

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS INVERTIDOS EN INVESTIGACIÓN

Eduardo Casas Díaz

Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas

Sergio Castillo M.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

Ma. de los Angeles Velázquez

Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas

Resumen: Se presenta una síntesis del método de análisis propuesto por Casas (1992) para estimar el impacto económico de un trabajo de investigación que pasa por el proceso de generación, transferencia y adopción de nuevos co-nocimientos, incluyendo una breve descripción del modelo matemático. Con base en lo anterior, se presenta una aplicación concreta del método utilizando datos experimentales obtenidos por W. López en La Fraylesca, Chiapas, México, durante los años de 1983 a 1990, estimándose los principales indicadores económicos y concluyéndose que la metodología no sólo resulta útil sino fácil de aplicar, por lo que se recomienda su adopción por los investigadores silvoagropecuarios como norma para optimizar la asignación de recursos escasos en los trabajos de investigación.

Abstract: A brief description of the method proposed by Casas (1992) to estimate economic impact of research work is presented, including the mathematical model. Based on the above, an application is developed using data obtained by W. López in La Fraylesca, Chiapas, Mexico, during the period 1983-1990. Estimates of the main economic indicators are obtained, concluding the usefulness and simplicity of the method, and suggesting its adoption for optimizing scarce resources in agricultural research.

Introducción

El objetivo de todo programa de investigación, transferencia y adopción de tecnología agropecuaria y forestal es la generación de técnicas de producción que, al ser difundidas y adoptadas por los productores, se espera que resulten en una expansión del volumen de producción, en el mejoramiento de la calidad del producto, en una combinación más eficiente de los factores de producción y en un mejor aprovechamiento y conservación de los recursos naturales existentes en un área o región determinada. El resultado obtenido se refleja, en consecuencia, en incrementos de los beneficios netos, en el nivel de ingreso y en el bienestar de la población rural y, por su efecto multiplicador y de externalidades, en el bienestar de la sociedad en general.

Todo tipo de investigación requiere inversiones de recursos humanos y capital, cuya recuperación ocurre en el futuro. Esto tiene tres implicaciones importantes para la evaluación económica de los proyectos de tal naturaleza.

En primer lugar, debe considerarse que el conjunto nacional de actividades de investigación, compite con otras actividades del quehacer nacional que también requieren de la inversión de unos recursos finitos y escasos. Por lo tanto, el investigador debe ser capaz de cuantificar todos los costos en que incurrirá durante el tiempo necesario para el desarrollo de su actividad, al igual que el flujo completo de beneficios y el impacto esperados. La comparación entre los costos y los beneficios esperados producirá indicadores probables del nivel de rentabilidad social y financiera de la inversión requerida.

Una vez en disposición de estos índices y asumiendo que son adecuados, se puede demostrar a los responsables de hacer las asignaciones presupuestarias que la propuesta de investigación presentada es una actividad productiva con suficiente rentabilidad financiera y social para merecer los recursos operativos acordes con su importancia. Este proceso eliminará la tradición de justificar las solicitudes de recursos para investigación mediante argumentos de tipo subjetivo (románticos, éticos, de influencia personal, de continuidad, de compromisos institucionales, etc.). En su lugar, la justificación se hará con argumentaciones respaldadas mediante procesos con suficiente rigor matemático para resistir el análisis necesario de aquellos que se preocupan por obtener el mayor beneficio social y financiero posible de las asignaciones presupuestarias públicas o privadas.

En segundo lugar, se requiere de un sistema de jerarquización entre los proyectos que conforman el conjunto de la investigación nacional, buscando asignarles prioridad a aquellos trabajos sobre aspectos cuyos resultados esperados, proporcionen los mayores beneficios sociales y financieros posibles en el marco de un desarrollo agropecuario y forestal sustentable. Esto es, dar prioridad a las actividades de investigación de acuerdo con sus índices de rentabilidad.

En tercer lugar, se requiere de un marco orientador o plan estratégico nacional de investigación, buscando que todos los proyectos considerados conduzcan a un objetivo común acorde con los propósitos perseguidos por el modelo de desarrollo en ejecución.

Obviamente, en el proceso de evaluación para determinar la rentabilidad social y financiera de proyectos de investigación y extensión agropecuaria en una situación *ex-ante*, existen factores que tienen que ser tomados en cuenta para que todo modelo tenga validez. Entre éstos, destaca la incertidumbre sobre: los resultados de la investigación, el tiempo necesario para que se inicie la transferencia, la velocidad de adopción y el impacto general del proyecto. Estos aspectos escapan al control del investigador, pero deben ser considerados en el diseño del proyecto de investigación, asignándoseles valores con el mejor juicio posible (o probabilidades de ocurrencia, si se desea obtener indicadores de rentabilidad dentro de cierto nivel de confianza).

A través de este mecanismo, se puede tender el puente entre el investigador y la realidad operativa del productor rural antes del desarrollo de la investigación y no después de haber obtenido los resultados, dado que se tiene que buscar que sean transferibles y adoptables. Esta condición obliga a que la investigación se articule armónicamente tanto con las políticas de desarrollo económico, como con las circunstancias en que interactúa su cliente, el productor usuario de los recursos naturales (Castillo, 1991).

