

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FISICAS Y NATURALES

DISCURSO INAUGURAL
DEL CURSO 1963-1964

LEIDO EN LA SESION CELEBRADA EL DIA 20 DE NOVIEMBRE DE 1963

POR EL ACADEMICO NUMERARIO

EXCMO. SR. D. SIXTO RIOS



M A D R I D
DOMICILIO DE LA ACADEMIA
VALVERDE, 22.—TELEFONO 221-25-29
1 9 6 3

Depósito Legal M. 14.885.-1963

TALLERES GRÁFICOS VDA. DE C. BERMEJO.—J. GARCÍA MORATO, 122.—MADRID

RENTABILIDAD DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA

Invertir en la Ciencia, como invertir en la enseñanza, íntimamente relacionada con ella, es invertir en el crecimiento económico.

LORA TAMAYO

EXCMOS. SRES. ACADÉMICOS :

SRAS., SRES. :

La Ciencia ha permanecido largo tiempo al margen de la vida económica y de la realidad social. Vivía en un mundo puro y desinteresado con escasas relaciones con la economía. La técnica, que tanto ha influido en los tres últimos siglos sobre el desarrollo económico, tenía, a pesar de todo, una débil relación con la Ciencia. Pero las perspectivas han cambiado radicalmente en los últimos años, en que se presenta una dependencia cada vez más fuerte del progreso técnico respecto de la Ciencia, la cual aparece cada día más claramente como el motor de la tecnología y, como consecuencia, resulta ser factor decisivo del desarrollo económico. De este modo la Ciencia se revela como una realidad económica que pasa en nuestros días a primer plano de consideración. Como resultado aparece el interés y la comprensión por la industria y los Gobiernos de la importancia de las inversiones regulares y sistemáticas en investigación, que vienen a ser el fermento del desarrollo económico, como en otras épocas fueron las implantaciones de centrales hidráulicas, fábricas de automóviles, etc. Tal convenci-

miento, que tiene sus raíces en la revolución industrial, pero que es un fenómeno posterior a la II Guerra Mundial, parece destinado a causar un poderoso impacto sobre el ritmo del crecimiento económico y, más aún, sobre la estructura de nuestra Sociedad y la naturaleza de nuestra civilización que tiende a una integración de la Ciencia en la misma, como una de las características más acusadas de nuestra época.

Las inversiones de capital en presas, carreteras, fábricas, representan consumo diferido con vistas a mayor producción posterior; las inversiones en investigación y desarrollo constituyen un paso más en este proceso. Representan una carga contra la corriente de producción en interés de mayores inversiones y mayor productividad posterior.

Esta productividad de los métodos de producción indirectos es un hecho básico tecnológico que fue ya conocido por el primer hombre de las cavernas que, como dice Samuelson, «dejó de pescar una mañana para construir un anzuelo con el que pescar por la tarde mayor cantidad de peces».

Quizá no esté de más, dada la actual gama de interpretaciones de la locución Investigación y Desarrollo, recoger aquí la acepción más común, que es la dada por la National Science Foundations de E. E. U. U. y que es la que se utilizó en la encuesta estadística de 1953-56 y otras posteriores realizadas con el título Science and Engineering in American Industry entre 11.600 empresas americanas.

Según ella, la Investigación y Desarrollo (que en lo que sigue designamos por I-D) comprende todas las actividades realizadas en el marco de un organismo de tipo cualquiera por personas formadas en las ciencias físicas, ciencias del ingeniero, ciencias biológicas y ciencias humanas, cuando el objeto de tales actividades es:

a) Estudiar un problema cuyo fin es un progreso en el conocimiento, ya sea el objeto final una aplicación concreta o un conocimiento puro y desinteresado.

b) Aplicación de un conocimiento existente a problemas relativos a la creación de un nuevo producto o un nuevo proceso.

c) Aplicación de un conocimiento existente a problemas planteados por la *mejora* de un producto o un proceso ya existentes.

Esta definición que, como todas las que se han dado de la I-D, tiene dificultades al tratar de aplicarla en casos concretos, excluye desde luego todo lo que sea *trabajo de rutina*, tanto en la producción industrial como en el laboratorio y otros dominios.

