

CONTROL DE FIEBRE AFTOSA EN BOVINOS: UNA APLICACION DE EXTERNALIDADES

EUGENIA MUCHNIK DE RUBINSTEIN *

ABSTRACT

This paper examines different control strategies of the foot and mouth disease in regions where it is endemic.

The externalities related to disease control are examined with, basically, two models. One is an epidemiological Markov process model and the other simulates at the farm level the development of a herd and its economic results.

This constitutes the basis of the social cost benefit analysis of different vaccination and eradication strategies.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este trabajo es examinar, desde el punto de vista económico, diversas alternativas existentes para el control de fiebre aftosa en una zona endémica. Particularmente, se pretende incorporar las externalidades provenientes del control de aftosa en un modelo que permita estimar la estrategia óptima de control para la región. El acto de controlar una enfermedad contagiosa genera beneficios no sólo para el productor ejecutor de esta acción, sino que también produce beneficios externos o externalidades a los restantes ganaderos de la comunidad, ya que estos últimos ven reducido el riesgo de contraer la enfermedad sin necesidad de realizar acción alguna. En situaciones como ésta, donde los beneficios externos pueden ser considerables y el mecanismo de precios no resulta efectivo para estimular un nivel apropiado de gastos privados en control sanitario por parte de los mismos ganaderos, es fácilmente justificable la acción pública con el fin de corregir las deficiencias del mecanismo de precios. Si bien la presencia de externalidades en el control de enfermedades tanto humanas como animales ha sido varias veces señalada en la literatura, no han habido esfuerzos para incorporarlas en el análisis costo-beneficio de la inversión en control sanitario.

* Agradezco a la profesora Dra. Anne Krueger y a los doctores Alberto Valdés y Gustavo A. Nores, por sus valiosas sugerencias a lo largo de todo el trabajo. Igualmente se agradece a la Fundación Ford y a CIAT por la ayuda financiera para su realización.

La metodología desarrollada es aplicada a la evaluación de estrategias de control de fiebre aftosa, enfermedad de gran importancia en América Latina. En esta región la aftosa fue identificada por primera vez en 1870 y desde entonces se expandió gradualmente hasta convertirse en una enfermedad endémica en la mayor parte de Sudamérica. Las campañas para su control comenzaron en la década de 1950 y a comienzos de 1960, y hoy constituye la enfermedad animal para cuyo combate se dispone de mayores recursos, tanto en este continente como en el mundo entero¹. Dado que no produce mayor mortandad, la preocupación por esta enfermedad en áreas endémicas se debe a que reduce la productividad animal en un 20 a 30%², y también interfiere con el comercio internacional de animales y productos animales. De hecho, la presencia de fiebre aftosa ha pasado a ser una de las mayores barreras no-tarifarias en el mercado internacional de la carne, a tal extremo que es posible hablar de la existencia de dos mercados claramente distintos: el mercado libre de aftosa y el mercado con aftosa. En el primero, Estados Unidos, Canadá y Japón representan los mayores importadores, y Australia el principal exportador. En cambio, en el mercado con aftosa, el principal grupo importador ha sido el Reino Unido y la Comunidad Económica Europea (CEE), en tanto que Argentina, Uruguay, Paraguay y Brasil son los principales exportadores. Ambos mercados están interconectados, ya que Australia compite en ambos mercados. Asimismo, algunos de los exportadores en el mercado con aftosa también exportan carnes de vacuno al mercado libre de aftosa en la forma de carnes cocidas o envasadas. A pesar de ello el precio de exportación para un tipo similar de carne puede diferir en ambos mercados y se observa, en general, que el precio ha sido mayor en el mercado libre de aftosa. Esto significa que, de lograrse la erradicación de esta enfermedad en un país exportador endémico, traerá beneficios no sólo en términos de aumentos en el volumen de producción, sino que también resultará en aumentos del ingreso del sector exportador por concepto de precios de venta más altos.

Factores básicos sobre fiebre aftosa y su control

La fiebre aftosa (FA) es una infección viral altamente contagiosa, principalmente en bovinos, porcinos, ovinos y caprinos, que afecta la población animal de una buena parte del mundo. Es producida por siete tipos principales de virus conocidos con diferencias inmunológicas bien definidas, de modo que los animales que adquieren resistencia a un tipo de virus pueden ser susceptibles a otros tipos de virus. Los animales se infectan con el virus de FA por contacto directo con animales infectados, o indirectamente por medio de material contaminado, tales como cuero, leche, heno, etc. Una gran diversidad de objetos animados e inanimados tales como ropa, equipaje, pájaros, animales salvajes y domésticos o agua corriente pueden actuar como portadores mecánicos del virus. Este último puede sobrevivir por varios meses en la médula de los huesos y en desperdicios de animales sacrificados, especialmente a temperaturas frías o en estado congelado.

¹ Ver Rosenberg (1976).

² Ver Brooksby (1977).

Los animales infectados presentan generalmente ciertos síntomas visibles de aftas en la boca y en las patas, y debido al dolor y la fiebre no se alimentan, perdiendo peso rápidamente. En vacas lactantes se reduce la secreción de leche, y es posible que se presenten abortos en vacas preñadas. Pueden también presentarse lesiones permanentes en algunos animales que, por lo tanto deben ser desechados del rebaño. Sin embargo, después de tres a cuatro semanas, la mayoría de los animales enfermos se recuperan gradualmente, adquiriendo resistencia a nuevas infecciones de aftosa por varios meses.

En los países donde la enfermedad es endémica, el virus de FA causa infecciones tanto clínicas como subclínicas y está presente permanentemente en algunos animales. Periódicamente se produce un ascenso repentino de la enfermedad, particularmente cuando la población susceptible de animales jóvenes alcanza una proporción alta. Debido a la diseminación de la epidemia con un gran número de brotes, sigue una etapa de desarrollo generalizado de inmunidad y sólo se presentan algunos brotes aislados, hasta que vuelve a repetirse el ciclo³.

De los varios métodos existentes para el control de FA sólo se considerarán los dos siguientes, por ser los más relevantes para zonas endémicas:

a) *Vacunación.* Esta estrategia se define como una vacunación preventiva cada cuatro meses de animales de más de tres meses de edad. Es preciso destacar que la vacuna no es un método infalible de control. La inmunidad que desarrolla en los animales es limitada tanto en el tiempo como en el grado de protección que confiere. A excepción de las vacunas oleosas que están siendo actualmente probadas en condiciones de campo (por ejemplo, en el Estado de Río de Janeiro, en Brasil), las vacunas corrientemente utilizadas en Sudamérica no protegen más del 80-90% y la resistencia inducida desaparece rápidamente después de cuatro meses. La vacunación puede cubrir desde un número pequeño hasta el 100% de los animales. Aun cuando teóricamente la decisión es vacunar o no vacunar, en la práctica hay varias razones por las cuales el nivel de vacunación puede fluctuar entre 0 y 100%. Por ejemplo, si se alarga el intervalo entre vacunaciones, o se compran animales no vacunados, o debido a problemas de manejo o falta de dosis suficientes de vacuna, puede de hecho implementarse una vacunación parcial de parte del rebaño solamente. Por ello, en el presente estudio, cada nivel de vacunación se considera una estrategia diferente, medida por el porcentaje promedio del rebaño vacunado tres veces por año. Se supone que la cobertura de vacunación escogida como estrategia se mantiene constante a través del tiempo.

b) *Erradicación.* La estrategia de erradicación en una zona endémica puede lograrse de diversas maneras, pero en general el componente fundamental es la matanza de los animales infectados y de cualquier otro que haya estado en contacto con los anteriores. Para fines de este estudio se ha definido la erradicación en dos etapas. La primera consiste en cuatro años sucesivos de vacunación preventiva en gran escala, seguida por una segunda etapa de dos años más de vacunación en combinación con matanza. En esta segunda etapa activa de la erradicación se establece cuarentena en las áreas con brote, restringiéndose el desplazamiento de animales y personas. La actividad de vigilancia

³ Power y Harris (1973).

epidemiológica que se emprende en la segunda etapa continúa indefinidamente en la región o país con el fin de impedir la reintroducción de la enfermedad en el área. Se considera que una vez suspendida la vacunación y eliminados los animales infectados no se presentarán nuevos brotes, y la región podrá ser considerada como área libre de aftosa.