El presente artículo ilustra un método simple propuesto por Casas (1992) que no requiere de una formación matemática más allá de la aritmética común, pero que cuenta con el rigor necesario para orientar tanto al investigador como a los que toman las decisiones en la utilización eficiente de los escasos recursos disponibles en pro de un desarrollo agrícola sostenible.

1. Metodología de análisis

Conceptualmente, el resultado final que afecta al productor o a la sociedad se debe a tres procesos interconectados pero separables:

- i) Generación de nuevas tecnologías
- ii) Transferencia de nuevas tecnologías, y
- iii) Adopción e impacto generado por la innovación tecnológica.

Para la generación de tecnología, es de esperarse que los investigadores hagan un análisis de la situación actual de los diferentes sistemas productivos y de sus tendencias en sus respectivos campos técnicos, identificando los problemas principales, sus causas y efectos. Producto de este análisis será la definición de: los objetivos, los productos o resultados esperados y las acciones necesarias para su obtención a través de diferentes opciones de investigación. Obviamente, ninguna de las alternativas para la solución de los problemas encontrados dispone de garantía de éxito, pero se puede estimar un valor que considere la experiencia propia o la de otros investigadores (ligada a una probabilidad *a priori* de lograr el propósito perseguido, si se van a definir indicadores con intervalos de confianza); un tiempo determinado, y los costos inherentes a la ejecución, tanto en recursos humanos como físicos.

En la determinación de los indicadores de rentabilidad de las diferentes opciones de inversión en investigación, para la optimización del uso de los recursos disponibles, se requiere además del flujo de los costos, darle un valor al producto que se generará. Es aquí donde se introduce al análisis el proceso de transferencia de tecnología. Teóricamente, el precio de venta del resultado de la investigación para los organismos del Estado debe ser igual al valor presente neto (VPN) de la corriente de beneficios incrementales recibidos por los productores y la sociedad al adoptarse parcial o totalmente la tecnología producida. Esto es, una vez deducidos los costos del proceso de transferencia y los costos incrementales de los agricultores al adoptar la nueva tecnología, se actualiza el valor resultante aplicando la tasa de descuento más apropiada. En el caso discreto, esto sería:

$$V_{inv} = \frac{\sum_{t=1}^n B_t - C_t}{(1+i)^t}$$

en donde:

- V_{inv} = Valor de la inversión
- B_t = Beneficio de la innovación en el tiempo t (t -ésimo periodo)
- C_t = Costo de la investigación y de la transferencia de tecnología e incrementos de producción en el tiempo t (t -ésimo periodo)
- t = Tiempo de 1, 2, 3, ... n, años o periodos
- i = Tasa de descuento.

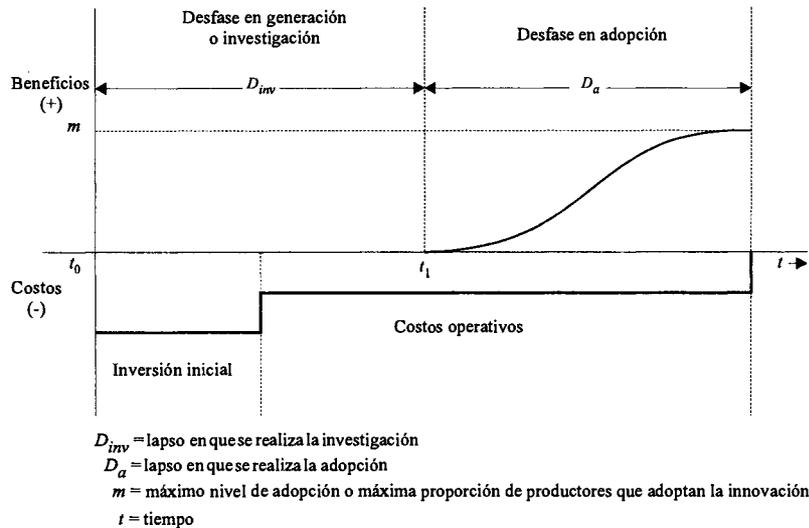
La estimación de las cantidades y valores de los efectos atribuibles a la investigación en agricultura no es simple. Para empezar, el impacto de la investigación es el resultado de un proceso complejo de transferencia de la innovación y de su adopción por parte de los productores. Para simplificar el análisis, la transferencia de tecnología puede a su vez separarse en dos grandes formas: el mecanismo tradicional, en donde el equipo de extensionistas recibe el resultado de la investigación y lo difunde entre los productores buscando que lo adopten, y la investigación participativa que hace uso del concepto de dominio de recomendación y en la que la transferencia del resultado de la investigación se inicia durante el mecanismo de identificación del problema y de sus causas (Hibon, 1987). Este componente de los efectos de la investigación, entonces, debe ser claramente definido y sus costos identificados en el tiempo.

Por otra parte, para que la innovación tecnológica genere un beneficio cuantificable y valorable, los agricultores, clientes potenciales de la investigación desarrollada tienen que incorporarla en su función de producción. Esta condición trae como consecuencia la necesidad de estimar la velocidad con que la innovación será adoptada, por lo menos en dos puntos en el tiempo: a partir del momento en que se inició la transferencia, pero antes de lograrse la máxima adopción de la innovación por parte de los productores.

