

## Las bases ingenieriles de la función de producción

Pere Mir

El concepto de función de producción apareció a finales del siglo pasado como concepto clave del problema de la elección racional del productor. Su objetivo era contribuir a la elaboración de recetas resolutorias para que el empresario consiguiera maximizar sus ganancias. Entre estas reglas destaca la que prescribe que los distintos factores productivos deberán ser demandados hasta que sus respectivas productividades marginales igualen a sus específicos precios. La conexión existente entre la ley de la productividad variable y la función de producción, convierte a ésta en un elemento básico de la teoría convencional de la distribución de la renta.

### I. ORIGEN Y USO DEL CONCEPTO DE FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN

A grandes rasgos y para los exclusivos propósitos de la presente exposición, podemos distinguir dos puntos de vista acerca del origen de la teoría convencional de la producción. Por una parte, muchos autores la consideran una simple replicación de la teoría de la utilidad. En ello coinciden autores no adscritos a la escuela marginalista, caso de Pasinetti, como fervientes defensores de la pura lógica económica, caso de Schumpeter. El primero afirma que la teoría marginalista de la producción surgió por la *extensión* artificial a los problemas de la producción de los conceptos y axiomas previamente elaborados en el análisis de la elección racional del consumidor<sup>1</sup>. El segundo autor insiste en que los supuestos *ad hoc* (continuidad, derivabilidad, homogeneidad, etc.) contenidos en la teoría convencional de la producción, además de facilitar su comprensión y divulgación, están justificados porque su único objetivo es

1. Véase PASINETTI, L.L. (1985), *Cambio estructural y crecimiento económico*, Pirámide, Madrid, pág. 29.

estudiar la *lógica* de la elección del productor<sup>2</sup>. En muchos manuales se defiende esta misma concepción abstracta<sup>3</sup>.

Por otra parte, otros autores, aunque sin negar el anterior punto de vista, no dudan en identificar bases empíricas para la teoría convencional de la producción. Entre los que observan posibles bases ingenieriles de la función de producción destacan autores como P.A. Samuelson y R. Frisch. El primero afirma: "La teoría de la producción parte de los datos técnicos proporcionados por los ingenieros"<sup>4</sup> y el segundo expone la "ley del óptimo técnico" haciendo referencia a las investigaciones de los ingenieros agroquímicos<sup>5</sup>. Hilando un poco más fino, también Schumpeter cree observar posibles orígenes fácticos de la función de producción<sup>6</sup>.

La posición de estos autores implica dar una especial relevancia a la función de producción en tanto que relación técnica entre los factores y el producto resultante. Así, por ejemplo, Samuelson utiliza en su argumentación una hipotética función de producción de maíz a partir de los factores tierra y trabajo. Con ella construye las curvas del producto total y marginal del factor trabajo, nociones que considera pueden extenderse al resto de los factores productivos. Posteriormente, pasa a explicar la ley de los rendimientos decrecientes,

2. "El lector comprenderá fácilmente por qué las propiedades de la función de producción —o sea, el uso de una función de producción que constituya la única relación entre los servicios productivos empleados, todos considerados como 'sustitutivos'— la impusieron los teóricos, sobre todo para fines didácticos, en la enseñanza oral o en la redacción de tratados. Una función de producción de este tipo es fácil de manejar y arroja resultados simples. Sólo toma, además, de la masa de los hechos tecnológicos significativos, los sometidos a la elección *económica*, por lo que es útil para exponer la *lógica económica* de la producción. Nunca se repetirá con exceso que esa función de producción no es válida más que en un plano de abstracción elevado, sólo para plantas productivas planeadas, no existentes previamente". Extraído de SCHUMPETER, J.A. (1982), *Historia del análisis económico*, Ariel, Barcelona, 2a. ed., pág. 1127. Subrayado del autor.

3. Así, por ejemplo, en ABRAHAM-FROIS, G. (1986), *Économie politique*, Economica, París, 3a. ed., pág. 185, se ofrece un cuadro donde observar el gran parecido conceptual existente entre la teoría de la elección del consumidor y la del productor. También, al inicio del capítulo quinto de FERNÁNDEZ de CASTRO, J. & TUGORES, J. (1988), *Fundamentos de Microeconomía*, McGraw-Hill, Madrid, se establecen paralelismos entre ambas teorías dado que fueron desarrolladas para resolver parangonables problemas de elección.

4. SAMUELSON, P.A., (1983), *Economía*, McGraw-Hill, Madrid, 11a. ed., pág. 671.

5. Véase FRICH, R. (1963), *Las leyes técnicas y económicas de la producción*, Sagitario, Barcelona, págs. 97-98.

6. Discutiendo como la no separabilidad técnica de los servicios aportados por los diversos factores puede poner en entredicho la noción de productividad marginal, afirma que la agronomía es una excepción ya que en ella tal problema puede superarse. Véase la nota 209, de SCHUMPE-TER, J.A. (1982), op. cit., pág. 1132.

concepto previo para resolver el problema de la distribución de la renta mediante el recurso a las productividades marginales de los factores. Todo ello se expone sin abandonar el ejemplo simplificado referido a la producción agrícola. No obstante, siguiendo este texto, aparece a continuación la hipótesis de una función de producción con los factores trabajo y bienes de capital versátiles<sup>7</sup>, de la cual se supone que es continua y que goza de determinadas propiedades convenientes. De esta forma, la apelación a las prácticas ingenieriles nos lleva, mediante la función de producción, a identificar un basamento empírico a la teoría marginalista de la distribución. Sin negar que muchos otros autores marginalistas no reconocerían esta pretensión, pero cuyos argumentos no son el objeto de estas líneas, concentrémonos en averiguar que nos deparan las investigaciones que más explícitamente han intentado establecer puentes entre la ingeniería y la economía. Para ello se han seleccionado algunas funciones de producción que usan datos técnicos para fines de evaluación económica.