Trataremos de describir cualitativa y cuantitativamente la influencia de este nuevo elemento que ha entrado con fuerza dramática en el cuadro del crecimiento económico, y que es estudiado actualmente con la máxima atención por muchos economistas como

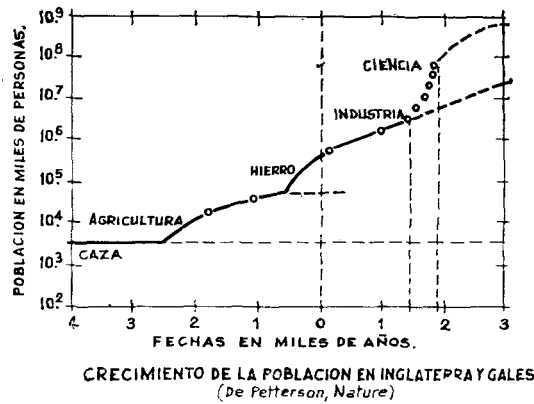


Fig. 1.

el más importante tipo de inversiones autónomas, llamadas así, porque crean su propia demanda.

Vamos a referirnos con brevedad a los siguientes aspectos : 1.º efectos sociales de los progresos tecnológicos ; 2.º características de fuerte aceleración en dichos efectos ; 3.º relaciones cuantitativas entre dichos progresos y el crecimiento económico.

Indiquemos algunos efectos de la Tecnología sobre la evolución de la sociedad mundial.

La figura 1 tomada de un trabajo de M. Petterson, indica los efectos de la tecnología sobre el crecimiento de la población en Inglaterra y Gales a través del tiempo. La escala de tiempos va de

4000 años a. J. C. al año 3000 d. J. C. y la escala vertical, que se refiere al número de habitantes, es logarítmica.

En esta representación se ve que la población permanece prácticamente estable durante casi dos milenios, mientras el hombre era cazador y nómada, hasta el primer cambio tecnológico constituido por la introducción de la agricultura como medio normal de subsistencia.

Un segundo salto importante en el crecimiento de la población coincide con la introducción del hierro, y un tercer impulso ocurre con ocasión de la verdadera introducción de la tecnología hacia 1500.

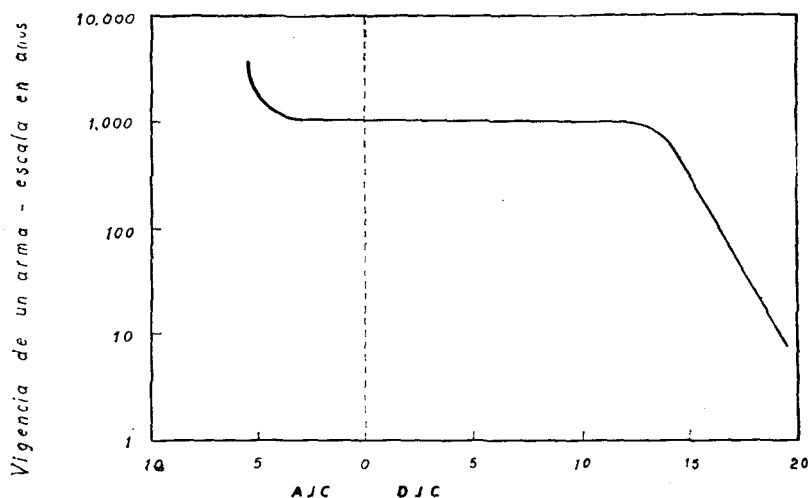
En tiempos más recientes se han señalado tres períodos que marcan grandes impulsos de crecimiento económico en los países que van en vanguardia. Cada uno viene a durar media centuria. El primero, originado por el desarrollo de la industria textil y la máquina de vapor, termina a mediados del siglo XIX; el segundo, ligado al transporte por F. C. y el desarrollo de la industria siderúrgica, llega a 1890. El tercero, basado en la electricidad y en el automóvil, llega hasta la II Guerra Mundial. Entonces surge el último y más reciente gran impulso, que no se puede atribuir fácilmente a este o aquel nuevo invento. Resulta hoy excesivamente restringido, a pesar de que no lo pareció en los años inmediatos posteriores a la guerra, utilizar la designación de edad atómica. También lo es llamarla edad de la automática o cibernética, como han propuesto Wiener y otros. E incluso el nombre de edad espacial parece ya excesivamente limitativo. A causa de su enorme amplitud debe ser llamada *era de la investigación* o de la *revolución investigadora*.

La razón va resultando cada día más clara. La investigación científica a diversos niveles es el más importante factor del crecimiento de conocimientos científicos y tecnológicos que culminan en la creación de nuevos procesos, nuevos productos, nuevos recursos. Se ha dicho con razón, que es el gran progenitor del crecimiento económico.

En otros países las representaciones anteriores son completamente válidas, salvo un desfase mayor o menor en el tiempo. To-

davía hay sociedades en Oceanía, que se encuentran en la primera fase de cazadores de fieras y otras en Africa, que se encuentran en la agrícola o en las primeras etapas de la época científico-tecnológica.