Por lo tanto la estrategia de erradicación implica incurrir en una alta inversión durante los años iniciales, pero también una reducción de los costos en los años siguientes a un nivel menor que con vacunación. Como se puede apreciar, la selección entre estrategias de control es un problema de decisión entre alternativas de inversión.

Las externalidades en el control de fiebre aftosa

Se dice que existe un efecto "externo" cuando el valor de una función de producción (o de consumo) depende directamente de la actividad de otros, sobre la cual no se tiene ningún control. Un ejemplo clásico es el de un huerto con manzanos, vecino a un productor de miel de abejas. Las flores del manzano entran en la función de producción de miel de abejas: tienen un producto marginal positivo, pero no tienen un precio de mercado. El dueño del huerto no puede, por lo tanto, cobrar por su factor productivo escaso, y como resultado, el costo marginal social de las manzanas es igual a su costo marginal privado, menos el valor del incremento en la producción de miel del vecino.

En el caso de FA y de una larga serie de enfermedades humanas y animales contagiosas también se presentan externalidades importantes debido a que su control en un predio (o por un individuo), independientemente del control efectuado en los predios (o individuos) restantes, reduce la probabilidad de infección en los otros predios. Así, el ganadero que vacuna contra FA en su predio sólo está recibiendo una parte del beneficio total, dado que los vecinos no pagan por el beneficio obtenido. La asignación de recursos al control de FA mediante el mecanismo de mercado fracasa debido a la naturaleza de bien público del insumo vacunación, en cuyo caso cabe esperar un nivel de vacunación subóptimo. Con la estrategia de erradicación se pueden presentar beneficios externos adicionales provenientes del acceso al mercado externo "sin FA", si en este último logra un mejor precio de venta. Un productor individual no puede captar este beneficio a menos que todos los demás productores de la región también implementen un programa de erradicación. Además el predio que pretenda erradicar la FA no puede tener ninguna certeza de permanecer libre de la enfermedad, a menos que todos los predios de la región también lo hagan. Por lo tanto, la erradicación no puede ser considerada como una alternativa privada de control, es decir, cuando la asignación de recursos al control de FA se guía por el sistema de precios en libre competencia.

A continuación se presenta el modelo de simulación utilizado para efectuar una evaluación "ex-ante" del control de FA y comparar las estrategias alternativas de control ya descritas desde el punto de vista técnico y económico. Su aplicación a nivel de un predio permite estimar cuál es la estrategia óptima de control desde el punto de vista privado, sin incluir las externalidades. La generalización de los resultados obtenidos a los restantes productores de la región o país permite predecir el nivel de control que tendría lugar si no hay intervención pública en este campo.

Igualmente la aplicación del modelo desarrollado a toda la región bajo estudio, considerando esta última como un gran predio "consolidado", que internaliza los beneficios externos del control de FA entre predios, permite estimar cuál es el nivel "social" óptimo de control. En este último caso se incluye la estrategia de erradicación como una posible alternativa a ser evaluada.

II. EL MODELO

El modelo utilizado consta de dos submodelos: un submodelo epidemiológico y un submodelo del predio.

El *submodelo epidemiológico* es básicamente un modelo matemático de procesos de semi-Markov, en el que se definen ocho categorías de animales para zonas endémicas: susceptibles, no expuestos, expuestos o infectados, asintomáticos, enfermos, muertos, resistentes y portadores. En el caso de estrategias de vacunación se agrega una novena categoría: resistentes por vacunación. Estas categorías epidemiológicas corresponden a distintos estados en el desarrollo de la enfermedad y con las que se pueden clasificar los animales de un predio en un momento dado en el tiempo. El modelo permite describir el comportamiento de la aftosa a través del tiempo en términos de flujos de animales que pasan de una categoría o etapa a otra del proceso epidemiológico. El tamaño de estos flujos es función de factores ecológicos (por ejemplo, densidad ganadera, disponibilidad y tipo de caminos, clima y topografía), de las condiciones del huésped (tales como raza y edad) y del tipo y poder infectivo del virus. El gráfico 1 ilustra la relación existente entre categorías (presentados en este gráfico mediante casillas), en tanto que las flechas entre categorías indican la dirección en la que se pueden mover los animales a través del tiempo en un predio o región en donde la enfermedad es endémica. Así, en un momento dado, una cierta proporción de los animales susceptibles se ven expuestos al virus y como resultado algunos de ellos se enferman en tanto que otros, si bien pueden también resultar infectados, no presentan la enfermedad en forma clínica. De los animales que enferman, unos pocos pueden morir, en tanto que otros se recuperan y permanecen resistentes por algún tiempo a nuevas infecciones con el mismo virus. Finalmente, otros animales quedan como portadores del virus, aunque también resistentes a nuevas infecciones del mismo virus por varios meses. Igualmente, los infectados subclínicamente adquieren resistencia temporalmente y algunos pueden también pasar a ser portadores.

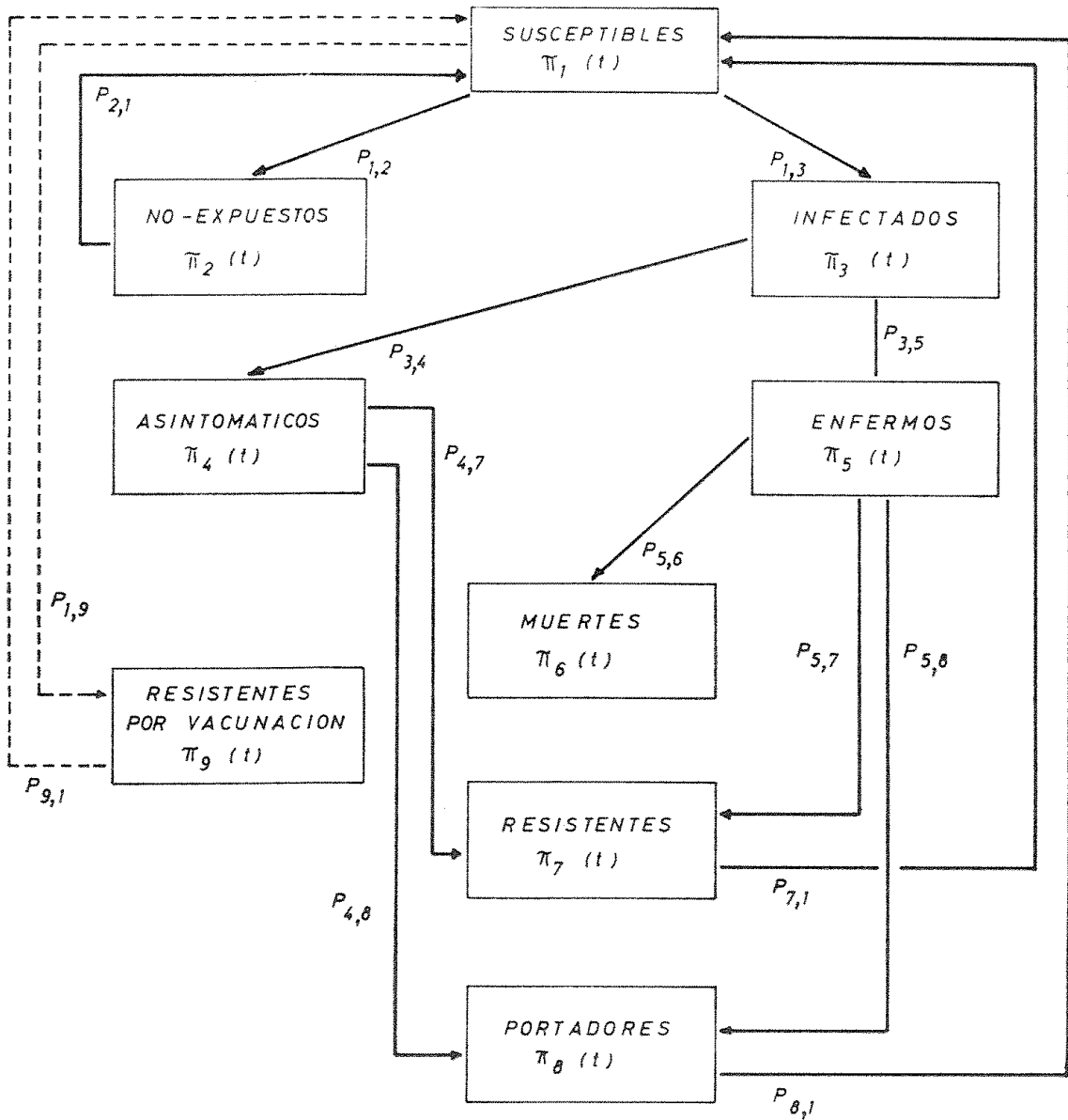
Mediante vacunación preventiva una cierta proporción de los animales susceptibles adquieren directamente resistencia al virus, dependiendo su número de la cobertura alcanzada por la vacunación, así como del nivel de inmunidad conferido por la vacuna. La inmunidad lograda con la vacuna depende de su calidad y de su manejo en condiciones de campo, tal como adecuada conservación a baja temperatura. Es preciso notar que la duración de la resistencia inducida por la vacuna es bastante menor que la que se logra por exposición reciente al virus. Esta situación puede variar considerablemente con la producción de vacunas tales como las oleosas.

