratorios realizarán los trabajos de desarrollo necesarios para convertir estos prototipos en dispositivos competitivos con la tecnología microelectrónica que entonces exista y en aplicaciones como visión artificial y robótica. Lograr una computadora biológica es tarea que exigirá más tiempo y posiblemente se obtendrá a primeros del próximo siglo. Sin embargo, los vaticinios en algunas ocasiones pecan por exceso. En efecto, la experiencia nos demuestra a veces que las nuevas tecnologías llegan antes de lo esperado. Cuando se comenzaron las computadoras electrónicas, nadie podía imaginar su desarrollo casi increíble. Cuando yo trabajaba en el Computation Laboratory de la Universidad de Harvard (1951), la máquina que allí se construía ocupaba una gran habitación y tenía menos potencia que los microordenadores actuales.

En nuestro país convendría investigar en estos temas. El Centro de Investigaciones y Desarrollo del C.S.I.C. de Barcelona parece que ya lo está haciendo. De esta forma no se perderá el tren de los «ordenadores moleculares» como, desgraciadamente, nos ha ocurrido con otras tecnologías.

A continuación desearía señalar algunas propuestas en el campo tecnológico dirigidas a las Fundaciones y que, en parte, han sido ya expuestas precedentemente. (Debemos destacar que algunas Fundaciones llevan a cabo ya, total o parcialmente, algunas de las propuestas que presentamos).

Consideramos como uno de los objetivos importantes de las Fundaciones:

1. Patrocinar y encauzar investigaciones tecnológicas que se hallan en la frontera de las tecnologías conocidas, con objeto de formar núcleos o equipos de trabajo que más adelante puedan desarrollarlas en Centros estatales o internacionales de investigación. El papel importante, a mi juicio, de las Fundaciones reside en servir de plataforma de lanzamiento de nuevas investigaciones, en zonas fronteri-

zas, cuando se hallan en estado embrionario. Como ejemplo podemos señalar las «computadoras moleculares» a que hemos hecho alusión precedentemente.

En general, creemos que el papel de las Fundaciones tiene que ser complementario al de las organizaciones de investigación. Como dice José Luis Yuste «las Fundaciones pueden cubrir lagunas de la investigación en el sector público, con una flexibilidad de gestión y rapidez de decisión que les permiten una actitud más audaz en la orientación de sus esfuerzos hacia sectores olvidados».

2. Patrocinar y encauzar investigaciones tecnológicas que sin hallarse en la frontera del conocimiento constituyen, sin embargo, tecnologías punta, que tienen parcelas en las que aún se puede investigar con eficacia. Como, por ejemplo, ocurre en la Robótica, Microelectrónica e Informática.

Con estas investigaciones y los desarrollos correspondientes, no sólo se logrará avanzar en la zona tecnológica investigada, sino también, en muchos casos, se contribuirá eficazmente a la adquisición de una tecnología propia, de una tecnología nacional. En este sentido el papel de las Fundaciones puede ser de gran importancia para el desarrollo tecnológico de España.

3. Patrocinar y organizar Cursos, Conferencias, Seminarios, Simposios, etc., sobre temas de vanguardia en el campo de la tecnología, en los que intervengan personalidades científicas, nacionales y extranjeras, dedicadas a grupos seleccionados de asistentes, con objeto de formar personal especializado en aquellos temas tecnológicos.

Dentro de este aspecto nos referimos, también, a los cursos cortos, de 3 ó 4 días de duración, similares a los que se organizan, con alcance internacional, por determinadas Universidades, dentro del Plan de Educación Técnica (o de Ingeniería) continuada y que tienen por objeto incrementar la calidad profesional de ingenieros y científicos. Estos seminarios deben proyectarse para acrecentar la competencia de aquéllos, exponiéndoles el estado actual de los conocimientos en el tema objeto de estudio.

Estos seminarios podrían realizarse por las Fundaciones conjuntamente con la colaboración de una o más Universidades. Creo que la colaboración de las Fundaciones con las Universidades y Centros de Investigación puede dar óptimos frutos.

Formación de Investigadores

Uno de los aspectos importantes para el progreso de la investigación es la formación del personal investigador. La contribución de las Fundaciones a esta formación puede ser de gran interés y a ella hay que dedicar mucha atención, ya que exige mucho tiempo y apoyo económico. Para que esta labor de formación no se malogre es preciso que el joven investigador, después de su periodo de formación en el extranjero, encuentre en nuestro país el cauce apropiado para proseguir sus trabajos de investigación para los que ha sido preparado. Si esto no ocurre así, los resultados son lamentables. En efecto, aparte la desmoralización sufrida por el investigador en ciernes ante la dificultad de seguir sus trabajos hay que considerar, también, la pérdida que representa para nuestro país la falta de continuidad en la

labor investigadora de personas que se han preparado para ello.

La concesión de becas hay que realizarla con mucho cuidado y las Fundaciones deben ejercer su responsabilidad vigilando la labor efectuada durante el periodo de la beca. Esta tutela sobre la tarea que están desarrollando, se debe llevar a cabo examinando periódicamente los trabajos e informes sobre su marcha, asegurándose que responden al tema y amplitud a que el becario se comprometió.