Es interesante observar una segunda característica de la evolución social debida a los cambios tecnológicos, que consiste en su fuerte aceleración, es decir, que la velocidad del cambio supera frecuentemente a la capacidad humana de adaptación, lo que crea problemas sociales y éticos importantes. Guardo entre los recuerdos personales de la infancia el asombro con que veían los niños



Vigencia de un arma - Fechas en centenares de años

Fig. 2.

de un pueblecito castellano a seis km. de la capital de provincia, en que yo pasaba los veranos, el paso de un automóvil por aquellos caminos acostumbrados a las carretas de llantas férreas. Y el no menor de los niños de Madrid, entre los que yo estaba, cuando surcaba nuestro cielo un avioncito en el que nadie de la generación actual se atrevería a volar hoy.

Confirmando estas observaciones personales están los curiosos

gráficos adjuntos. En la fig. 2 (*) se ve como se ha ido acortando a lo largo de los años el tiempo de vigencia de un arma de guerra. Se ve que antes de la Era científica las armas tuvieron plazos de vigencia del orden de miles de años, y estos plazos van disminuyendo rápidamente hasta reducirse a unos 30 años en los albores de la II Guerra Mundial, para llegar en nuestros días a una vigencia media de unos 6 años según las estadísticas americanas.

Otro ejemplo en este mismo orden de ideas representa la tremenda aceleración en el desarrollo de los antibióticos. Del descubrimiento de la penicilina en 1929 y su aplicación en 1939 a nuestros días, la curva de crecimiento cronológico de nuevos antibióticos de interés presenta un aspecto impresionante. Es a la vez un ejemplo notable de la influencia de la investigación básica en el desarrollo. Hasta qué punto las grandes industrias farmacéuticas, que trabajan en este campo están convencidas de la importancia de la investigación básica en el mismo, lo prueba que el 20 % de sus inversiones en I-D lo hacen precisamente en investigación básica (**).

Resulta así la industria de antibióticos, que sólo en USA en 1956 produjo 2,7 millones de libras por un valor 300.10^6 \$, un ejemplo claro de la influencia de la I-D en la longevidad, bienestar humanos y aumento de la renta nacional.

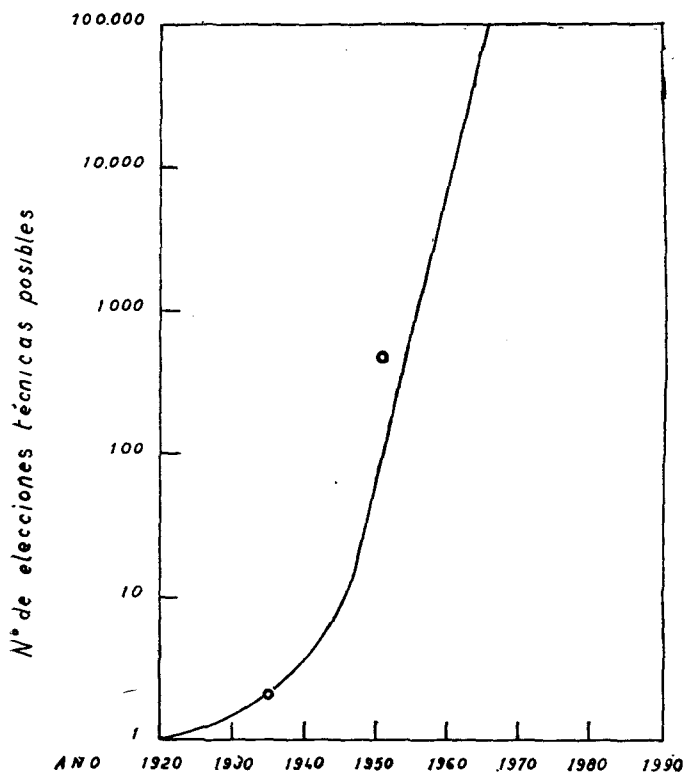
Este rápido progreso tiene como consecuencia la velocidad con que se quedan científicamente atrasados los procesos de producción, lo que crea grandes problemas de conversión de unas a otras fabricaciones, a la vez que aumenta el número de posibles elecciones técnicas.

La figura 3 representa cómo ha ido aumentando con el tiempo el número de elecciones técnicas posibles. Se refiere a las armas de guerra, pero la relativa al progreso tecnológico general es análoga. Se ve en ella un punto de crecimiento máximo en 1940.

(*) CH. SINGER, HOLMYARD, HALL: *A History of technology*. Oxford University Press. 1954-58.

(**) BURKHLOEDR: *Antibiotics, Sciences*, 1950.