## II. INGENIERÍA Y FUNCIONES DE PRODUCCIÓN ECONÓMICAS

Si bien la mayoría de las funciones de producción estimadas a partir de datos físicos tratan con procesos agrarios, existen excepciones como el caso de la investigación de Chenery, donde se procede a estimar la siguiente función de producción<sup>8</sup>:  $X = K_1 D^{5/3} T (1-1/R^2)^{0.5}$ , donde el producto (X) es el flujo de gas que circula diariamente por un gaseoducto, siendo los factores su diámetro interno (D), el espesor de sus paredes (T) y el ratio (R) entre las presiones inicial

7. Véase SAMUELSON, P.A., (1983), op. cit., p. 577.

8. CHENERY, H.B. (1949), "Engineering Production Functions", *The Quarterly Journal of Economics*, n. 3-4, vol. 63, págs. 507-531. La expresión matemática expuesta se encuentra en la pág. 516. Cabe notar que, por supuesto, existen otros ejemplos de funciones de producción empíricas no agrarias. Si se ha escogido el caso de Chenery es porque un trabajo muy parecido (el transporte de petróleo por un oleoducto) realizado con posterioridad (1955), ha recibido especial atención por parte de un autor de la talla de Samuelson. Éste, en una reciente reedición de su manual general de economía, expone un breve resumen de tal investigación. Argumenta Samuelson que ello ha sido motivado por la decisión de ampliar la extensión dedicada a la función de producción, porque "quienes critican la economía (*sic*) afirman a veces que ésta se ocupa de abstracciones y no de situaciones del mundo real. Para disipar esa idea y mostrar que la teoría de la producción constituye una parte esencial de la vida económica, presentamos un breve análisis económico del transporte de petróleo por medio de oleoductos". Véase SAMUELSON, P.A. & NORDHAUS, W.D. (1990), *Economía*, McGraw-Hill, Madrid, 13a. ed. La cita proviene de la pág. 583.

y final para una longitud de 100 millas.  $K_1$  es un parámetro determinado por la presión a la que trabaja el gasoducto. Chenery, con las variables indicadas más la potencia de las bombas impulsoras y el peso de la conducción, también diseña la función de los costos del proyecto. En esta función aparece una tasa  $i$  que combina la depreciación, la obsolescencia y el tipo de interés. Su valor se fija de forma exógena:  $i = 0.06$ . Hechos los cálculos, el autor reconoce que esta forma de presentar una función de producción no se corresponde con su definición habitual por parte de los economistas. Argumenta que ello resulta inevitable dado que las categorías de capital, trabajo, etc. no existen como tales en los estudios ingenieriles. No obstante, propone una solución *ad hoc*<sup>9</sup>: Agrupar los factores especificados en las dos grandes categorías de *Capital*, que resulta de la adición de los diversos costes de instalación del gasoducto, e *Inputs corrientes*, esto es, los costes anuales de mantenimiento de la conducción y bombas impulsoras, los cuales incluyen los salarios de los operarios. Dado que, en ambos casos, tales costes dependen a su vez del diámetro y del peso de la conducción, la función de producción económica resultante descansa, indirectamente, sobre las variables técnicas iniciales. Afirma el autor que el capital puede ser tratado como un factor separado ya que por si solo representa los dos tercios del coste total. Además, confiesa que este procedimiento será únicamente válido si los precios relativos de los factores no cambian. El principal resultado de la investigación es constatar la importancia que tienen las economías de escala en el transporte de fluidos a través de conducciones.

La función de producción diseñada y estimada en el trabajo de Chenery se refiere a un tipo muy particular de proceso de producción. No se trata del caso genérico de un proceso cuyos factores se transmutan para dar paso a un output, previamente inexistente. En efecto, en su investigación el producto es el servicio de desplazamiento geográfico de un gas confinado, sin que los factores implicados sufran transformaciones físicas y/o químicas de algún tipo. Esto no debería pasar inadvertido si se deseara presentar este trabajo, o cualquier otro similar, como ejemplo representativo de función de producción económica basada en datos usados por los ingenieros.