Finalmente, la estimación del impacto o nivel de beneficio atribuible a la investigación desarrollada, requiere de la definición del área productiva total que incorporará la innovación tecnológica, lo cual a su vez exige el conocimiento de la superficie nacional dedicada o potencialmente utilizable en la producción del bien afectado por la investigación y las condiciones en que opera. Teóricamente, esta información es parte del análisis inicial que identificó la necesidad de investigación.

De manera esquemática, el proceso puede visualizarse en la figura 1.

Figura 1
Costos y beneficios de la generación y transferencia de tecnología



En el diagrama se muestra el flujo de beneficios y costos asociados con un proyecto de investigación. Como puede observarse, el desfase de la investigación D_{inv} se considera como el tiempo transcurrido entre las inversiones iniciales en la investigación y la generación de tecnologías o modificaciones del sistema de producción, para que aquellos sean transferidos a los productores. Por otro lado, el desfase en la adopción D_a es el periodo transcurrido desde el momento en que los productores más progresistas adoptan la nueva tecnología o sistema de producción hasta que se llega al nivel máximo de su adopción (m) por los productores que constituyen la población objetivo en la fase de transferencia de tecnología.

El desfase existente, en términos de tiempo, entre el momento en que se realizan las inversiones en investigación, t_0 , y el momento en que las mismas materializan sus efectos en la producción, t_1 , es, según Evenson (1976), de seis a siete años en promedio para el caso de Estados Unidos. Es decir, este autor sitúa el desfase entre el inicio de las investigaciones y la divulgación de sus resultados en un mínimo de 3 años, con un promedio de cinco a siete años adicionales para que el efecto de

los mismos alcance su máximo (punto m en la figura), pudiendo eventualmente ocurrir una reducción en los beneficios posteriores a dicho periodo, en el caso de que existiese una gran depreciación tecnológica. Por otro lado, debe destacarse que aun sujetos a la posibilidad de depreciación (situación que debe ser analizada como un caso especial), en general los beneficios de la investigación tienden a ser duraderos, lo que ayuda a compensar los costos invertidos en la generación de conocimientos técnicos.

El papel de la transferencia de tecnología es desde luego de singular importancia. El impacto económico y social del proceso de generación tecnológica está altamente condicionado por el grado de cobertura y nivel de eficiencia con que se realiza la transferencia de esta tecnología. El hecho de que un proyecto de investigación tome en cuenta tanto el componente de generación como el de transferencia, permite realizar su evaluación económica en términos de metas esperadas de adopción de las tecnologías (que, en este caso, se asume que son en favor de sistemas de producción sostenibles) que se vayan generando y su efecto en el productor y en la sociedad.

Finalmente, no debe ignorarse la influencia que tienen ciertos factores exógenos, como la orientación de la política económica y las características socioculturales, en el éxito del proceso de generación/transferencia/adopción de tecnología. Tales factores son importantes y, aunque hayan sido cuidadosamente considerados en la selección de adopción de investigación, su control final escapa a la esfera de manejo del investigador o del extensionista. Por lo tanto, la orientación y/o la variación en la política global o sectorial determina en gran medida la rentabilidad económica de la investigación agropecuaria. Dicha política económica puede alterar las relaciones de los precios de los productos agropecuarios o los precios de los insumos necesarios para producirlos. Consecuentemente, la misma puede hacer viable o no la adopción de determinadas tecnologías generadas por la investigación.

En virtud de lo anterior, el análisis económico de proyectos, programas y planes de investigación debe tomar en consideración los siguientes aspectos:

1. La incertidumbre y el riesgo involucrados en los procesos de generación, transferencia y adopción de tecnología.
2. El desfase existente entre las condiciones que motivaron la investigación, la realización de las inversiones para la ejecución del proyecto,

el inicio de éste, la generación de resultados, el inicio de la transferencia tecnológica y su proceso de adopción.

3. La continuidad de los beneficios incrementales una vez que se logre su nivel máximo de adopción. Sin embargo, el número de años a considerar para la definición del Valor Actual Neto (VAN), estará definido por la tasa de interés utilizada en la actualización.

4. La variación e influencia de factores exógenos (medidas de política económica, patrones socioculturales, etc.) en la adopción de tecnología por parte del productor.

Dado que se trata de información futura, lógicamente aún no disponible, se requiere la identificación de un modelo que, con suficiente rigor matemático, permita definir indicadores que orienten en la asignación de recursos disponibles para actividades de investigación. Dentro de este concepto, se sugiere hacer uso del conocimiento de expertos o técnicos en la materia, quienes pueden estimar estos valores sustentados en trabajos similares en la región o fuera de ella, (y darles una probabilidad de ocurrencia, si es que se está procediendo con la identificación de indicadores con intervalo de confianza). El resultado final del análisis es, por lo tanto, la obtención de valores esperados de indicadores de rentabilidad social y financiera. Al respecto, debe recordarse que ningún proyecto formulado con los métodos clásicos dispone de un cien por ciento de seguridad en sus resultados.