A través de este modelo puede deducirse que la vacunación no sólo implica la creación de una nueva categoría y flujos nuevos (aquellos de línea

punteada en el gráfico 1), sino que también afecta el tamaño de todos los demás flujos en función del nivel de cobertura y de protección logrados con la vacunación.

GRÁFICO 1

FLUJOS DEL MODELO EPIDEMIOLOGICO DE FIEBRE AFTOSA PARA AREAS ENDEMICAS



----- SOLO CON VACUNACION

A fin de estimar las tasas de incidencia o morbilidad y mortalidad de la enfermedad se escogió el modelo estocástico de semi-Markov como el más apropiado para representar esta enfermedad. El modelo de procesos semi-Markov permite analizar enfermedades donde las proporciones de animales que se mueven entre categorías no son determinísticas, donde las transiciones de una categoría a otra tienen lugar en intervalos de tiempo conocidos y la enfermedad se desarrolla en etapas que son verificables empíricamente.

Los elementos básicos del submodelo epidemiológico son dos: (1) una matriz cuadrada probabilística P que contiene las probabilidades de transición de una categoría a otra, y (2) una matriz diagonal estocástica M , que contiene el conjunto de todos los tiempos promedios de espera en cada uno de los estados o categorías. La unidad de tiempo utilizada es de una semana, de modo que cada elemento en M está expresado en número de semanas⁴.

La incidencia anual de largo plazo, es decir, la proporción de animales del rebaño que se enferman anualmente en equilibrio, se obtiene en base a las siguientes ecuaciones:

$$(1) \quad \pi^* = \pi^* P$$

$$(2) \quad \Phi = \frac{1}{\bar{\tau}} M$$

$$(3) \quad \bar{\tau} = \sum_{i=1} \pi_i^* \bar{\tau}_i$$

$$(4) \quad e_5 = \Phi_5 \frac{1}{\bar{\tau}_5}$$

$$(5) \quad \gamma = 1 - (1 - e_5)^{52}$$

donde:

π^* = es el vector que representa la proporción de animales que se encuentra en cada categoría en el largo plazo;

Φ = es el vector de probabilidades de distribución entre categorías semanales en el largo plazo, teniendo en cuenta la distinta duración del proceso de cada estado;

$\bar{\tau}$ = es la duración media ponderada de todo el proceso medido en semanas;

$\bar{\tau}_i$ = es la duración media de la etapa i del proceso en semanas;

e_5 = es la probabilidad semanal de entrar en la categoría 5 (enfermos) en el largo plazo, es decir, la incidencia semanal;

γ = es la incidencia anual de fiebre aftosa en el largo plazo.

⁴Las características epidemiológicas del modelo son descritas en Aycardi y Morales (1977) y las propiedades matemáticas en Rubinstein (1977).

La definición en forma determinística de las matrices P y M permite simular el comportamiento estático de largo plazo de la enfermedad. Así, para cada estrategia alternativa, sin o con vacunación, se deben estimar el par de matrices P y M, y de este modo se obtienen los valores de incidencia y mortalidad por fiebre aftosa correspondientes.

Para propósitos de este estudio se supuso una población estática sin nacimientos o muertes por otras causas, excepto por FA. Se podría, en cambio, suponer una tasa constante de crecimiento de la población. El tamaño relativo del grupo susceptible aumentaría en la misma proporción, ya que todos los recién nacidos pasarían directamente a ser susceptibles a los tres meses de edad, en tanto que la tasa de mortalidad podría suponerse igual para todas las categorías.

El *submodelo de predios* simula la composición y desarrollo del rebaño, así como el flujo de gastos e ingresos del predio. Se modelaron dos tipos de predios: de cría y operaciones de levante o ceba.

Se considera que inicialmente los predios tienen un rebaño estabilizado. Su tamaño y composición en operaciones de cría son función del número de vacas promedio por predio existentes en la región y de los coeficientes técnicos de producción que alcanzan sin FA. El tamaño y composición de los rebaños de engorda dependen de la producción de los predios de cría y de la duración media del período de engorda. En consecuencia, el ingreso neto anual sin FA estimado por predio depende de los niveles de productividad existentes en la región, de los costos unitarios y de los precios.

En los predios de cría el impacto de la FA sobre el desarrollo del rebaño y flujo de caja son fundamentalmente los siguientes:

- menor natalidad debido a abortos, mayor intervalo entre partos e infertilidad;
- mayor desecho de stock de cría por el daño permanente que puede ocasionar en vacas y/o toros afectados;
- reducción en el tamaño del rebaño por mortalidad mayor que la normal.

Además, es probable que no se compren novillos de reemplazo de otros predios por algún tiempo, dado el riesgo de reintroducir la enfermedad. Ello impone un límite a la velocidad a la que puede recuperarse el predio después de un brote de FA.

Los efectos anteriores se verán reflejados en el desarrollo del rebaño y, por lo tanto, también en el flujo de ingreso neto del predio a través del tiempo. Además deben considerarse los siguientes efectos de la enfermedad que afectan directamente el flujo de ingresos y gastos:

- reducción en la producción de leche del predio debido a una menor producción diaria de leche durante la fase activa de la enfermedad y/o por una menor duración de la lactancia en vacas enfermas;
- castigo en el precio de venta de animales enfermos debido a un menor peso y/o mala condición física;
- mayores gastos de operación relacionados con el manejo de los enfermos, tales como drogas, desinfectantes y mano de obra adicional.

En los predios de engorda o ceba el impacto principal de la FA se presenta en:

- mayor mortalidad que la normal;
- menor peso a la venta de animales que enferman;
- mayor duración del período de engorda;
- mayores gastos por concepto de drogas, desinfectantes y mano de obra por algunos meses durante el brote de FA.
- puede, igualmente, haber un menor precio de venta para ciertos animales enfermos por deterioro de sus condiciones físicas.

Un efecto difícil de medir en la práctica, pero de cierta importancia, es el costo adicional que impone la cuarentena de predios afectados al prohibirse la entrada o salida de animales o productos por algún tiempo.

La simulación del desarrollo del rebaño y flujo de gastos e ingresos "con FA" es función de las tasas de morbilidad y de mortalidad por aftosa obtenidos mediante el submodelo epidemiológico. Tanto las tasas de morbilidad y mortalidad como los restantes parámetros "con FA" dependen del nivel de vacunación existente en el predio y también del nivel promedio de vacunación en la región. El modelo de predios permite proyectar separadamente la evolución del rebaño de animales sanos y de los enfermos hasta que todos los efectos directos o indirectos del brote hayan ocurrido y se retorne al tamaño del rebaño de prebrote⁵. Esto puede significar proyectar el desarrollo del rebaño por sólo algunos meses hasta por un par de años, según el tipo de predio y el impacto de la enfermedad.

Las pérdidas económicas originadas por un brote de FA en un predio cualquiera se miden por la diferencia entre el flujo de ingreso neto sin y con la enfermedad. Debido al hecho de que las probabilidades de Markov consideradas en el modelo epidemiológico son probabilidades de equilibrio de largo plazo, y por los supuestos de rebaños estables y precios constantes, cada estrategia de control resulta en un flujo anual constante de pérdidas por aftosa para el sector ganadero de la región.