Por otra parte, a pesar del uso de variables técnicas, el hecho de tener que seleccionar unas y descartar otras, puede acarrear la pérdida de información y, con ello, llegar a una parcial desvirtuación de los problemas reales que deben resolver los ingenieros. Así, por ejemplo, la función de producción propuesta por Chenery sugiere la posibilidad de sustitución entre el tamaño del gaseo-

9. Según las explicaciones al respecto contenidas en *Ibíd.*, págs. 524-525.

ducto y la potencia de las bombas impulsoras<sup>10</sup>. Ello, aunque puede parecer casi intuitivo, supone considerar el comportamiento del fluido como el propio de un gas ideal. En realidad, los ingenieros durante el diseño de la conducción deben superar problemas como las turbulencias, las fricciones, la viscosidad, la corrosión, etc., circunstancias que tanto alteran la proporción existente entre los gastos de infraestructura (tamaño de las tuberías) y el consumo de energía, como el nivel de costos totales<sup>11</sup>. Dado que la función de producción es la frontera de las posibilidades técnicas de un proceso productivo, debe procederse con sumo cuidado en el momento de especificar las características materiales y el comportamiento real de factores y producto.

Finalmente, cabe notar que la investigación de Chenery pretende ser una aportación para la mejora de la programación de los costes de instalación y funcionamiento de un gaseoducto<sup>12</sup>. Otra cualificación de mayor alcance metodológico, especialmente como supuesta validación empírica de los contenidos analíticos ampliamente desarrollados en los tratados sobre la producción, desbordaría este objetivo.

Las funciones de producción agropecuarias son las que más veces aparecen como ilustración en los manuales de teoría económica. En el campo de la investigación empírica existen incluso tratados enteros dedicados a su construcción, estimación e interpretación<sup>13</sup>. Como es sabido, es muy atractivo intentar representar matemáticamente el proceso productivo agrario debido a la continuidad del crecimiento de plantas y animales, así como a la divisibilidad de muchos de sus inputs. Entre los rasgos más comunes de las funciones de producción agrarias destaca, en primer lugar, su híbrido estatus técnico-económico, ya que en una misma función se combinan factores medidos en unidades físicas (Kg. de semilla y abono, Ha. de suelo, etc.) junto con otros expresados en unidades de valor (caso del capital fijo que, imposibilitando su heterogeneidad reducirlo a un común denominador técnico, a menudo se agrupa en categorías y es medido en unidades monetarias según los costes de

10. *Ibíd.*, pág. 517.

11. Véanse las págs. 45-46 y, especialmente, la figura n. 5 de ROSS, M.H. & STEINMEYER, D. (1990), "Energía para la industria", *Investigación y Ciencia*, n. 170, págs. 43-50.

12. Chenery justifica su investigación afirmando que los ingenieros suelen valorar los inputs a precios corrientes, sin preocuparse del cálculo, para tales precios, de otras combinaciones de factores, técnicamente viables, más baratas. Tampoco se ocuparían de las consecuencias de la modificación de los precios (*Ibíd.*, pág. 509). A nuestro entender, Chenery exagera. De hecho, los ingenieros eligen entre los diversos proyectos alternativos según las especificaciones técnicas exigidas y los precios de los inputs, tanto corrientes como sus respectivas proyecciones.

13. Un ejemplo es la obra de HEADY, E.O. & DILLON, J.L. (1961), *Agricultural Production Functions*, Iowa State University Press, Ames.

su mantenimiento y depreciación imputada, suponiendo que con ello se consigue evaluar sus servicios, ni que sea de forma borrosa). En segundo lugar, una fuerte dosis de convencionalismo.

Las funciones de producción agrarias suelen estimarse para predecir el nivel de producto resultante de un cambio conjunto de las cantidades de los diversos inputs considerados y, sobretodo, para conocer la productividad marginal de cada factor, supuestamente separable. El estudio prototípico intenta estimar la relación existente entre la/s cantidad/es de uno o varios inputs y las cantidades de output de un determinado cultivo. En otras ocasiones, las funciones se refieren a dosis de alimentación animal y producción ganadera<sup>14</sup>.

En estas investigaciones, tras haber fijado algunas suposiciones generales acerca del proceso a estudiar, como son la producción simple, instantánea, etc. y haber seleccionado los factores que aparecerán explícitos en la función, se estiman varios formatos matemáticos (función cuadrática, función CES, función potencial o Cobb-Douglas, etc.) eligiéndose aquél que, cumpliendo los requisitos econométricos de la bondad del ajuste, soporte mejor la verificación de las hipótesis de comportamiento económico<sup>15</sup>. Resuelto este capítulo se procede a manipular algebraicamente la función estimada para que, junto con información adicional cuando sea necesario, puedan conocerse sus máximos técnicos, las productividades marginales de sus factores, los óptimos económicos, las funciones de demanda de los factores y la función de oferta del output, con sus correspondientes elasticidades y, finalmente, las funciones de costes. Todos estos cálculos dan lugar a resultados muy precisos. No obstante, en el momento de cualificar la relevancia teórica de tales investigaciones, se levantan serias dudas debido a la sospecha de que las hipótesis económicas contrastadas con éxito, se hallaban prefiguradas en los formatos matemáticos. En efecto, éstos fueron seleccionados precisamente porque presentaban mejores expectativas de *buen comportamiento económico*<sup>16</sup>. En estos estudios, pues, existe un

14. Un par de ejemplos representativos son ALONSO, R. & RODRÍGUEZ, J.E. (1980), "Análisis económico de las funciones de producción agrícola. Una aplicación al cultivo del trigo", *Revista de estudios agrosociales*, n. 113; y PAZOS, D. (1977), "Funciones de producción en judías blancas y tablas de óptimos económicos", *Revista de estudios agrosociales*, n. 99. También pueden seguirse los ejemplos expuestos en la obra citada en la nota anterior.