Una ventaja del modelo de análisis propuesto, es que permite una mayor comprensión y acercamiento entre el investigador y el productor agropecuario lo que estimula un trabajo de investigación para la solución de problemas reales cuyos resultados sean transferibles, adoptables y de impacto.

2. El modelo matemático

Para la derivación de curvas de adopción de las innovaciones tecnológicas generadas por los proyectos de investigación en un tiempo estimado, o de tecnologías existentes y listas para ser transferidas, que tengan como propósito final medir el impacto que se alcanzará, se sugiere que se estimen funciones logísticas o sigmoideas. La sugerencia se justifica por las relaciones funcionales observadas en trabajos anteriores de este tipo,

en donde se demostró que ofrecen la aproximación estadística más adecuada frente a los datos de campo (Griliches, 1959).

Las variables básicas que deben ser especificadas para la estimación de las curvas logísticas que se emplean en el análisis económico de un trabajo de esta naturaleza son:

A = Proporción final de la población de productores en el dominio de recomendación que se espera adoptará la innovación tecnológica propuesta.

$X(t)$ = Tasa de adopción observada en el periodo de tiempo (t), en donde:

$X(t) = 0$, si $t < D_{inv}$;

$X(t) = A$, si $t > D_a$;

$X(t) = A[1 + e^{-(a+bt)}]$, si $D_{inv} \leq t \leq D_a$ (1)

O sea que,

$$\ln X(t) / [A - X(t)] = a + bt, \quad (2)$$

donde:

a = constante (desplaza a la curva a lo largo del eje X),

b = coeficiente de la tasa de adopción.

La relación logística definida de esta manera es asintótica, tanto para el eje de las abscisas, como en el nivel de utilización final de la tecnología propuesta (A). Si conocemos el parámetro A y suponemos niveles de adopción al inicio y al final del periodo de desfase en la adopción (D_a), la función (2) puede ser estimada como sigue:

$$b = 1 / (D_{inv} - D_a) \{ \ln [D_0 / (A - D_0)] - \ln [D_1 / (A - D_1)] \}$$

$$a = \ln [D_0 / (A - D_0)] - bD_1$$

donde:

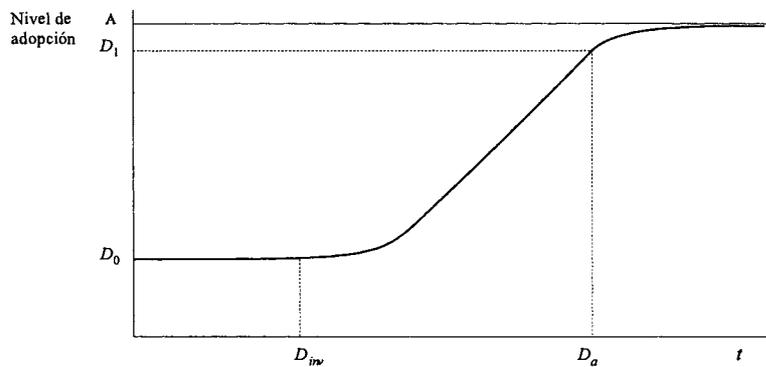
D_0 = nivel de adopción al tiempo D_{inv}

D_1 = nivel de adopción al tiempo D_a

La curva de adopción resultante se presenta en la figura 2.

De esta manera, deben establecerse las relaciones funcionales de las curvas logísticas derivadas para cada rubro en un sistema o para el sistema de producción completo.

Figura 2
Nivel de adopción de nuevas tecnologías en el tiempo
(curva de adopción)



A = proporción total esperada de productores que adopten la innovación
 D_{inv} = lapso en que se realiza la investigación
 D_a = lapso en que se realiza la adopción
 D_0 = nivel de adopción al tiempo D_{inv}
 D_1 = nivel de adopción al tiempo D_a
 t = tiempo

3. Aplicación del método¹

Dado que el propósito de esta metodología es orientar en la toma de decisiones para la asignación de los escasos recursos para la investigación, se requiere entonces que sea entendida y adoptada a su vez por los investigadores. El ejemplo que sigue pretende cumplir este objetivo, demostrando tanto la importancia del modelo como su sencillez operativa.

¹ Los datos utilizados corresponden al trabajo elaborado por W. López y S. Castillo (1991), cuyo propósito central fue determinar la rentabilidad económica de la investigación adaptativa en campos de agricultores de La Fraylesca, Chiapas, México.

Se asume, de principio, que quien toma las decisiones dispone de una base de datos capaz de relacionar el tema central de la propuesta de investigación con los trabajos ya desarrollados localmente o en el exterior. Obviamente, este primer paso pretende evitar duplicaciones y errores pasados, a la vez que aprovechar las experiencias positivas anteriores. En segundo lugar, es de esperarse que disponga también de un programa de cómputo que sólo requiera ser alimentado con la información pertinente para generar los indicadores de rentabilidad buscados. Dentro de este marco operativo, los datos importantes del ejemplo para la evaluación social o económica son los que se indican a continuación. Obviamente, cuando se trata de valores, estos datos incorporan ajustes pertinentes al flujo de fondos financieros para la obtención de los correspondientes costos o precios de oportunidad, diferenciados entre determinísticos y probabilísticos.