Esta diversificación de elecciones técnicas es la que hace posibles tantos nuevos descubrimientos y productos, y como consecuencia de ellos aumenta la renta nacional y el bienestar nacional, así como la inestabilidad en el desarrollo industrial. Por otra parte, el incremento del número de elecciones posibles es debido a la investigación científica y al consiguiente aumento del conocimiento



Crecimiento del número de elecciones técnicas posibles

Fig. 3.

científico. Una idea de este incremento nos la da el gráfico 4, que representa el número de revistas científicas publicadas en el mun-

do a través del tiempo. En ella se parte del año 1600 y se llega al año 1960 con alrededor de 100.000 revistas científicas.

Resumiendo lo expuesto, podemos decir que el bienestar material, debido al desarrollo científico, ha tenido un dramático crecimiento a partir de 1950; que este bienestar material tiene enormes consecuencias sociales en cada país; que entre estas consecuencias está una creciente inestabilidad a causa del gran número de elecciones técnicas posibles en cada progreso, lo que hace posible una mayor competencia para cada industria y cada país si hacen uso creciente del progreso tecnológico. Uso creciente de la tecnología

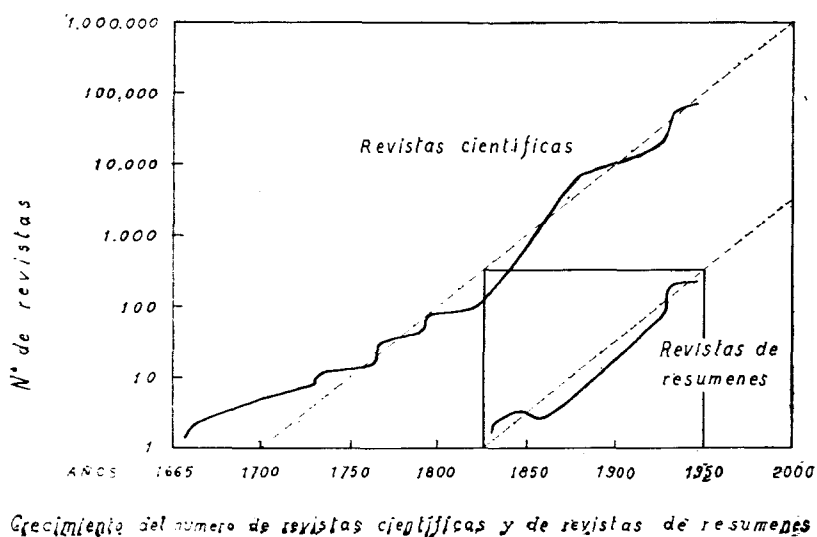


Fig. 4.

y su consecuencia, productividad creciente *per capita*, dependen de nuestro incremento en uso de la energía *per capita*.

Esto nos conduce al estudio de los efectos cuantitativos sobre la renta nacional de las inversiones en investigación científica.

Los estudios sobre rentabilidad de la investigación son de un lado de tipo local o microeconómicos y, por otra parte, de carácter global o macroeconómicos.

En los primeros, se trata de medir el rendimiento de un trabajo de investigación en el marco de una empresa, y en los segundos el objetivo más ambicioso es medir el beneficio económico del progreso técnico al nivel nacional.

Dentro del primer tipo hay que señalar el método de Zvi Grifliches, con el que estableció que la rentabilidad de las investigaciones que condujeron a la creación del maíz híbrido era del orden del 800 %. Tal método observa que la introducción de un nuevo producto permite satisfacer una demanda existente a menor coste, de lo que se deriva un primer beneficio ; pero al mismo tiempo la curva de oferta se desplaza, lo que tiene un efecto en aumento del consumo y, por tanto, un segundo incremento de beneficio. El rendimiento se mide por la razón del incremento de beneficio así definido a los gastos de la investigación, proyectado todo a una fecha horizonte y afectando tanto los gastos como los ingresos de una cierta tasa de interés. Una simplificación de este método ha sido aplicada por Schultz a la medida de la rentabilidad de la investigación agrícola en E. E. U. U.

Un método intermedio entre el estudio de la rentabilidad de un producto o una invención particular y la aplicación de modelos matemáticos globales, lo constituyen las encuestas realizadas con métodos estadísticos apropiados en las industrias y centros de investigación, y que vienen practicándose hace años en Norteamérica de un modo sistemático y fructífero por la National Science Foundation, Mc Graw-Hill, la Ethical Drug Industry y la Pharmaceutical Manufactures Asociation, etc.