Costos y beneficios privados del control de fiebre aftosa

Los proyectos de control de FA generan flujos de costos e ingresos para períodos diferentes y con distintas distribuciones, lo cual dificulta la comparación entre alternativas. Esta dificultad se supera normalmente mediante la aplicación de la técnica llamada "análisis costo-beneficio". En esta técnica se estiman los costos y beneficios anuales de cada alternativa de control para un período suficientemente largo que corresponda a la vida útil del proyecto y que sea el mismo para todas las alternativas a ser consideradas. Los beneficios anuales netos son descontados hasta el año inicial del proyecto. Este procedimiento permite comparar costos y beneficios que tienen lugar en distintos momentos. Los resultados pueden ser comparados en base a varios criterios, tales como valor presente neto, tasa interna de retorno y razón beneficio-costo.

La comparación entre estrategias de vacunación y la alternativa de cero control no requieren descontar los beneficios netos anuales, ya que no inclu-

⁵ Los modelos fueron escritos en FORTRAN para su uso en computador.

yen una inversión inicial⁶, y como ya se dijo anteriormente, se obtienen beneficios netos constantes para cada estrategia, correspondientes a situaciones de equilibrio de largo plazo. En cambio, la comparación entre vacunación y erradicación exige el uso de la técnica costo-beneficio, para cuyo efecto se usó en este estudio el criterio de valor presente neto.

Los *beneficios privados* se simulan trabajando a nivel de predio. Se define el beneficio anual bruto de una estrategia cualquiera de vacunación, como la reducción en pérdidas económicas que se logra con dicha estrategia, en comparación con el nivel de pérdidas si no se controla FA en el predio. Es posible esperar, en base a un criterio epidemiológico, que exista una relación no lineal entre cobertura de vacunación y los beneficios brutos esperados, y que la actividad marginal de vacunación sea baja a niveles muy bajos y muy altos de vacunación⁷.

Los *costos de vacunación* incluyen el valor de todos los recursos utilizados en la producción, distribución y aplicación (tres veces por año) de la vacuna a los bovinos. Se supone en este estudio que no existen discrepancias entre costos privados y sociales, y que los costos unitarios son constantes e independientes del nivel de vacunación. Este supuesto se adopta para simplicidad de análisis, pero puede ser fácilmente relajado.

Medición de las externalidades

Se utiliza el enfoque de equilibrio parcial de Marshall y Pigou, presentado por Becker⁸ en su discusión sobre externalidades en producción, cuando ésta tiene lugar entre firmas de una misma industria. La industria corresponde en este estudio al sector ganadero de una "región cerrada" y las firmas son los predios ganaderos de la región. Se supone que existen n_1 predios de cría, n_2 de levante y n_3 de ceba, iguales entre sí, respectivamente.

Sea y_i el ingreso bruto del predio i , excluyendo para mayor simplicidad todos los demás insumos, excepto vacunación contra aftosa.

$$(6) \quad y_i = f(v_i; v_1, v_2, \dots, v_N), \quad y$$

$$V = \sum_{i=1}^N v_i$$

donde:

- v_i = es el nivel de vacunación en la finca i ,
- V = es el nivel regional de vacunación,
- N = es el total de predios de la región

Se puede reemplazar la ecuación (6) por:

$$(7) \quad y_i = f(v_i, V)$$

⁶ Por ejemplo, puede suponerse que la vacuna es importada o es producida por un laboratorio privado local.

⁷ Scheffler y Lipscomb (1974).

⁸ Becker (1971).

La ecuación (7) expresa que el ingreso bruto del predio i es función del nivel de vacunación en el predio y en la región, y es independiente de la distribución de la cobertura de vacunación entre los predios restantes.

Cada predio usará aquel nivel de vacunación que maximice el valor presente del flujo de beneficios anuales netos provenientes de la vacunación para un nivel dado de vacunación regional. Ello significa que el nivel deseado de vacunación en el predio i será diferente para cada nivel posible de vacunación regional. El gráfico 2 ilustra la determinación del nivel óptimo de vacunación para un predio dado. En él se miden los niveles de cobertura de vacunación en el predio y región en los ejes horizontales (v y V , respectivamente) y los beneficios privados netos en el eje vertical.

Las curvas como AA o CC muestran cómo varían los beneficios privados netos del predio a medida que éste incrementa su nivel de vacunación. El punto a representa el más alto beneficio neto para el predio cuando el nivel de vacunación regional es OA. En cambio, con una mayor cobertura regional de vacunación (OC), el punto más alto es c . La proyección de todos los puntos de mayor beneficio privado neto sobre el plano vV forma la curva DD. Por lo tanto esta curva representa el nivel deseado de vacunación privada para cada nivel posible de vacunación regional. A medida que aumenta paramétrica-mente el nivel regional de vacunación, disminuye el nivel deseado de vacunación en el predio. Dado que todos los predios son idénticos, sólo puede materializarse un nivel de vacunación en él igual al nivel regional observado. Esta condición de consistencia se da cuando la curva DD interseca la diagonal OO'. En el ejemplo ilustrado en el gráfico 2 el nivel de vacunación Oc' cumple ambas condiciones: maximiza el beneficio privado neto de vacunación y es consistente con la estrategia regional de vacunación (Oc' = OC). Este es el nivel privado "óptimo" de vacunación.

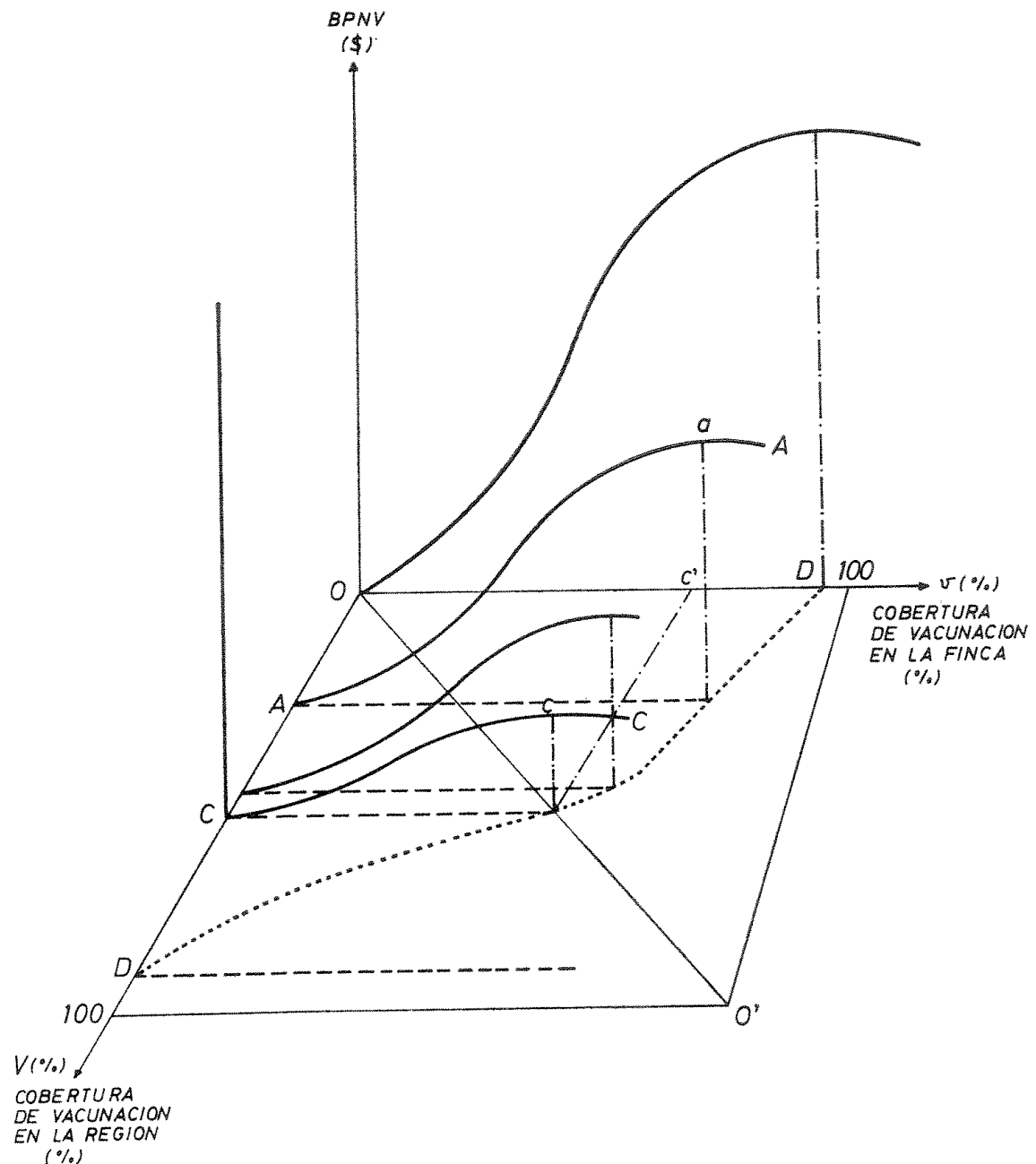
La relación entre el ingreso bruto del predio y el nivel regional de vacunación se ha incorporado a través del submodelo epidemiológico de la siguiente manera: se ha supuesto que todos los parámetros en las matrices P y M dependen del nivel de vacunación seguido por el predio, con excepción del primer elemento de M, que es la duración media en el estado susceptible ($\bar{\tau}_1$) que también dependería del nivel regional de vacunación, V. La relación entre $\bar{\tau}_1$ y V es indirecta y opera a través de la probabilidad anual de brote. Cuando V aumenta, disminuye la probabilidad de brotes de largo plazo en la región, lo que implica una mayor distancia en el tiempo entre brotes, o mayor $\bar{\tau}_{1,3}$ ⁹, y por lo tanto, implica un valor mayor de $\bar{\tau}_1$. Este último parámetro se define como:

$$(8) \quad \bar{\tau}_1 = \bar{\tau}_{1,2} p_{1,2} + \bar{\tau}_{1,3} p_{1,3} + \bar{\tau}_{1,9} p_{1,9}$$

⁹ $\bar{\tau}_{1,3}$ es la duración media del proceso en la categoría 1 antes de pasar a la categoría 3 de expuestos al virus.

GRÁFICO 2

DETERMINACION DEL NIVEL OPTIMO PRIVADO DE VACUNACION



En consecuencia, las tasas de incidencia y mortalidad por FA de largo plazo en el predio típico dependerán del nivel de vacunación de éste y en la región. Para un nivel dado y constante de V , los beneficios brutos privados de vacunación se obtienen comparando las pérdidas económicas por FA que ocurren bajo esta estrategia con las pérdidas que se obtienen sin ningún control. Los beneficios regionales se estiman ponderando los beneficios a nivel de predio por la proporción del rebaño regional correspondiente a ese tipo de predios.

El nivel "social" óptimo de vacunación se deriva mediante la aplicación del modelo de simulación a la región, cuando ésta es analizada como una sola unidad económica o predio consolidado, compuesto de tres segmentos complementarios: cría, levante y ceba. Esta vez todos los parámetros epidemiológicos son función del nivel regional de vacunación; por definición $v_i = V$. El beneficio social neto de cada nivel regional de vacunación se mide por la reducción en pérdidas por aftosa en comparación con una situación sin control. La estrategia óptima de vacunación desde el punto de vista social es aquella con la que se maximiza el beneficio social neto.

Una ilustración del modelo

A continuación se presentan brevemente los resultados obtenidos de aplicar el modelo desarrollado a una región de la costa norte de Colombia, que tiene una población bovina de 4.4 millones de cabezas.

Los cuadros 1 y 2 resumen los resultados obtenidos con el submodelo epidemiológico. Los valores de incidencia anual y mortalidad por FA de equilibrio de largo plazo disminuyen a medida que aumenta el nivel de vacunación en el predio y/o en la región. Si bien se sabe que la enfermedad presenta un comportamiento cíclico en zonas endémicas, sólo se ha considerado la probabilidad anual de brote promedio correspondiente a cada nivel regional de la vacunación. La incorporación subsiguiente de los resultados anteriores en los submodelos de predios, junto con información sobre coeficientes de producción, costos, precios y pérdidas físicas por FA, permiten obtener una matriz de pérdidas económicas anuales para los predios representativos. Las pérdidas anuales regionales se obtuvieron ponderando los resultados a nivel de predio por la proporción del rebaño regional representado por cada tipo de predio, y son presentadas en el cuadro 3. Para un nivel cualquiera de vacunación regional, el productor percibe el beneficio bruto de vacunar una cierta proporción de su rebaño como la reducción en pérdidas económicas que obtiene de pasar de cero vacunación a dicho nivel de cobertura. Por lo tanto las diferencias verticales derivadas del cuadro 3 constituyen los beneficios privados brutos de vacunación. Al restar los respectivos costos de control se obtienen los beneficios privados netos presentados en el cuadro 4 para un predio "típico". El costo unitario de vacunación estimado es de \$ 26 colombianos.

Estos mismos valores se presentan en el gráfico 3, donde cada curva representa otra columna del cuadro 4.

Hasta un nivel de vacunación regional de 60 por ciento, cada predio intentaría vacunar el ciento por ciento de su rebaño. En cambio, si el productor espera niveles regionales de vacunación superiores a 80 por ciento, le será más rentable no vacunar en su predio, pues los beneficios brutos visualizados son inferiores a los costos de vacunación. Por lo tanto el nivel privado óptimo de vacunación es un valor entre 60 y 80 por ciento. Se ha estimado el resultado mediante interpolación lineal, lo que da un nivel óptimo de 70 por ciento. Con esta cobertura de vacunación se maximizan las utilidades del predio y el nivel de vacunación en éste es consistente con el nivel regional, que es también 70 por ciento.

CUADRO I
INCIDENCIA ANUAL DE FIEBRE AFTOSA EN EL PREDIO

Nivel de vacunación en el predio (%)	Nivel de vacunación en la región (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	19.0	17.7	16.3	15.1	14.1	12.2	10.6	5.5	4.7	3.3	2.5
10	18.2	16.4	15.2	14.1	13.2	11.5	10.0	5.3	4.5	3.1	2.3
20	16.6	15.1	14.0	13.0	13.1	10.6	9.3	4.9	4.3	3.0	2.2
30	15.1	13.7	12.7	11.9	11.1	9.7	8.5	4.5	3.9	2.7	2.1
40	13.5	12.3	11.4	10.7	10.0	8.8	7.7	4.1	3.6	2.5	1.9
50	11.6	10.6	9.9	9.2	8.7	7.7	6.7	3.7	3.2	2.2	1.7
60	8.9	8.2	7.7	7.2	6.8	6.0	5.3	3.0	2.6	1.8	1.4
70	5.4	5.0	4.8	4.5	4.3	3.8	3.4	2.0	1.7	1.2	1.0
80	2.9	2.8	2.6	2.5	2.4	2.2	2.0	1.2	1.1	0.8	0.6
90	1.17	1.12	1.08	1.05	1.01	0.95	0.90	0.60	0.54	0.41	0.33
100	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08

Fuente: Rubinstein (1977), cuadros E.1 a E.4.

CUADRO 2
MORTALIDAD ANUAL POR FIEBRE AFTOSA EN EL PREDIO
x 10.000

Nivel de vacunación en el predio (%)	Nivel de vacunación en la región (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	47.5	44.2	40.7	37.7	35.1	30.5	26.5	13.7	11.7	8.2	6.2
10	41.8	37.7	34.9	32.4	30.2	26.4	23.0	12.0	10.3	7.2	5.3
20	34.8	31.6	29.4	27.3	25.4	22.2	19.4	10.3	8.9	6.2	4.6
30	28.7	26.0	24.1	22.5	21.0	18.5	16.1	8.5	7.4	5.1	4.0
40	20.2	18.4	17.1	16.0	14.9	13.2	11.5	6.2	5.4	3.7	2.8
50	11.6	10.6	9.8	9.2	8.6	7.6	6.7	3.6	3.1	2.2	1.7
60	6.2	5.7	5.3	5.0	4.7	4.2	3.7	2.0	1.8	1.2	1.0
70	2.7	2.5	2.4	2.1	2.1	1.9	1.7	1.0	0.8	0.6	0.5
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Rubinstein (1977), cuadros E.1 a E.4.