3.1. *Dominio de recomendación*

El problema central identificado en reunión con productores, investigadores y extensionistas fue la acidez de los suelos, debida a su origen y a las prácticas agronómicas predominantes.

3.1.1. Se necesita estimar la superficie y el número de productores locales y de todo el país, con características tecnológicas, económicas y sociales similares, que afrontan el problema común para cuya solución se propone investigar sobre el mejor nivel de aplicación de cal al suelo. Se intenta obtener una idea del total de productores, de su dispersión y de la superficie que potencialmente puede beneficiarse de los resultados esperados de la investigación propuesta. En el ejemplo, esta es una información real de campo, relativa a 33 500 ha distribuidas entre 5 154 productores ubicados en la región de La Fraylesca, Estado de Chiapas, México.

3.1.2. Estimar porcentaje de productores, y superficie productiva equivalente, que se espera adopten la innovación tecnológica propuesta una vez hechos todos los esfuerzos por transferirla. En el ejemplo, se espera que 90% (0.9 para el parámetro A) de los productores asimilen la tecnología propuesta para un total de 30 150 ha, dado que el resultado esperado tiene características deseables como: divisibilidad, poca exigencia en cuanto a conocimientos, disponibilidad inmediata en la zona

de trabajo, etc. Este dato se determina mediante encuesta, con un nivel de certidumbre de 95 por ciento.

3.1.3. Porcentaje del dominio de recomendación que se estima adoptará la nueva tecnología, para dos puntos intermedios en el tiempo. En el ejemplo, la investigación se inició en el año de 1983; con los esfuerzos de transferencia se esperaba que para 1990, 321 ha incorporaran la innovación, y en 1991, un total de 1 910 ha. Esta estimación se puede obtener mediante una encuesta de intención o consultas a extensionistas, quienes pueden basar su información en experiencias anteriores.

3.1.4. El promedio de la producción de maíz en la región (antes de la innovación tecnológica) es de 2.45 toneladas por hectárea, lo que constituye un dato de campo.

3.1.5. El precio social² estimado por tonelada de maíz es de 166.93 dólares en la puerta de la finca.

3.2. La investigación

3.2.1. El beneficio esperado a consecuencia de la investigación es de tipo decreciente, en la siguiente forma:

Cuadro 1
*Rendimiento esperado de maíz en ton/ha,
debido a la aplicación de 2 ton de cal por ha*

<i>Años</i>	<i>Producción esperada</i>	<i>Beneficio incremental</i>	<i>Porcentaje equivalente (%)</i>
1	3.65	1.20	49.0
2	3.35	0.90	36.7
3	3.06	0.60	24.5
4	2.75	0.30	12.2
5	2.45	0.00	0.0

Fuente: Informes técnicos del proyecto de investigación, citados por W. López y S. Castillo, *La investigación adaptativa en campos de agricultores (ica) en la región de La Fraylesca, Chiapas, México: Un análisis de rentabilidad económica en el contexto del manejo integrado de los recursos naturales*. Datos modificados para el ejemplo.

² En este caso, el precio es equivalente al paritario de importación de maíz en La Fraylesca, debido a que México es un importador neto del grano y, en consecuencia, el beneficio incremental se asume que sustituye parte de la importación nacional.

3.2.2. El tiempo requerido para el desarrollo de la investigación en el ejemplo considerado es de ocho años (de 1983 a 1990). Dado que la transferencia está incorporada como parte del proceso de investigación, en la práctica ésta se inicia a partir de 1983. Sin embargo, para efectos contables se empieza a incurrir en costos a partir de 1987.

3.2.3. Se necesita identificar el monto de los gastos de la investigación y su distribución temporal, incluyendo todo el personal (investigador, técnicos de laboratorio, etc.), el equipo (costo proporcional de movilización, laboratorio, etc.) y materiales. En el ejemplo considerado, los gastos ajustados a su costo de oportunidad son:

Cuadro 2
*Gastos del proyecto de investigación en la Fraylesca
para el periodo 1983-1990
(miles de dólares de 1990)*

<i>Tipo de costo</i>	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
1. Salario	43.6	45.9	51.2	47.1	44.4	49.6	47.1	5.7
2. Operación	14.7	19.8	24.1	18.4	20.4	10.4	8.0	0.4
3. Asesoría	6.0	17.3	13.5	14.3	28.3	35.2	23.7	-
Total	64.3	83.0	88.8	80.6	93.1	95.2	79.8	6.1

Fuente: Informes técnicos del proyecto ajustados para el ejemplo.

3.2.4. La vida útil estimada de la innovación tecnológica generada dadas las características químico-agronómicas del encalado, se espera sea de cuatro años por parcela (ver cuadro 1). Si consideramos que no toda la superficie se tratará en un solo año, sino que será de manera escalonada de acuerdo con el proceso de adopción seguido, el último efecto en la producción de maíz se espera que ocurra en el año 2000.

3.2.5. Los costos adicionales de la investigación durante el periodo de vida útil de la innovación, definidos como necesarios para su mantenimiento; en este caso no lo son, dada la naturaleza del trabajo desarrollado.