Clima de la Investigación en España

Vamos a analizar un aspecto que atañe a la Ciencia española y a los investigadores. Nos referimos al poco interés de la sociedad española por la Ciencia. Al español medio le atrae, en más o menos grado, la literatura, el arte, la política, los deportes, etc., pero no la Ciencia. El que «inventen ellos...» de Unamuno está enraizado aún en la mente de gran número de españoles. Si a pesar de ello se les pregunta qué opinión tienen sobre la Ciencia española su contestación es evasiva pero teñida de un cierto excepticismo, por no decir pesimismo. Algunos, sin embargo, añadirán que algunos investigan o han investigado en el extranjero con éxito y hacen o han hecho una labor científica admirable. Y ahí queda la cosa.

Para crear un clima que permita comprender el impacto de la Ciencia y de la Técnica en la sociedad, las Fundaciones pueden jugar un papel importante, utilizando los medios de comunicación social para vulgarizar temas científicos, exponer la vida ejemplar de algunos investigadores, los logros y resultados de sus investigaciones; hacer, en una palabra, que los españoles vibren con los trabajos e inquietudes de sus hombres de la Ciencia y de la Técnica.

Pero sobre todo, en donde hay que actuar es en la mente del niño en la primera y segunda enseñanza. Este contacto con la Ciencia, en esta primera fase educativa, influye en la formación intelectual del estudiante en general y puede, en algunos casos, despertar en él vocación hacia aquel campo, que se sedimentará en los estudios universitarios. Terminados éstos, el joven científico debe reflexionar y decidir si tiene, realmente, vocación para la investigación. Sólo con manifiesta vocación es aconsejable dedicarse a esta carrera, que puede y debe, en algunos casos, compaginarse perfectamente con la enseñanza universitaria. La investigación ofrece al que la practica con amor y entusiasmo un camino que dará sentido a su vida y le permitirá superar las dificultades que encontrará en su trabajo en nuestro país. Desgraciadamente, la realidad es esta y me temo que pasará algún tiempo antes de que la investigación científica tenga en España el lugar que le corresponde.

Esperemos que las nuevas generaciones de científicos contribuyan a que la investigación se identifique con la sociedad. Con ello se conseguirá que la imagen del investigador se dignifique, adquiriendo el respeto y consideración que merece.

Museos de la Ciencia

El establecimiento de Museos de la Ciencia puede ser uno de los objetivos importantes de las Fundaciones, que entraría en el campo de la divulgación de los co-

nocimientos científicos.

Es realmente deplorable la situación de España en este aspecto, aunque parece que ahora se pretende hacer algo positivo. Ello señala la falta de interés de la sociedad y del Estado por todo lo científico. Pero por eso mismo sería interesante y formativa la existencia de museos. En ellos se comunica a los visitantes una mentalidad y espíritu científico, hace que se descubra su natural inclinación por la Ciencia, se les suministra información sobre investigación y progreso, de forma que se sientan como si participasen realmente en los desarrollos tecnológicos. Es una de las formas más eficaces de educación popular.

Los que han visitado el Deutsches Museo de Munich recuerdan la delicia de recorrer sus salas. Igual impresión se tiene con la visita al Palais de la Decouverte de París, dedicado exclusivamente a la Ciencia. Un museo esencialmente técnico es el de Chicago.

En general, en los museos se relaciona la máquina u organismo natural que se muestra, con un modelo que puede ser animado, y con una demostración que puede ser un experimento físico. El objetivo es fundamentalmente didáctico. Existen, también, museos especializados, como, por ejemplo, el Museo de Computadoras de Boston (EE.UU.), en el que se muestra una visión histórica y actual de las computadoras.

Dado el interés de los museos para la promoción y divulgación de la Ciencia, me atrevo a reiterar aquí la propuesta de que las Fundaciones presten atención a la posibilidad de patrocinar, total o parcialmente, museos de la Ciencia, de carácter general o especializados.

Creación de Centros de Investigación

Una propuesta que creemos interesante para las Fundaciones, es la posibilidad de crear Institutos de investigación pilotos, para materias que son nuevas o insuficientemente estudiadas en los Centros estatales o bien a las que pretenden dar unas directrices distintas o procedimientos de trabajo nuevos.

La creación y mantenimiento de estos Centros puede ser de gran importancia para el desarrollo de la investigación en nuestro país en su aspecto de complemento de la labor del Estado y empresas privadas en este sentido.

La creación de estos Centros especializados podría incidir favorablemente en evitar «la fuga de cerebros y favorecer su recuperación», que tanta transcendencia tiene para nuestro potencial investigador.

He tratado de exponer algunas ideas, ofrecer algunas sugerencias que acaso sean de utilidad e interés para las Fundaciones, cuya meritoria y abnegada labor dedicada a la promoción y apoyo a la investigación contribuye, sin duda, notoriamente al progreso científico de nuestro país.

J.G.S.*

* Catedrático de Física Industrial. Universidad Complutense de Madrid.