CUADRO 3

PERDIDAS ECONOMICAS AGREGADAS ANUALES POR FIEBRE AFTOSA
(millones de pesos colombianos, precios de 1975)

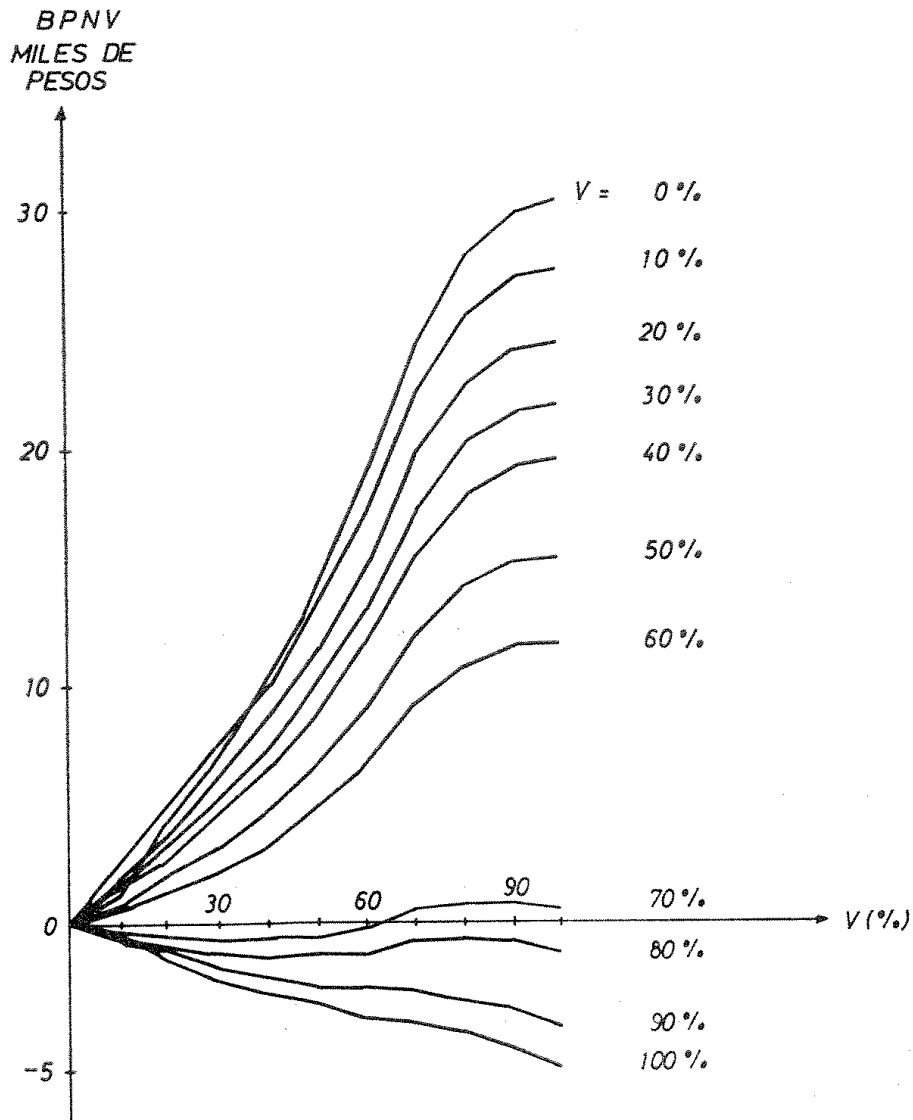
Nivel de vacunación en el predio %	Nivel de vacunación en la región (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	430	401	370	343	320	278	241	129	111	80	63
10	405	366	339	315	294	258	224	122	105	75	57
20	364	330	308	286	271	234	205	112	98	71	54
30	326	296	275	257	240	212	185	102	89	64	52
40	281	257	239	224	210	186	163	91	80	58	46
50	232	212	199	186	175	156	137	78	69	50	40
60	174	161	152	142	135	120	107	62	56	41	33
70	107	99	94	90	86	78	76	44	39	29	25
80	58	56	53	51	49	46	42	29	26	21	18
90	28	26	26	25	25	24	23	18	17	14	13
100	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	8

Fuente: Rubinstein (1977), cuadros F.1 a F.8.

En base a los resultados presentados en el cuadro 3 es también posible derivar los beneficios sociales de vacunación. En este caso los únicos valores relevantes son los de la diagonal, que resultan cuando todos los predios implementan simultáneamente el mismo nivel de vacunación, actuando como un gran predio consolidado. En el cuadro 5 se muestran los beneficios sociales brutos y netos obtenidos en este ejemplo. La segunda columna corresponde precisamente a los valores observados en la diagonal del cuadro 3. Puede apreciarse que con 90 por ciento de vacunación se maximiza el beneficio social neto, siendo esto, por lo tanto, el nivel social óptimo de vacunación. En este ejemplo los beneficios sociales netos con 90 por ciento de cobertura son apenas levemente superiores a los esperados con 80 por ciento de vacunación.

GRÁFICO 3

BENEFICIOS PRIVADOS NETOS DE VACUNACION



Fuente: Cuadro 4.

Los beneficios sociales netos pueden descomponerse en beneficios privados y externos, con ayuda de los cuadros 4 y 5. Los beneficios privados corresponden a los puntos "consistentes" o diagonal del cuadro 4, donde el nivel de vacunación en el predio es el mismo para toda la región. Los beneficios externos se obtienen por definición de restar los beneficios privados de los beneficios sociales. Puede observarse en el gráfico 4 que los beneficios externos aumentan hasta que se alcanza un 90 por ciento de vacunación. Si bien con 100 por ciento de vacunación se podrían reducir aún más las pérdidas por FA, no resulta rentable hacerlo. Este resultado se origina en el comportamiento epidemiológico esperado de la enfermedad.

CUADRO 4
BENEFICIOS PRIVADOS NETOS DE VACUNACION *
(miles de pesos colombianos, precios de 1975)

Nivel de vacunación en el predio (%)	Nivel de vacunación en la región (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1.3	2.4	1.9	1.6	1.4	0.9	0.5	-0.4	-0.5	-0.7	-0.6
20	4.4	4.9	3.9	3.4	2.6	2.1	1.3	-0.6	-0.9	-1.3	-1.4
30	7.0	7.0	6.0	5.1	4.5	3.2	2.2	-0.7	-1.2	-1.9	-2.4
40	10.3	9.8	8.5	7.3	6.4	4.6	3.3	-0.7	-1.5	-2.3	-2.9
50	14.1	13.1	11.3	9.9	8.8	6.5	4.7	-0.6	-1.5	-2.7	-3.5
60	18.7	17.1	14.9	13.1	11.6	8.9	6.6	-0.2	-1.3	-3.0	-4.0
70	24.3	22.1	19.5	17.2	15.4	12.0	9.1	0.5	-0.8	-3.0	-4.3
80	28.0	25.3	22.5	20.0	17.9	14.1	10.8	0.8	-0.6	-3.2	-4.7
90	29.9	27.1	24.0	21.4	19.2	15.1	11.5	0.8	-0.8	-3.7	-5.3
100	30.5	27.6	24.5	21.8	19.5	15.4	11.7	0.5	-1.2	-4.3	-6.1

* Este es un predio con un rebaño de cría de 150 vacas y con un rebaño total de 441 cabezas.
Fuente: Cuadro 3.