3.3. *Transferencia tecnológica*

Debido a que la ejecución del proyecto de investigación no tendría sentido si no incorporara una posibilidad de ser transferido a los productores, se necesita identificar algunos datos referentes a este proceso para

complementar la información y hacer que la evaluación económica del proyecto se ajuste en lo posible a la realidad.

3.3.1. Para el caso de la investigación participativa, a lo largo de este trabajo se ha establecido que el proceso de transferencia se inicia desde la primera reunión con los productores para la identificación del problema y sus causas. Sin embargo, funcionalmente empieza a operar cuando se ha generado información válida en las fincas en donde tiene lugar la investigación. En el ejemplo que se está desarrollando, la generación de información validada ocurre en 1987; esto es, cuatro años después de iniciada la investigación.

El periodo de adecuación y gestión se extiende de 1987 a 1990, año en el que se inicia la adopción de la tecnología generada en 321 ha.

3.3.2. Es importante definir si para la transferencia de la tecnología generada se necesitan equipos especiales o ajustes en el sistema regular, que requieran de financiamiento adicional para lograr el resultado de adopción esperado. Obviamente, es importante identificar el año en el que se necesita de esta inversión.

En el ejemplo descrito, es preciso modificar el sistema de extensión tradicional para ajustarlo al caso de la investigación adaptativa. El costo estimado se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3
*Financiamiento requerido para la transferencia
de la innovación tecnológica desarrollada
(miles de dólares de 1990)*

<i>Años</i>	<i>Total requerido</i>
1987	2.8
1988	6.4
1989	5.4
1990	1.1

Para facilitar los cálculos, a partir de 1990 los costos de personal para el muestreo de sueldos y de análisis de laboratorio se deducen de los beneficios esperados por la incorporación de la tecnología desarrollada.

3.4. *El productor como ejecutor de la innovación*

El contacto con el productor, como eje central motivador del trabajo de investigación para la solución de su problema, se inició en 1983. Sin

embargo, este hecho no garantiza la asimilación del resultado de la investigación, a menos que la sumatoria de los beneficios generados por la innovación superen sustancialmente la sumatoria de los costos en que se incurre para su incorporación en la función de producción de este empresario del agro. Además, deben existir otras características básicas, como por ejemplo, la disponibilidad de la información técnica o la poca exigencia de conocimientos previos. Al asumir que el resto de las características son adecuadas, se intenta en este apartado ver el beneficio para el productor.

3.4.1. Para tener una idea de los beneficios que el agricultor recibirá por el hecho de adoptar el encalado de sus suelos, se hace un análisis económico parcial. Los resultados se muestran en el cuadro 4, de cuyo análisis se deduce que el encalado es atractivo para el productor en virtud de sus Beneficios Netos Incrementales (BNI), tal como está sucediendo en al práctica.

Cuadro 4
*Beneficios por ha recibidos por el productor
debido a la adopción del encalado
(dólares de 1990)*

<i>Concepto</i>	<i>Años</i>			
	<i>1990</i>	<i>1991*</i>	<i>1992*</i>	<i>1993*</i>
1. Beneficio incremental				
1.1. Rendimiento adicional de maíz en ton/ha	1.20	0.90	0.60	0.30
1.2. Precio del maíz/ton	167.00	167.00	167.00	167.00
1.3. Total de beneficios brutos	200.00	150.30	100.10	50.00
2. Costo incremental				
2.1. Encalado 2 ton/ha	96.70			
2.2. Muestreo de suelos	21.70			
2.3. Análisis de suelos	19.00			
2.4. Total costo incremental	137.40			
3. Beneficio neto incremental	63.00	150.30	100.10	50.00

* Efecto residual del encalado

Fuente: W. López y S. Castillo, *op. cit.*

3.5. Análisis y evaluación del proyecto

Ya que se dispone de toda la información necesaria y del programa de cómputo (se puede hacer manualmente), se procede de la siguiente forma:

3.5.1. Estimación de la velocidad o tasa de adopción mediante la curva logística.

$$X(t) = A / [1 + e^{-(a+bt)}]$$

Como se explicó anteriormente, si existe suficiente cantidad de observaciones, los parámetros a y b pueden ser estimados por el método de mínimos cuadrados, previa linearización de la función. En el caso que se presenta, debido a lo limitado de los datos, se sugiere el método utilizado por Martínez (1983), que consiste en la resolución del siguiente sistema de ecuaciones simultáneas:

$$X(t_1) = A / [1 + e^{-(a+bt_1)}]$$

$$X(t_2) = A / [1 + e^{-(a+bt_2)}].$$

Para resolver este sistema de ecuaciones en términos de a y b se necesita información sobre la adopción estimada en dos puntos en el tiempo y el máximo de adopción esperado [$X(t_1)$; $X(t_2)$ y A , respectivamente]. Una vez identificados estos valores, el sistema se convierte en un sistema de dos ecuaciones y dos incógnitas. Para facilitar la obtención de los valores de a y b , el sistema de ecuaciones se puede expresar como:

$$a + bt_1 = C_1$$

$$a + bt_2 = C_2$$

en donde

$$C_1 = \ln \{X(t_1) / [A - X(t_1)]\}$$

$$C_2 = \ln \{X(t_2) / [A - X(t_2)]\}$$

De donde los valores de a y b que resuelven el sistema se calculan como:

$$a = (C_1 t_2 - C_2 t_1) / (t_2 - t_1)$$

$$b = (C_2 - C_1) / (t_2 - t_1)$$

La mecánica para el ejemplo considerado define $X(t_1)$ como la superficie de 321 ha encaladas en 1990, que divididas entre el dominio de recomendación (33 300 ha), dan como resultado un $X(t_1 = 1990)$ de 0.0096. Para la definición de $X(t_2)$, se consideran las 1 910 ha encaladas en 1991, las que sumadas a las hectáreas de 1990 generan un total acumulado de 2 231 ha, lo que a su vez resulta en un $X(t_2 = 1991)$ de 0.0665. El parámetro A ya fue definido como el equivalente al 90% del dominio de recomendación.