15. ALONSO, R. & RODRÍGUEZ, J.E. (1980), op. cit., págs. 86-91 y PAZOS, D. (1977), op. cit., págs. 199-205.

16. Este es uno de los criterios de selección de los modelos más importantes. El otro es la facilidad de cálculo. Véanse HEADY, E.O. & DILLON, J.L. (1961), op. cit., cap. 6; ALONSO, R. & RODRÍGUEZ, J.E. (1980), op. cit., págs. 86 y 91; y BALLESTERO, E. (1980), *Principios de economía de la empresa*, (Textos, 10), Alianza universidad, Madrid, 5 ed., apéndice 2.

grado de convencionalismo, más o menos intenso, que debilita su calidad metodológica como confirmación empírica de las proposiciones de la teoría de la producción.

Siguiendo con este último tema cabe añadir que tener éxito en el ajuste de un esqueleto formal a un conjunto de datos, no equivale a haber encontrado una ley cuantitativa. En muchas ocasiones, un esquema funcional matemático puede ser rellenado con diversos contenidos empíricos. Este es el caso de la función Cobb-Douglas que se ajusta a cualquier conjunto de números correspondientes a variables que guarden entre sí relaciones de proporcionalidad estables. Ello hizo tambalear la solidez teórica de la estimación de funciones de producción agregadas, al poner de manifiesto que no contribuía a entender el proceso económico subyacente. Esto es, la dinámica de las fuerzas sociales que generaba la estabilidad de la pauta de distribución de la renta entre salarios y beneficios<sup>17</sup>. A nivel microeconómico pensamos que puede darse un fenómeno parecido ya que, en muchos procesos productivos, las variaciones de las dosis de los factores y las del producto guardan relaciones de proporcionalidad poco cambiantes.

Un importante supuesto implícito contenido en tales investigaciones es la separabilidad de los factores, condición necesaria para poder dotar de significado económico su particular productividad marginal. Como es bien conocido, este último concepto proviene de Ricardo quién, a tenor de lo observable en la agricultura de su tiempo, consideró propia y únicamente las productividades marginales de la tierra y del trabajo, siendo su extensión a todos los factores una aportación de los autores neoclásicos. Los factores destacados por Ricardo pueden medirse en términos físicos y son aceptablemente homogéneos ya que, en una primera aproximación, pueden pasarse por alto la existencia de varias calidades de tierra y de trabajo. También ambos factores son divisibles y continuos. Ningún obstáculo grave impide el cálculo de las productividades marginales de la tierra, Ha., y del trabajo, horas-hombre. Bajo el supuesto de un determinado estado de los conocimientos técnicos es factible ir probando diversas combinaciones de tales factores y calcular el incremento resultante del producto. Para ello, se preparan distintas parcelas donde aplicar dosis distintas de trabajo, hasta encontrar la relación producto/trabajo, definida por unidad de superficie, óptima. Así, pues, el concepto de productividad marginal puede

17. Véanse SHAIKH, A. (1974), "Laws of Production and Laws of Algebra: The Humbug Production Function", *The Review of Economics and Statistics*, n. 1, vol. LVI, págs. 115-120 y, también, *Ibíd.* (1988), "Humbug Production Function", EATWELL, J.; MILGATE, M. & NEWMAN, P. (Eds.), *The New Palgrave. A Dictionary of Economics.*, vol. 2, Macmillan, Londres, págs. 992-995.

usarse para mejorar la asignación de los recursos, especialmente el trabajo, en un contexto agrario muy poco tecnificado.

En la moderna producción agraria existen factores con un grado de complementariedad muy elevado. Esta a sido la base del éxito de los elevados rendimientos de las cosechas. Los distintos tipos de trabajo se mezclan con el uso de máquinas específicas. Para cada tarea (laboreo, siembra, abonado, fumigación, recolección, etc.), la relación técnica del trabajador y del sistema de máquinas que conduce (tractor más apero) resulta satisfactoria dentro de límites muy estrechos. Por ejemplo, se puede acelerar la tarea con un apero mayor, lo que a su vez exige un tractor de mayor potencia. Alterar la relación hombre-máquinas parametrizando un factor y variando el otro, no contribuye a elevar el output, pudiendo llegar incluso a ser absurdo desde el punto de vista operativo. Estas dificultades para separar los factores conlleva que sus particulares productividades marginales sean nulas.

### III. TIPOS DE FUNCIONES DE PRODUCCIÓN AGRO-ECONÓMICAS

A pesar de todo lo dicho hasta ahora, en el caso concreto de las funciones de producción económicas agrarias, estimadas para la asignación óptima de los recursos movilizados en una explotación, existen indudables rasgos comunes con las funciones de producción físicas usadas en la agronomía. Sin duda esta similitud a simple vista, ha llevado a algunos autores a suponer casi una continuidad entre ambas disciplinas, sin percatarse de los limitados objetivos teóricos de la ingeniería, en este caso, agraria.