Se comprende la preocupación por la dificultad de este nuevo tipo de estudios estadísticos, a los que el Case Institute of Technology ha dedicado un coloquio en abril de este año con el título Investigación Operativa de la I. D. Asimismo una Sección de la III Conferencia Internacional de I. O. de Oslo del mes de julio pasado, en la que tuvimos el honor de representar al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, estuvo enteramente dedicada a dicho tema.

Recientemente, la OCDE se ha ocupado de impulsar en Europa este tipo de encuestas y normalizarlas para que sus resultados sean comparables. En el prólogo de la publicación en que propone tales estudios, señala con ironía el hecho de que «la mayoría de los países dedican más atención a conocer el número de gallinas, la puesta de huevos y el precio de los mismos, que a hacer estadísticas de sus técnicos e investigadores, a valorar su rendimiento y los gastos que ocasionan».

En descargo de los estadísticos digamos que no hace falta mucha perspicacia para comprender la menor dificultad de tratar la producción avícola que la de los investigadores.

Algunos comentarios a los resultados de dichas encuestas americanas tienen gran interés para darse cuenta de aspectos cuantitativos y cualitativos de la posición de las empresas y organismos en relación con la investigación y desarrollo. Por ejemplo, en relación con la cuestión del plazo de respuesta que tienen las inversiones en I. D., se encuentran en la encuesta Mc. Graw-Hill de 1958 los siguientes resultados : 39 % de las empresas entrevistadas en la muestra consideran que el plazo de respuesta es menor de tres años, 52 % responden de 3 a 6 años y sólo 9 % consideran como posible un plazo de respuesta superior a seis años ; estas últimas son las que se dedican fundamentalmente a investigación básica. Estos datos ponen de manifiesto que un gran porcentaje de empresas consideran significativamente mejores las inversiones en I. D. que las inversiones en nuevo equipo.

En cuanto a la tasa anual de respuesta, se encuentra en la encuesta de 1951 alguna empresa petrolera que afirma obtener una respuesta total de 15,40 dólares por cada dólar invertido en I. D., y algunas papeleras que cifran en 10 dólares anuales la respuesta a cada dólar invertido en I. D. Una idea del convencimiento de la industria americana sobre la elevada rentabilidad de estas inversiones, la da el acelerado aumento de tales inversiones que pasan de 1,4 billones de dólares en 1949 a 4,5 billones de dólares en 1959, lo que representa un crecimiento del 220 % en diez años.

Una encuesta reciente realizada por el Instituto de Investigaciones Estadísticas y publicada en la Revista Trabajos de Esta-

dística e Investigación Operativa, no da gran optimismo sobre el desarrollo actual de los métodos estadísticos y la Investigación Operativa en la Industria española.

Una encuesta realizada por la Comisión de Investigación, integrada en la Comisaría del Plan, viene a confirmar en cierto modo lo anterior : las inversiones en I. D. de las empresas españolas, incluyendo las estatales, no llegan al 15 % de la inversión total que es del orden del 0.1 % de la renta nacional cuando en muchos países rebasan las inversiones privadas en I. D. el 70 % del total que es del orden del 2 % al 5 % de la Renta Nacional.

A pesar de todas las dificultades señaladas que se acrecientan, como es fácil comprender, en el caso de la investigación básica, este método de encuestas y el método de estudios de rentabilidad de trabajos concretos, pueden dar una magnífica información sobre importantes aspectos de las cuestiones planteadas, pero son insuficientes para dar una idea global del rendimiento de la investigación o los beneficios económicos del progreso técnico.

Tal estudio mediante un modelo matemático ha sido realizado recientemente por los Profs. Johnson y Striner, de la John Hopkins University.

El empleo de modelos matemáticos es característico de la Investigación Operativa como metodología en el tratamiento de procesos complejos en que intervienen hombres, máquinas y materiales.

Acotemos a este respecto la opinión de Kemeny para los que aún duden de la necesidad y conveniencia del empleo de las Matemáticas en este campo : «Se oye a menudo decir que las Ciencias Físicas son Matemáticas y las Ciencias Sociales son no Matemáticas. La causa de este mal entendido reside en que muchos asocian las Matemáticas simplemente al empleo de números.» Como dice Richardson : «matematizar la teoría de un fenómeno no es simplemente introducir ecuaciones y fórmulas en él, sino moldearlo y fundirlo en un todo coherente, con sus postulados claramente enunciados, sus definiciones establecidas, sin fallos y sus conclusiones rigurosamente obtenidas.»

En la formulación de un modelo matemático se siguen generalmente las siguientes etapas :

1.ª Se definen algunas variables, que toman varios valores distintos en el proceso considerado y que se consideran como más importantes en la explicación del mismo.