CUADRO 5

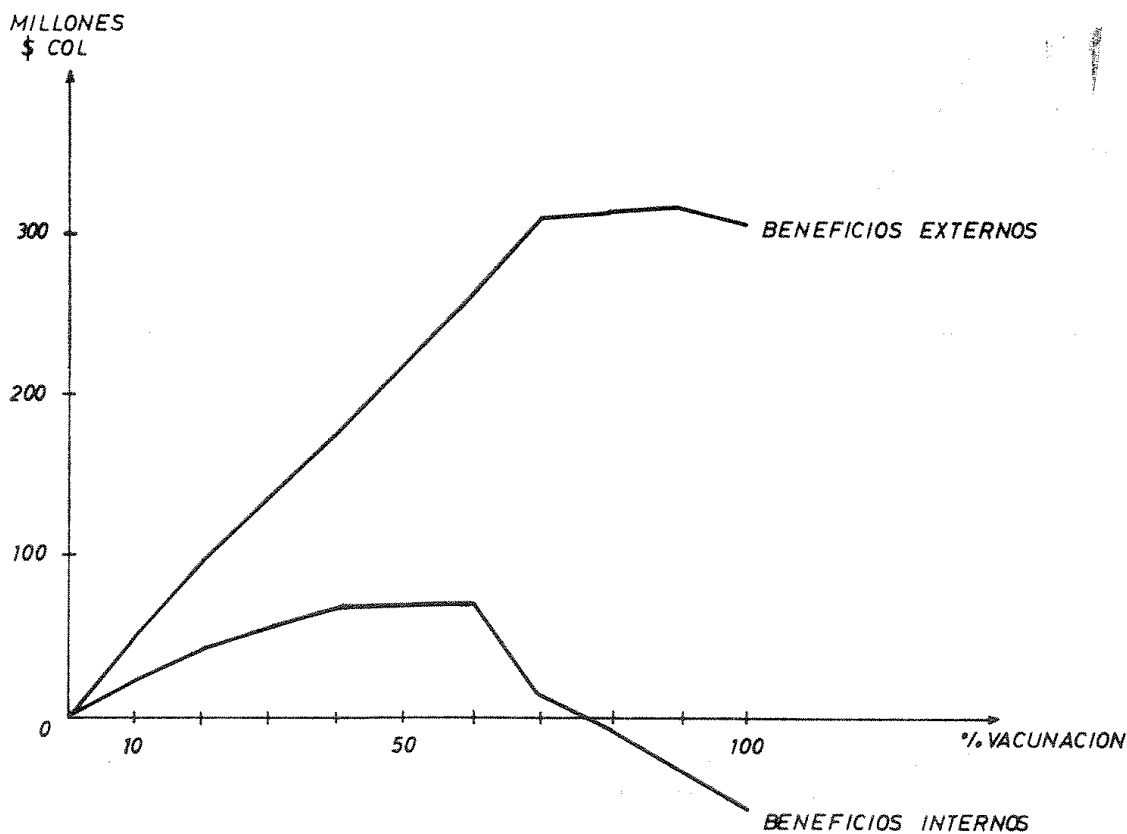
COSTOS Y BENEFICIOS SOCIALES ANUALES DE VACUNACION EN LA REGION
(millones de pesos colombianos, precios de 1975)

<i>Estrategia de vacunación (%)</i> (1)	<i>Pérdidas económicas</i> (2)	<i>Beneficios brutos</i> (3)	<i>Costos de vacunación *</i> (4)	<i>Beneficios netos</i> (5) = (3) - (4)
0	430	0	0	0
10	366	64	11	53
20	308	122	23	99
30	257	173	34	138
40	209	221	46	175
50	156	274	57	217
60	107	323	69	254
70	43	387	80	306
80	26	404	92	312
90	14	416	103	313
100	9	421	115	307

* Se estimó un costo de \$ 26 por cabeza vacunada por año.
Fuente: Cuadro 3.

GRÁFICO 4

BENEFICIOS AGREGADOS INTERNOS Y EXTERNOS DE VACUNACION



Erradicación versus vacunación

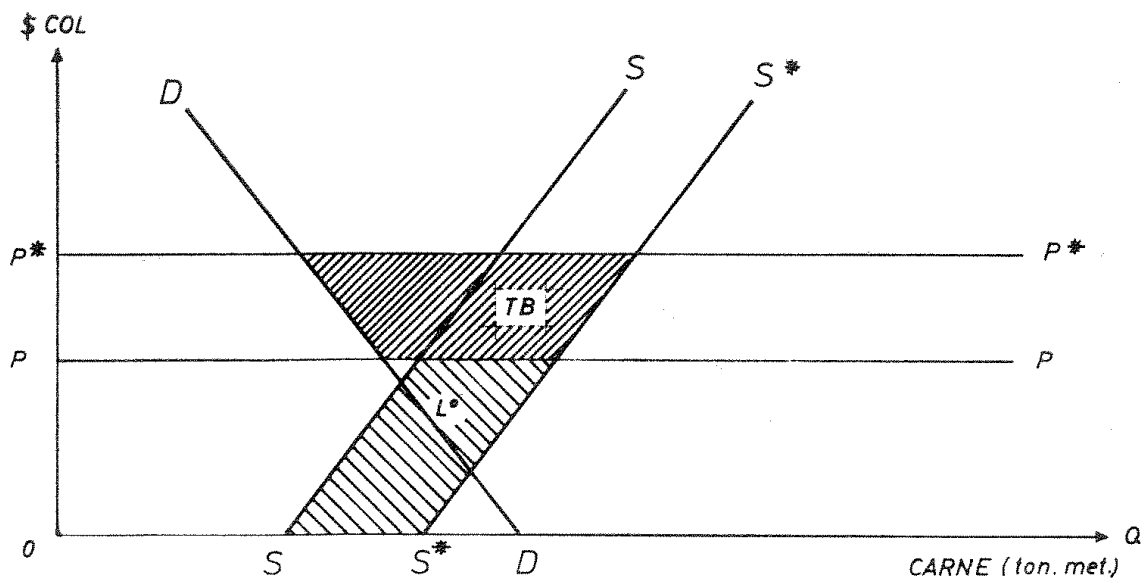
Se considera 90 por ciento de vacunación como el punto de partida para la estrategia de erradicación. La estimación de los beneficios brutos de la segunda etapa con matanza se basa en estimaciones estándares de excedente del productor-consumidor, como se ilustra a continuación en el gráfico 5. Los beneficios obtenidos con esta segunda etapa de matanza pueden ser de dos tipos:

1. Las pérdidas por FA que se evitan (L^0) y que se derivan del desplazamiento a la derecha de la curva de oferta de carne, y

2. Las divisas (TB) que se obtienen si se logra acceso al mercado externo "sin FA", debido a la diferencia de precio ($p^* - p$) con el mercado "con FA"¹⁰. Como ya se explicó anteriormente, estos son también beneficios externos de la estrategia de erradicación y se ha supuesto que sólo se captan a partir del cuarto año, esto es, un año después de acabada la actividad de matanza.

GRÁFICO 5

BENEFICIOS ANUALES BRUTOS DE ERRADICACION



¹⁰ Hasta la fecha los países importadores en el mercado "sin FA" exigen que todo el país esté libre de la enfermedad y no sólo una región determinada del país exportador. Hoy en día se está tratando de cambiar este concepto.

Los costos asociados con la segunda etapa de erradicación consisten en:

1. Los costos anuales de vacunación, que se mantienen durante los dos primeros años.
2. El costo de reemplazo de los animales sacrificados durante los dos años con matanza, y
3. El costo anual de la vigilancia epidemiológica que debe implantarse por tiempo indefinido.

Continuando con el ejemplo anterior, en el cuadro 6 se presenta el valor presente de los beneficios sociales netos esperados de continuar indefinidamente con 90 por ciento de vacunación y de erradicar la enfermedad. Los resultados indican que a una tasa de descuento social de 10 por ciento los beneficios netos de continuar con la vacunación son algo menos de la mitad del valor correspondiente a erradicación, siempre y cuando se logre exportar carne fresca y/o congelada al mercado "sin FA". De otro modo la opción de erradicación es menos preferible que vacunación con 90 por ciento de cobertura.

CUADRO 6

VALOR PRESENTE NETO DE LOS BENEFICIOS SOCIALES DE CONTINUAR CON VACUNACION Y DE ERRADICAR LA ENFERMEDAD *

	<i>Tasa de descuento social (%)</i>		
	<i>5</i>	<i>10</i>	<i>15</i>
	<i>millones de pesos colombianos</i>		
Vacunación (90%)	6.252	3.126	2.084
Erradicación:			
— con entrada** al mercado sin FA	16.206	6.368	3.289
— sin entrada	6.316	2.241	966

* Los beneficios y costos son descontados hasta el año en que se inicia la segunda etapa de erradicación.
 ** Estos resultados se obtienen suponiendo elasticidad-precio de la oferta igual a cero.
 Fuente: Rubinstein (1977).