Desde el siglo XVIII, la agronomía investigó como conseguir la adecuada rotación de los cultivos y la rentabilización de las inversiones hechas por los agricultores. Autores como von Thünen establecieron la siguiente regla: Cada factor debe ser aplicado hasta que el crecimiento en los ingresos generado por su última unidad aportada, no provoque a su vez un aumento superior de los costes. Se trata de un principio marginalista planteado cómo si se tratase de la maximización de una función con numerosas variables, cuyo resultado es un intervalo y no un punto, ya que algunos factores no son divisibles y otros sólo pueden definirse en términos ordinales<sup>18</sup>. El principio es, pues, una simple regla tecnológica pensada para guiar la toma de decisiones en el seno de las explotaciones agrarias.

18. NÖU, J. (1967), *The Development of Agricultural Economics in Europe*, Almqvist & Wiksells, Uppsala, pág. 194.

Esta reflexión agro-económica tenía un carácter protocientífico, alcanzando sus proposiciones un desarrollo tan solo embrionario. Pacientemente se recogían y acumulaban grandes cantidades de datos directos, usando técnicas de experimentación poco refinadas<sup>19</sup>. Los resultados no siempre se interpretaban adecuadamente ya que disciplinas científicas como la biología estaban muy atrasadas. Se seguía el método de la prueba y del error, arropado con largas disertaciones sobre como organizar la información técnico-económica recogida, con la esperanza de poder clasificar los distintos elementos y circunstancias de la producción según su grado de importancia. A pesar de estas limitaciones, se mejoraron notablemente los procedimientos de roturar el terreno, organizar las tareas de siembra y cosecha, la selección de semillas, los sistemas de poda e injertos, las mezclas de abonado, etc.

Uno de los temas más estudiados por los agrónomos ha sido, y continua siéndolo, el cálculo de las dosis óptimas de abonado para cada cultivo y parcela. Desde el primer tercio del siglo XX algunos agrónomos propusieron posibles formulaciones matemáticas de los principios de fertilización enunciados, a mediados del siglo anterior, por Justus von Liebig. Por ejemplo, en 1909 el agrónomo Mitscherlich y el matemático Baule supusieron que el output reacciona a cantidades progresivas de abono según la función no lineal,

$$\log A - \log(A-Y) = cX,$$

donde A es el máximo producto obtenible por adición de X, el fertilizante, y c es una constante que expresa la tasa de descenso del producto marginal obtenido. Hacia mediados de los años 20 se formularon ecuaciones como,

$$Y = aX, \quad \text{o bien,} \quad Y = c + aX,$$

donde Y representa cantidades físicas de output; X denota las cantidades de abono; a es una constante de proporcionalidad entre cantidades de fertilizante y de cosecha y, c es el término independiente que corresponde al nivel de cosecha sin abonado. Después de la Segunda guerra mundial, las funciones propuestas fueron del tipo,

$$Y = a_0 + \prod_1^n a_i X_i,$$

19. Un breve resumen de estas experiencias puede encontrarse en TISDALE, S.L. & NELSON, W.L. (1970), *Fertilidad de los suelos y fertilización*, Muntaner y Simón, Barcelona, págs. 5-21.

siendo  $Y$  la cantidad de output por unidad de superficie,  $a_0$  la cosecha obtenida sin aportación de abono y  $a_1$  los coeficientes de transformación de las  $X_i$  cantidades de los abonos usados conjuntamente<sup>20</sup>.

Estas formas funcionales se han ido depurando tras infinidad de experiencias de campo. Aunque no se haya encontrado una relación algebraica universal, las más comunes son variaciones sobre esqueletos formales que generan curvas exponenciales o parabólicas. Con estas funciones de producción físicas no puede determinarse más que el orden de magnitud del abonado adecuado<sup>21</sup>. Por ello, no son más que un *instrumento auxiliar* para que, con la ayuda de la edafología, la fisiología vegetal, etc., se afine en el conocimiento del proceso de absorción de los fertilizantes y puedan aproximarse dosis concretas<sup>22</sup>. Tales resultados suelen ser generalizables a otros contextos agronómicos similares. En efecto, y sin ánimo de exhaustividad, de estas experiencias de campo se desprenden dos grupos de casos según que la variable escogida sea la frecuencia de fertilización o la movilidad de los nutrientes estudiados<sup>23</sup>. En el primero, las curvas de respuesta tienen la tendencia a tomar una forma de curva exponencial, representada en un gráfico donde el eje de abscisas indica los Kgs./Ha. de abono aportado y el de ordenadas el Output/Ha. obtenido en un año normal, si se trata de una parcela que nunca ha sido abonada o lo ha sido insuficientemente. Pero, si no se pierde de vista que el uso continuado de fertilizantes nitrogenados elimina buena parte de las colonias de bacterias que lo fijan en el suelo, para mantener un alto rendimiento por Ha. serán necesarias elevadas y sostenidas dosis de fertilización, aunque parezcan excesivas o de saturación. Si a ello se añade la erosión del terreno debido al cultivo intensivo, cosa que perjudica su capacidad para retener nutrientes, la curva de respuesta tenderá a ser parabólica.

El segundo criterio referido a la velocidad de absorción de los nutrientes da lugar a curvas de respuesta lineal o parabólica según sean absorbidos rápidamente por las plantas, o bien estén un largo período fijados en el terreno, perdiendo progresivamente grado de concentración y, así, de absorción. En el caso lineal, el más común, la inclinación de su tramo ascendente indica, en términos directamente proporcionales, la eficacia de la absorción. Esta pendiente disminuye si alguna circunstancia físico-química y/o biológica dificulta la absorción, con lo que se malgasta fertilizante.