2.ª Se establecen algunas relaciones analíticas entre estas variables, como consecuencia de relaciones lógicas plausibles entre las mismas.

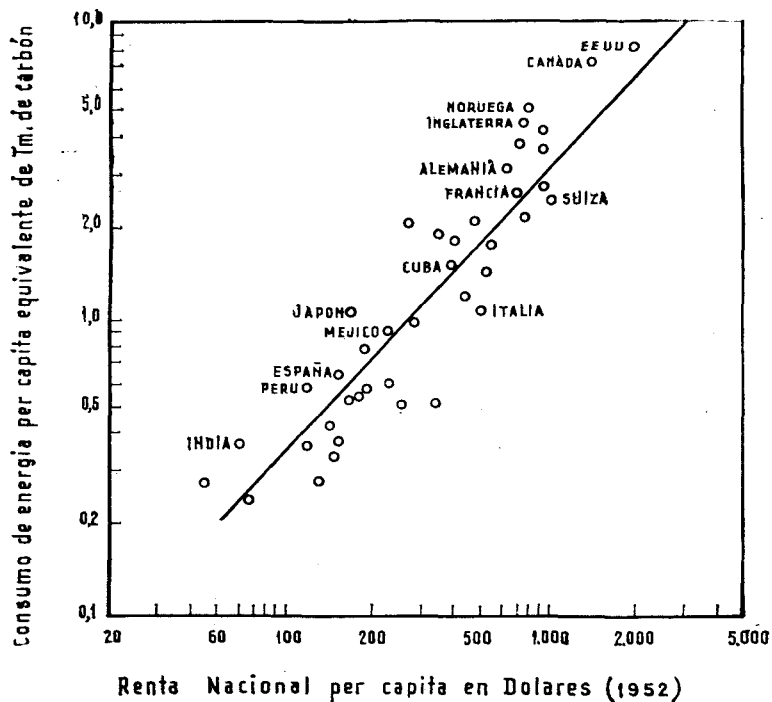


Fig. 5.

3.ª Se estudia el ajuste del modelo a los datos de observaciones o experimentos realizados y se acepta o rechaza según la índole de dicho ajuste.

4.^a En caso de ser aceptado el modelo, se resuelven las ecuaciones y se obtienen nuevas relaciones entre las variables, como consecuencia de las planteadas.

5.^a Se interpretan los resultados y se estudia su relación con la realidad.

6.^a Se hacen previsiones, que es el objetivo final de la formación y estudio del modelo.

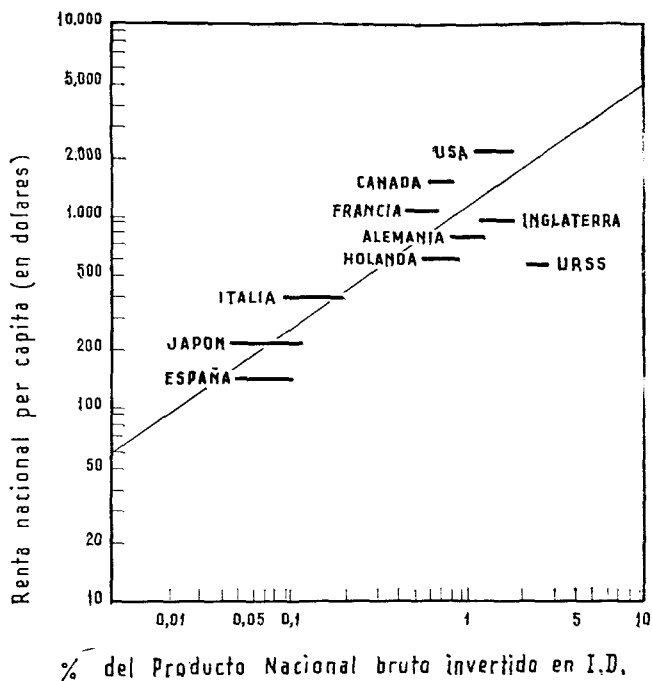


Fig 6.

Se trata en definitiva, del método científico usado con éxito en las ciencias físicas y que al tratar de adaptarlo a las ciencias sociales y económicas ha requerido nuevos progresos de la matemática por cuatro razones principales :

- 1.^a La gran variabilidad de los datos de observación.
- 2.^a La dificultad o imposibilidad de experimentación propiamente dicha.

3.ª El corto número de observaciones de que generalmente se dispone para contrastar el modelo con la realidad.

4.ª La escasa estabilidad de los modelos a lo largo del tiempo, a causa de los cambios de las reacciones humanas, costumbres, etcétera.