$$X(t) = 0.90 / [1 + e^{-(-6.5214 + 1.9915t)}]$$

Mediante estos valores, se define a y b como -6.5214 y 1.9915 respectivamente; los cuales, al insertarse en la ecuación general, producen una función logística del tipo:

$$X(t) = 0.90 / [1 + e^{-(-6.5214 + 1.9915t)}]$$

Para estimar el número de hectáreas de maíz cultivadas con el encalado en el año $H(t)$, como resultado de la acción del proyecto, primero se estimó la proporción neta de adopción de la alternativa en cada año $[N(t)]$.

Ambas variables se calcularon de la siguiente manera:

$$N(t) = X(t) - X(1)$$

$$H(t) = N(t) \times 33\,500 = 0.0096 \times 33\,500$$

en donde:

$X(t)$ es la proporción de adopción del encalado en el año t .

$X(1)$ es la proporción de adopción del encalado que existía en el año previo al comienzo de la difusión del proyecto

33 500 el número de hectáreas de maíz en el dominio de recomendación.

Los resultados del cuadro 5 indican que, dadas las tasas de adopción actual, a partir de 1997 prácticamente se alcanzará la máxima adopción potencial, o sea, ocho años después de haberse iniciado la adopción del encalado.

Cuadro 5
Superficie esperada de encalamiento
(hectáreas)

<i>Año</i>	<i>Proporción</i>	<i>Acumuladas</i>	<i>Netas</i>
1990	0.0096	321	321
1991	0.0665	2 231	1 910
1992	0.3299	11 052	8 821
1993	0.7282	24 396	13 344
1994	0.8719	29 210	4 184
1995	0.8961	30 018	808
1996	0.8995	30 132	114
1997	0.8999	30 147	15
1998	0.8999	30 147	0
1999	0.8999	30 147	0

Fuente: W. López y S. Castillo, *op. cit.*

3.5.2. Evaluación económica del proyecto

Hasta este punto se han logrado identificar los costos del proyecto y su tiempo de ocurrencia. Del mismo modo, se ha identificado el beneficio incremental debido a la innovación tecnológica. Falta, entonces, introducir los mecanismos de evaluación ya definidos en la primera parte.

Para hacer comparables los montos de beneficios y costos, dado que ocurren en diferentes tiempos, se recurre a la actualización del flujo de fondos al utilizar una tasa de descuento que represente el costo de oportunidad del capital. De la corriente de valores resultante se deducen algunos de los indicadores de rentabilidad económica buscados, que servirán de guía para la toma de decisiones en la asignación de los recursos disponibles para las actividades de investigación.

3.5.2.1. Para la identificación de los costos totales (investigación más transferencia), se procede a sumar los cuadros 2 y 3, lo que da como resultado el cuadro 6, tal cual sigue:

Cuadro 6
*Flujo de costos generados por el proyecto de investigación
 y transferencia en la Fraylesca, 1983-1990*
 (miles de dólares de 1990)

<i>Concepto</i>	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
1. Investigación	64.3	83.0	88.8	80.6	93.1	95.2	79.8	6.1
2. Transferencia					2.8	6.4	5.4	1.1
3. Total	64.3	83.0	88.8	80.6	95.9	101.6	85.2	7.2

3.5.2.2. Los beneficios estimados, generados por la adopción de la tecnología, se calculan multiplicando el número de hectáreas que anualmente serán encladas por su beneficio neto de costos incrementales al asimilar la adopción (última columna del cuadro 5, multiplicada por los beneficios netos incrementales del cuadro 4, hilera 3). Para el ejemplo considerado, el resultado puede observarse en el cuadro 7.

Cuadro 7
Estimación de los beneficios generados por el enclado
 (miles de dólares de 1990)

<i>Año</i>	<i>Superficie en ha</i>	<i>Año 1</i>	<i>Año 2</i>	<i>Año 3</i>	<i>Año 4</i>	<i>Total anual</i>
1990	321	20.2				20.2
1991	1 910	120.3	48.2			168.5
1992	8 821	555.5	286.9	32.2		874.6
1993	13 344	840.4	1 325.9	191.3	16.1	2 373.0
1994	4 814	303.2	2 004.7	883.5	95.6	3 287.0
1995	808	50.9	723.2	1 336.5	441.7	2 552.3
1996	114	7.2	121.4	482.1	668.2	1 278.9
1997	15	0.9	17.1	80.9	241.1	340.0
1998	0	0.0	2.2	11.4	40.5	44.1
1999	0	0.0	0.0	1.5	5.7	7.2
2000	0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.7

Fuente: W. López y S. Castillo, *op. cit.*

3.5.2.3. Si separamos los costos de los beneficios, de cada año, obtenemos los BNI. En el ejemplo, los valores de los años 1983 a 1989 son negativos, mientras que a partir de 1990 y hasta el año 2000 son positivos.