20. Véase HEADY, E.O. & DILLON, J.L. (1961), op. cit., pág. 10.

21. GROS, A. (1986), *Abonos. Guía práctica de la fertilización*, Mundi-Prensa, Madrid, pág. 346.

22. *Ibíd.*, pág. 170.

23. COOKE, G.W. (1975), *Fertilización para rendimientos máximos*, CECSA, México, págs. 180-181.

Tras este breve repaso al uso de funciones de producción en las prácticas agronómicas se comprende que muchos economistas hayan considerado su concepto de función de producción como una extensión directa de la función de producción física. En efecto, por una parte, la economía convencional comparte un enfoque pragmatista e instrumental similar al de la ingeniería, siendo incluso posible hallar en la agronomía muestras de algunos de sus conceptos clave, como es el caso de la productividad marginal. Por otra parte, la teoría microeconómica de la producción ha ampliado el aparato conceptual y ha establecido un sistema de reglas de optimización mucho más allá de las necesidades de los técnicos en agronomía. Este último aspecto merece ser destacado: las pretensiones de los agrónomos carecen de intencionalidad teórica<sup>24</sup>. Así, pues, los teóricos de la economía han creído observar una ley donde tan solo había reglas técnicas. En efecto, los agrónomos consideran que las funciones de producción físicas son un modelo correcto en la medida que resultan útiles para la intervención sobre el fragmento de la realidad sometida a estudio. En consonancia con los rasgos epistemológicos propios de las disciplinas tecnológicas, tales investigaciones agronómicas se caracterizan por:

a) La función de producción física pretende detectar la existencia de relaciones sistemáticas entre las variables seleccionadas. Posteriormente, tales regularidades estadísticas tendrán que ser explicadas recurriendo a la biología, la edafología, la zoología, etc.

b) Aunque tales funciones sean modelos de poca profundidad (de caja negra) ello resulta aceptable dado que lo importante es la relación cuantitativa directa definible entre los factores explicitados y el output, sin profundizar en el conocimiento de los procesos bioquímicos subyacentes<sup>25</sup>. Se comprende, pues, que se acepte la forma funcional más simple ajustada a los datos, según los

24. Esta pretensión, en cambio, es característica de la teoría económica convencional: "Su esquema teórico básico (la maximización con restricciones), perfectamente válido para un asunto relativamente menor (la asignación óptima de recursos), se trasladará analógicamente a materias bien diversas con la convicción de haber descubierto una 'ley' universal, en lo que no dejaba de ser un esquema analítico". Citado de OVEJERO, F. (1987), *De la naturaleza a la sociedad. La unidad del método en la historia de las ciencias sociales*, (Homo sociologicus, 41), Península, Barcelona, p. 93.

25. "Desde un punto de vista conceptual las teorías tecnológicas son claramente más pobres que las de la ciencia pura: son siempre *menos profundas*, porque el hombre práctico (..) se interesa principalmente por los efectos brutos que ocurren y que son controlables a escala humana" y, además, "a diferencia del científico, el técnico y el práctico no *contrastan* teorías, sino que las *usan* con finalidades no cognoscitivas". BUNGE, M. (1983), *La investigación científica. Su estrategia y su filosofía*, Ariel, Barcelona, 2a. ed., págs. 686 y 691, respectivamente.

criterios de la teoría matemática estadística: En los estudios ingenieriles “una razón para preferir la simplicidad formal (...) es que nada garantiza que sea mejor aceptar un esquema más complejo; dicho de otra manera, sin más que la evidencia empírica, las hipótesis más complejas son *infundadas*”<sup>26</sup>.

c) La mayor preocupación de los investigadores es el diseño de la muestra de campo<sup>27</sup>. El coste del programa experimental, la necesidad de que sea representativo y la facilidad de seguimiento, exigen un cuidadoso estudio previo sobre la muestra. Se prepararán, pues, varias parcelas de una misma extensión, a menudo contiguas, con el fin de aproximar dosis adecuadas de determinados factores materiales (abonos, pesticidas, agua, etc.) mediante la estimación de curvas de respuesta.

Por otra parte, insistir en la existencia de la ley de la productividad marginal decreciente de cada factor por separado, razón por la que el empresario debe resolver el problema de la elección de los factores, al margen de otras objeciones ya expuestas, implica una cierta confusión sobre la contribución de las investigaciones de los agrónomos para la mejora de los rendimientos de las cosechas. Así por ejemplo, una vez los ingenieros han calculado la dosis adecuada de un determinado fertilizante por unidad de superficie, los agricultores se limitarán a multiplicarla por el factor conveniente, según sea el tamaño de la parcela a abonar. Aunque los ingenieros hayan encontrado, para un mismo tipo de fertilizante, dosis con productividad marginal decreciente, los agricultores no resultarán afectados por ello, ya que ajustarán este recurso productivo a la superficie a cultivar para que el producto obtenido sea siempre máximo, dado el estado de la tecnología y, en este caso concreto, obviando los imprevistos climáticos. Además, la investigación de los técnicos no se queda aquí, sino que sigue hasta encontrar nuevas sustancias fertilizantes que aumenten los rendimientos por unidad de superficie. Lo mismo con las semillas, la alimentación del ganado, etc.