Con todas estas dificultades, superadas en muchos casos gracias al perfeccionamiento de los métodos matemáticos y estadísticos, la metodología de los modelos es hoy generalmente aceptada como la más poderosa herramienta de estudio en las ciencias sociales.

En el modelo de Johnson y Striner se parte de la observación de algunas relaciones empíricas entre tecnología y economía. La figura 5 representa la relación para un gran número de países entre renta nacional *per cápita* y consumo de energía *per cápita*. Se observa que, como era natural esperar, hay una fuerte correlación entre ambas variables y que, a medida que cada persona controla una mayor cantidad de energía mediante máquinas, motores, etc., la productividad *per cápita* es mayor.

La figura 6 representa la relación entre el tanto por ciento del producto nacional bruto invertido en I. D. y renta nacional *per cápita*, observándose que la correlación es positiva entre ambas variables y que los países que tienen una renta nacional *per cápita* elevada invierten un fuerte % de su producto nacional en I. D. Esta relación tiene también una explicación clara; si existe una correlación positiva entre renta nacional *per cápita* y consumo de energía *per cápita*, es natural que exista una relación entre la inversión hecha para lograr nuevos descubrimientos y progresos técnicos y la renta nacional *per cápita*.

Podemos decir, resumiendo, que la relación de dependencia entre productividad *per cápita* y consumo de energía *per cápita* no es una simple correlación estadística, sino que tiene el carácter de una relación causal, y lo mismo ocurre con la relación indicada entre renta nacional *per cápita* y porcentaje de producto nacional bruto invertido en I-D.

Un ajuste de datos estadísticos representados en la figura ha permitido a Johnson y Striner llegar a la relación sencilla

$$P_c = 200 E$$

entre la cantidad de energía utilizada *per cápita* E y la renta nacional «per capita» P_c . No debe sorprendernos que la productividad «per capita» sea una función lineal de la cantidad de energía utilizada. No es extraño, sin embargo, la fuerte dispersión alrededor de la recta de ajuste, ya que la productividad es influida por otros factores : facilidad y coste de materias primas, política de inversión de capitales, política de investigación y desarrollo, libertad y rigidez de planeamiento económico para buscar un óptimo, coste de transportes...

La relación obtenida por Johnson y Striner entre el tanto por ciento de producto nacional bruto invertido en I-D, que designamos por R, y renta nacional «per capita», que designamos por P_c , es algo más complicada. Han visto que se puede escribir

$$P_c = 1.300 R^{2/3}$$

Esta relación no es sorprendente. Parece natural esperar que la mayor respuesta tendrá lugar a niveles bajos de inversión y que exista una tendencia a un efecto de saturación a medida que el esfuerzo en investigación va siendo superior. Sin embargo, este efecto de utilidad marginal decreciente, aún en países que se encuentran en los niveles de inversión de USA y URSS, están lejos de producirse, como prueban trabajos recientes de Schlichter.

Se obtiene derivando la relación entre P_c y R la expresión :

$$\frac{d P_c}{d R} = 870 R^{-1/3}$$

es decir, que la tasa de respuesta esperada en Producto Nacional por dólar empleado en I-D es inversamente proporcional a la raíz cúbica del esfuerzo de investigación. Una consecuencia im-

portante que resulta de la relación anterior es que la tasa de respuesta es fuerte aún en el intervalo del 5 por 100 al 10 por 100 de renta nacional invertida en I-D.

Los cálculos hechos con tales relaciones han conducido a los profesores Johnson y Striner a la cifra concreta de que a una inversión de un dólar en I-D en EE. UU. corresponde una respuesta esperada de 23 dólares en Producto Nacional bruto. A pesar de que este resultado puede considerarse como una primera aproximación es bastante impresionante.

Hay autores, como Slichter, que afirman que la utilidad marginal de las inversiones en I-D se puede considerar creciente. Esto se justifica observando que el producto de esta «industria» del descubrimiento» que es la I-D, es nuevo conocimiento. Cuanto mayor es el cuerpo de conocimientos existentes, tanto mayor puede ser la repercusión y el valor de un nuevo descubrimiento. Esencialmente con cada nuevo producto de descubrimiento obtenemos un rendimiento creciente de antiguo conocimiento sobre el cual el nuevo rendimiento estaba basado.

Por todo esto parece natural que los Gobiernos conscientes asuman la responsabilidad de inversiones de capital con utilidad marginal creciente, que asociadas a las inversiones en I-D de las industrias promueven el desarrollo y crecimiento. Y hay quien insiste, como Schonfield, en que lo que importa es elevar el monto absoluto de la cifra de inversiones en investigación para llegar, por ejemplo, en Inglaterra, al nivel de Estados Unidos.