3.5.2.4. Al aplicar a los BNI una tasa de actualización equivalente al costo de oportunidad del capital, se pueden deducir los indicadores de rentabilidad siguientes:

i) Valor Actual Neto (VAN). La norma de decisión es que si resulta igual o mayor que cero, el proyecto puede ejecutarse, ya que cubre el costo de oportunidad del capital.

ii) Relación Beneficio Costo (B/C). Si esta relación es igual o mayor que uno el proyecto puede ejecutarse, pues los beneficios son iguales o mayores que los costos, valorados al costo de oportunidad del capital.

En el caso del ejemplo, se considera prudente utilizar una tasa de descuento de 15% para representar el costo de oportunidad del capital. De esta forma, se obtuvo un VAN equivalente a 1 678 300 dólares, lo que nos señala que el proyecto genera beneficios que exceden los costos en una cantidad aproximada a 1.7 millones de dólares en el periodo considerado.

La B/C obtenida fue de 5.6, lo que nos señala que los costos pueden ser incrementados al menos cinco veces y los beneficios del proyecto aún alcanzarán para cubrir los gastos que genera su ejecución, dado que todo está valorado en su costo de oportunidad.

3.5.2.5. Finalmente, el flujo de BNI, se puede deducir de la Tasa Interna de Retorno (TIR)³, de la inversión que el proyecto representa. En el ejemplo, esta TIR se calculó en 41.4%. Este índice señala que el proyecto, tal cual está diseñado, puede resistir una tasa de actualización (que represente el costo de oportunidad del capital) hasta de 41.4%, si se mantiene un nivel de beneficios y costos constante.

3.5.2.6. Por lo tanto, con el uso de los indicadores deducidos y el concepto que representan, quienes toman las decisiones disponen ahora de elementos de juicio objetivos para la asignación de los recursos a los diferentes proyectos de investigación que compiten por fondos.

³ TIR es la tasa de descuento que iguala a la suma de los beneficios anuales la suma de los costos anuales.

5. Conclusión

La metodología utilizada para el análisis presentado permite orientar la asignación de los recursos humanos y de capital a las actividades de investigación, para la solución de los problemas del agro. Como se constata, esta metodología es tan sencilla y objetiva que se sugiere se adopte por los investigadores silvoagropecuarios como una norma de optimización a la que deben someterse todos los proyectos de investigación, antes de ser aprobada su ejecución.

Obviamente, existen proyectos de investigación que por su naturaleza, escapan al proceso metodológico propuesto, pero se espera que sean los menos. En estos casos, se seguirá utilizando el buen juicio del investigador y del decisor.

Bibliografía

- Casas, D. E. (1992). "Una propuesta de análisis económico para la investigación agrícola" (mimeo).
- Castillo, S. (1991). "Políticas de desarrollo económico y la degradación de los recursos naturales: El caso de la región centroamericana, El Chasqui", Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica.
- CIAT (1989). *Informe anual, pastos tropicales*, Documento de trabajo núm. 69, sección de economía, pp. 20-24.
- Evenson, E. R. y Y. Kislev (1976). *Investigación agrícola y productividad*, Madrid, Tecnos.
- Hittinger, P. J. (1989). *Análisis económico de proyectos agrícolas*, Madrid, Tecnos (Serie del IDE del Banco Mundial sobre desarrollo económico).
- Jiriliches, Zvi (1959). "Hybrid corn: an exploration in the economics of technological change", *Econometrica*, octubre.
- Libon, A. (1987). "Investigación en campos de agricultores: Un método operacional de diagnóstico y planeación para la experimentación", ponencia en el XX Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Zacatecas, CIRAD/CIMMYT, México.
- López, W. y S. Castillo M. (1991). *La investigación adaptativa en campos de agricultores (ICA) en la región de La Fraylesca, Chiapas, México: Un análisis de rentabilidad económica en el contexto del manejo integrado de los recursos naturales*, tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica.
- Martínez, J. C. y G. Sain (1983). "The economic returns of the institutional innovations in national agricultural research: on-farm research in IDIAP, Panamá", CIMMYT, México.

- Norton G. y J. S. Davis (1981). "Evaluating returns to Agricultural research: A review", *American Agriculture Economics Association*, pp. 685-699.
- Ruttan, V. W. (1983). *Agricultural Research Policy*, Minnéapolis, University of Minnesota press.
- Sanders, J. H. (1981). "Lecture Notes, International Agricultural Development Course", semestre de invierno, Department of Agricultural Economics, Purdue University, West Lafayette, Indiana, pp. 62-81.
- Viera, A., J. Sanders y M. K. Habash (1988). "Decentralization of New Agricultural Technologies: Soybean Diffusion in the United States and Brazil", *Quarterly Journal of International Agriculture*, vol. 27, pp. 150-162.