26. BUNGE, M. (1983), op. cit., pág. 312. Subrayado del autor. En *Ibíd.* (1981), *Epistemología, Curso de actualización*, (Ciencia de la ciencia, 4), Ariel, Barcelona. En el cap. 13, se resumen las características epistemológicas de la investigación tecnológica.

27. Véase, por ejemplo, la larga disertación sobre tal extremo en PESEK, J. (1979), “Predicción de la respuesta de la cosecha a los factores de producción”, *Jornadas internacionales sobre la investigación científica y el problema agrario*, API-CSIC, Madrid.

#### IV. LA FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN Y LA GESTIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS

Tras los argumentos expuestos aun queda la posibilidad de considerar las funciones de producción microeconómicas como un instrumento para la tecnología económica, quedando así desprovistas de intenciones teóricas. Ello nos lleva a tratar la función de producción desde un punto de vista metodológico, en tanto que modelo de caja negra: "Una teoría del tipo 'caja negra' trata su objeto o tema como si fuera un sistema desprovisto de estructura interna: atiende al comportamiento del sistema y lo trata como una unidad simple. Una teoría del tipo caja negra da razón del comportamiento general basándose en relaciones entre variables globales, como causas netas (*inputs*) y efectos netos (*outputs*); unos y otros quedan mediados por variables intervinientes que carecen de referente"<sup>28</sup>. Los inconvenientes del cajanegrismo son su escaso contenido y su poca potencia heurística. Aunque el uso de cajas negras no sea por sí mismo criticable, si que lo es el no intentar su descomposición en otras cajas más pequeñas. En cualquier caso, su uso está muy extendido en múltiples áreas tecnológicas, especialmente cuando no se conocen con todo lujo de detalles los procesos internos. Es el caso, por ejemplo, de la farmacología.

La cuestión que se plantea es si el uso de cajas negras es útil para el *Firm management*, al margen de cualquier otra consideración. La respuesta es que las funciones de producción quizás resulten demasiado compactas para este fin, dado que la implementación de medidas para la mejora en la asignación de los recursos exige destacar la organización y estructura interna de los procesos productivos. Para que surjan efecto las declaraciones en favor de las funciones de producción como instrumento de la tecnología económica<sup>29</sup>, además de delimitar la combinación óptima de los factores, estas mismas funciones también deberían colaborar en el perfeccionamiento de los procedimientos de gestión y control de los recursos productivos, jugando así un papel destacado en el rediseño sucesivo de los procesos productivos.

La complejidad que entraña este segundo aspecto se observará mejor con la aproximación, aunque sea somera, a la organización interna de los procesos

28. BUNGE, M. (1983), op. cit., pág. 547. Subrayado del autor.

29. "La estimación empírica de funciones de producción (...) tiene como objetivo principal explicar las variaciones de la producción o de la productividad y determinar la combinación óptima, esto es, indicando los factores cuya variación implicará el mayor incremento de la producción. La perspectiva es, por lo tanto, el consejo de gestión". Extraído de FAUDRY, D. (1974), "Difficultés d'estimation de la fonction de production micro-économique en agriculture", *Économies et sociétés*, n. 5, pág. 740.

productivos, tema en el que se hace necesario distinguir, como mínimo, entre la producción agraria y la producción industrial manufacturera. Ello supone dar entidad a las fases de la producción y a su forma de organización general. En base a los criterios de la disposición de los procesos elementales entre si y a la duración de la totalidad del proceso entendido como la suma de sus fases, se ha construido el siguiente cuadro<sup>30</sup>:

	Agricultura	Industria
Disposición de las fases	Paralelas	En línea
Cronología del proceso	Fija	Elástica

La producción agropecuaria está directamente asentada sobre la base material natural, consistiendo en el aprovechamiento directo o previa manipulación, de las posibilidades reproductivas de plantas y animales. La producción agraria tiene varias fases fechadas, que no admiten su concentración en el tiempo, en las cuales se aplican los diversos inputs en cantidades concretas, mientras que la duración del proceso es fija, según condiciones cíclicas, algunas de las cuales son inalterables por la acción humana, caso del clima. En cambio, la producción industrial se caracteriza, muy a menudo, por la elaboración a gran escala de artefactos y sustancias normalizadas. El producto final suele estar formado por partes intercambiables de dimensiones precisas e invariables. Son el resultado de un diseño global previo. Las fases de elaboración aparecen como un continuo de operaciones que pueden reordenarse y agruparse, optimizándose así su tiempo de ejecución. Por otra parte, los procesos manufactureros toleran su realización en línea. Es decir, una vez terminadas una fase de elaboración de un artículo individual, puede pasarse a la misma en el producto siguiente, sin tener que esperar a tener definitivamente terminado todo el proceso de fabricación para el primer artículo. O, dicho en sentido transversal, siempre hay varios objetos en alguna fase de su construcción. Las fases están entre si como escalonadas. Opcionalmente, si se trata de un proceso de ensamblamiento de piezas procedentes de diversos talleres, su disposición

30. Elaboración propia a partir de las indicaciones contenidas en GEORGESCU-ROEGEN, N. (1969), "Process in farming vs. process in manufacturing: A problem of balanced development", PAPI, U. & NUNN, Ch. (Ed.) (1969), *Economic problems of agriculture in Industrial Societies*, IEA, Macmillan, Londres.

genealógica tolera posibles cambios de orden.