Al aplicar cálculos análogos a un país al nivel de inversión en la investigación, renta nacional, etc., como el nuestro, se obtienen cifras aún muy superiores de respuesta que convendrá perfilar, dada la fuerte dispersión que se observa en los puntos a niveles bajos y por la conveniencia de perfeccionar el modelo para tener en cuenta el tiempo de respuesta y otros factores.

De todos modos, el modelo da una indicación valiosa de la cuantía que pueden tener tales rentabilidades si las inversiones se pueden hacer de modo que en conjunto con el resto de un apropiado plan de desarrollo conduzcan a una respuesta próxima a la óptima.

No hay que olvidar, sin embargo, que dicha relación causal no se puede entender al pie de la letra, creyendo que todo esfuerzo en investigación y desarrollo se traduce en una ganancia neta e inmediata para la sociedad, ni tampoco en el sentido de que para elevar el nivel de la producción y el nivel de vida de un país, lo único que hay que hacer es invertir en I-D. Todos sabemos que múltiples programas de Gobierno, negocios y otros sectores de la economía privada, tiene efectos importantes sobre la productividad, así como sobre los niveles absolutos de producción. Incluso ciertos programas de I-D pueden dar lugar a mayores costes que beneficios en el sistema global. Así ciertos tipos de investigación que requieren grandes inversiones en material experimental, serían los programas menos adecuados en países subdesarrollados. Incluso puede parecer en éstos que cualquier programa de I-D puede ser socialmente indeseable dada la necesidad urgente, por ejemplo, de casas, alimentos y escuelas. Pero aún en tales casos hay que pensar que se están haciendo planes o programas para el futuro, y es en tales planes en los que hay que tener en cuenta cómo pueden influir las inversiones en I-D en la elevación de la renta nacional y el nivel de vida para un horizonte cronológico razonable.

Como consecuencia de ello, se plantean las cuestiones típicas de qué decisiones adoptar para alcanzar la tasa óptima de desarrollo económico. Tales cuestiones se refieren : 1.º, en qué aspectos debe ser hecho el esfuerzo en investigación y desarrollo ; 2.º, cuánto esfuerzo debe ser dedicado en dichos puntos a I-D, y 3.º, cómo debe ser soportado o catalizado.

Las técnicas, ya clásicas, de las matrices de Leontieff, en que se introducen nuevas columnas y filas para tener en cuenta los ingresos y salidas correspondientes a la llamada «industria del descubrimiento» han permitido a los investigadores operativos americanos Striner, Moore y otros, utilizando los métodos de la programación lineal o la programación dinámica, progresar positivamente en la solución de tan importantes problemas de programación de inversiones en I-D, con vista a obtener unas ciertas respuestas en renta nacional en años futuros.

Cuestión de capital importancia es la relación entre educación y capacidad para I-D. Productividad creciente *per cápita* depende, decíamos, de nuestro incremento en uso de la energía *per cápita*, y éste depende del esfuerzo creciente de científicos e ingenieros que sean capaces de incrementar las bases científicas de la ciencia y la ingeniería para la industria.

La habilidad de un país para utilizar tal soporte, depende del número de ingenieros y científicos que posea y de los que sea capaz de formar para años futuros.

Se considera en el trabajo de Johnson que esta relación es aproximadamente lineal y que la capacidad de investigación de cada país es proporcional al número de científicos e ingenieros dedicados a I-D.

Utilizando un modelo matemático muy simplificado y la hipótesis de educación universal, se llega a la conclusión de que un 2,5 a un 5 por 100 del total de trabajadores activos se debe educar para I-D.

Quizá en nuestro afán de exponer métodos y resultados cuantitativos, hemos hablado demasiado de aspectos pragmáticos y dejado un poco de lado la investigación fundamental, que es la base de la creación científica, que tiene un fin en sí misma y en la cual el investigador debe estar en condiciones de explotar sus ideas al margen de toda aplicación y fin exterior. La investigación fundamental es, sin duda, un capítulo especial.

Sin decirlo explícitamente, es la que consideran Jewkes y sus discípulos de Oxford cuando dicen: «las funciones de dirección y creación son por su misma esencia incompatibles, la organización de la investigación es destructora de la creación intelectual y de la difusión de las ideas. No ha sido en los grandes laboratorios industriales donde han surgido los mayores descubrimientos científicos y técnicos. Es perjudicial, en general, la tendencia a la explotación de los descubrimientos científicos».

Hablando en este templo de la Ciencia, eran necesarias estas frases de desagravio para los que tengan la respetable opinión que la Ciencia y sus ideas y realizaciones son tan altas y sublimes, que es irreverente tratarlas como bienes económicos.