En la agricultura, por contra, antes de iniciar una nueva cosecha, el campo tiene que estar libre de la anterior. Cada fase se realiza en un intervalo concreto del proceso de producción. Una vez terminada, queda inactiva hasta el proceso siguiente, que no llegará hasta que el anterior haya finalizado del todo. Además, es imposible alterar la ordenación de las fases dentro del proceso. Dado que cada campo solo permite una cosecha, del principio al final, el proceso solo puede ser replicado en paralelo. Esto es, cultivando varias parcelas simultáneamente.

En resumen, pues, cada proceso agrario es un todo de una sola pieza. En este sentido, puede afirmarse que en la agricultura el proceso determina las fases, mientras que en la industria, son las fases las que fijan el proceso. Esta diferencia explica porque en los manuales de programación de la producción industrial se utilizan métodos, como los gráficos de Gantt y las redes de Pert, para determinar la ordenación óptima de las fases de fabricación, mientras que en los textos de capacitación agraria se propone la mejora de las operaciones (dosis adecuadas, aceleración de su ejecución, etc.) según cual sea el estadio de crecimiento de las plantas y sus necesidades biológicas.

En el intento de diseñar una función de producción que tuviera en cuenta las anteriores consideraciones se propuso la representación analítico-descriptiva. Esta trata de abrir la caja negra para poder observar de cerca los procesos internos y los elementos intervinientes que configuran otras cajas de menor envergadura. Los factores se exponen, en forma de un catálogo, en un mapa funcional del tipo<sup>31</sup>:

$$O(t) = \Phi [R(t), I(t), W(t), M(t), L(t), K(t), H(t)]$$

donde  $O(t)$ , que representa el output del proceso, es formalmente la composición de dos funciones: las propias de cada input y la global que las vincula entre sí. El resto de elementos de la expresión representan los flujos físico-químicos naturales  $Y(t)$ , los inputs corrientes usados provenientes de procesos anteriores  $I(t)$ , los residuos que acompañan al output  $W(t)$ , y la conservación y mantenimiento del equipo empleado  $M(t)$ ; así como los fondos de tierra  $L(t)$ , de capital  $K(t)$  y de trabajo  $H(t)$ . Las funciones de los distintos inputs pueden tomar formas muy diversas:  $R(t)$  es una función decreciente continua, mientras que  $L(t)$  presenta discontinuidades, etc. Esta propuesta de

31. GEORGESCU-ROEGEN, N. (1972), "Process Analysis and the Neoclassical Theory of Production", *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 54, n. 2, págs. 281-286.

Georgescu-Roegen afinaría la descripción de los procesos productivos y podría tener algún uso en el campo de la tecnología económica<sup>32</sup>. Mientras tanto, el intento de concentrar en un sólo paquete funcional toda la complejidad de las operaciones propias de la producción, implica mantener un elevado nivel de abstracción, con lo que se ve muy mermada su eficacia operativa.

En resumen, la función de producción económica elaborada con la participación de datos ingenieriles está caracterizada, por una parte, por fuertes dosis de convencionalismo ya que los formatos funcionales listos para ser estimados prefiguran el comportamiento económico de los factores y, por la otra, presenta un elevado grado de opacidad que impide sean observados los subprocesos concretos que tienen lugar durante el período productivo. Todo ello permite albergar serias dudas acerca de que, tal como hasta hoy en día ha sido confeccionada, la función de producción económica pueda ser considerada la base empírica de la teoría de la producción o, en su caso, que sea universalmente eficaz para usos propios de la tecnología económica, contando ésta con poderosos instrumentos como la programación lineal. Pensando en las necesidades de la tecnología económica, la estimación de funciones de producción económicas presenta rasgos epistemológicos próximos a los de las pseudotecnologías<sup>33</sup>: Los diseños funcionales son elaborados y evaluados sin el concurso claro del conocimiento científico y tecnológico acumulado en otros campos de investigación afines; los modelos admiten una ontología ficcionista (producción instantánea, adición de entidades muy heterogéneas, etc.) y, el dominio de la investigación puede llegar a incluir objetos inapropiados o inexistentes<sup>34</sup>.

32. Lo mismo nos atrevemos a sugerir con los conceptos de Curvas de inputs y Diagramas de fases, desarrollados en el cap. 4 de FRISCH, R. (1963), op. cit.

33. Véanse al respecto los comentarios de BUNGE, M. (1985), *Seudociencia e ideología* (Alianza universidad, 440), Alianza editorial, Madrid, caps. 3 y 5.

34. Este es uno de los más ocultos peligros que encierra el convencionalismo: la pérdida de los límites del dominio de los problemas de investigación relevantes. Así, por ejemplo, se han propuesto funciones de producción para explosiones atómicas subterráneas, siendo el producto el radio aparente del cráter formado tras la detonación y el factor de producción la cantidad de energía de la explosión, expresada en kilotonos. Véase BALLESTERO, E. (1980), op. cit., págs. 86 y 143.