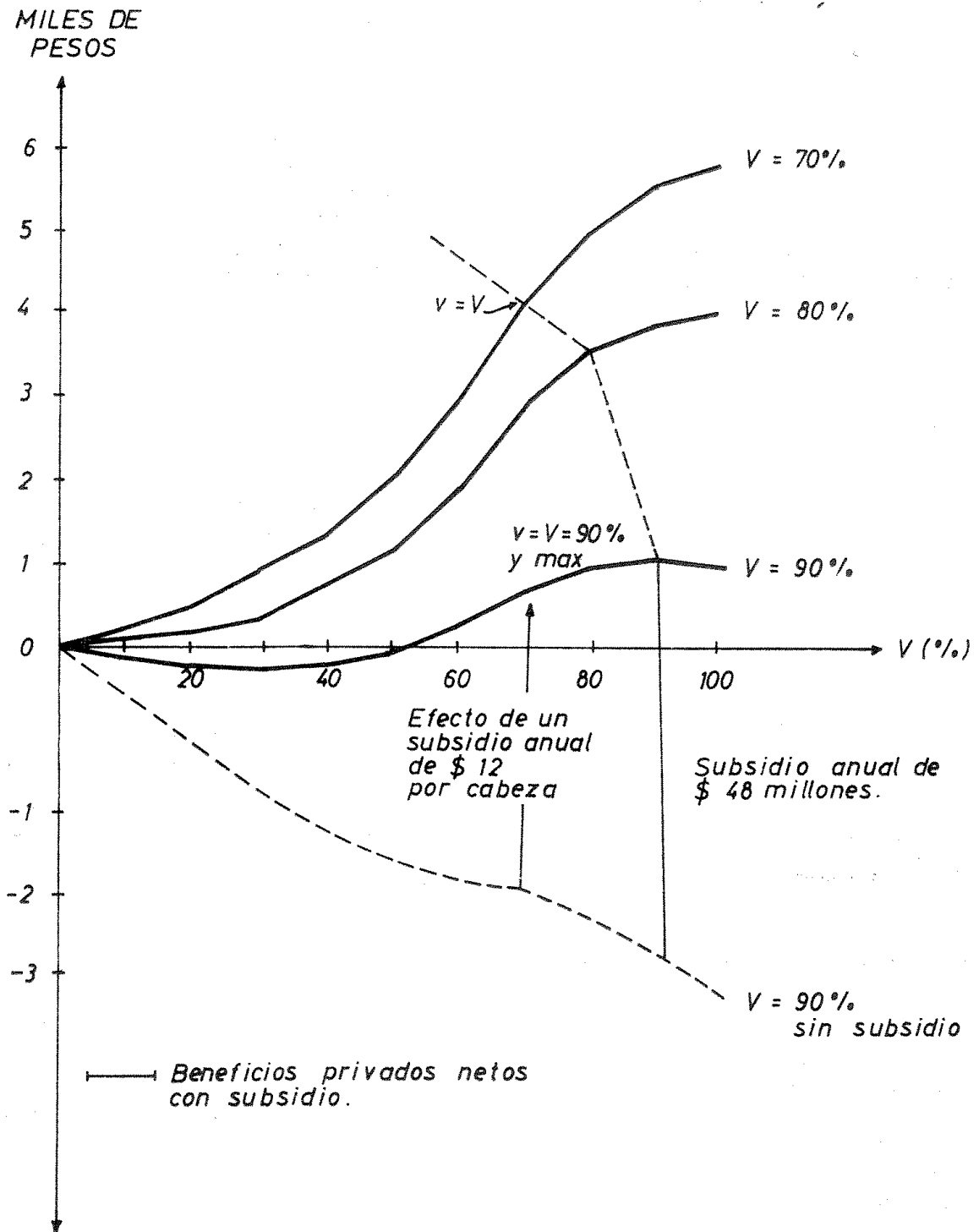
III. SUBSIDIO AL CONTROL DE FIEBRE AFTOSA

Se ha visto que el mecanismo de precios es ineficiente para la asignación de recursos al control de FA debido a la existencia de beneficios externos considerables que son captados por el mecanismo de mercado. En teoría existe una serie de políticas económicas que pueden proponerse para superar esta imperfección del mercado ¹¹, ya sea modificando las señales del mercado (por ejemplo, subsidios) o limitando la libre elección de los productores a través de la acción pública directa.

¹¹ Ver Davis y Kamier (1971).

GRÁFICO 6

BENEFICIOS PRIVADOS NETOS CON UN SUBSIDIO CONSTANTE POR ANIMAL VACUNADO



Fuente: Rubinstein (1977), cuadro H.43.

CUADRO 7
 BENEFICIOS PRIVADOS NETOS ANUALES DE VACUNACION CON UN
 SUBSIDIO DE \$ 12 POR CABEZA VACUNADA. UN PREDIO TIPICO
 (miles de pesos colombianos, precios de 1975)

Nivel de vacunación en el predio (%)	Nivel de vacunación en la región (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1.9	2.9	2.4	2.1	1.9	1.4	1.1	0.1	0	-0.14	-0.09
20	5.5	5.9	5.0	4.5	3.7	3.2	2.4	0.5	0.1	-0.22	-0.35
30	8.6	8.6	7.6	6.7	6.1	4.7	3.8	0.9	0.4	-0.27	-0.78
40	12.4	11.9	10.6	9.4	8.6	6.8	5.4	1.4	0.7	-0.22	-0.78
50	16.7	15.8	14.0	12.6	11.4	9.2	7.4	2.0	1.2	-0.07	-0.83
60	21.8	20.3	18.1	16.3	14.8	12.1	9.8	3.0	1.8	0.21	-0.79
70	28.0	25.8	23.2	20.9	19.1	15.7	12.8	4.2	2.9	0.73	-0.56
80	32.3	29.5	26.8	24.2	22.1	18.3	15.0	5.1	3.6	1.00	-0.46
90	34.6	31.9	28.8	26.2	23.9	19.9	16.3	5.6	3.9	1.03	-0.59
100	35.8	32.9	29.8	27.1	24.8	20.7	17.0	5.8	4.1	0.97	-0.78

Fuente: Rubinstein (1977), cuadros 3.4 y H. 43.

La implementación de un subsidio específico constante por cabeza vacunada equivale a reducir el costo unitario de vacunación y, por lo tanto, aumenta los beneficios privados netos. En el ejemplo anterior se estimó que un subsidio anual de \$ 12 por cabeza vacunada permitiría elevar el nivel de vacunación desde 70 por ciento (óptimo privado) hasta 90 por ciento (óptimo social), como puede deducirse del cuadro 7. El gráfico 6 muestra el efecto del subsidio sobre las curvas de beneficios privados netos.

El valor total de subsidio anual sería de \$ 47.6 millones, si se desea mantener un nivel de vacunación de 90 por ciento. Si la meta es lograr la erradicación de la enfermedad, el costo total de la segunda etapa de dicho programa debe ser subsidiado, de otro modo esta estrategia no sería implementada por los productores. Ello implica un subsidio adicional de \$ 1,239 millones en el primer año de matanza, y otros \$Col. 674 millones en el segundo año. De allí en adelante el Gobierno debe invertir anualmente \$Col. 7 millones en vigilancia epidemiológica a fin de prevenir la reintroducción del virus en la región. Los fondos exigidos para sufragar el costo total del subsidio podrían ser obtenidos mediante un préstamo de una entidad financiera internacional tal como BID o Banco Mundial para, posteriormente, imponer un impuesto a la venta de carne de vacuno con el fin de cancelar la deuda. Puede probarse que toda la sociedad logra un nivel de bienestar superior a la situación inicial, si bien pueden esperarse efectos redistributivos de ingreso, por ejemplo, de consumidores a productores y/o exportadores, en el caso de erradicación con entrada al mercado "sin FA". En cambio, en un país importador de carne, los beneficios serán percibidos por los productores y se logrará un ahorro de divisas con la disminución resultante en las importaciones. Es posible que en ambos casos parte de las ganancias sean captadas por los dueños de la tierra si, por ejemplo, se capitalizan las ganancias esperadas en el precio de la tierra dedicada a ganadería.

REFERENCIAS

- Aycardi, E. R. y G. A. Morales, "Un Modelo Epidemiológico para Fiebre Aftosa Endémica en Areas Tropicales", *Revista ACOVEZ*, vol. 1, N° 2, pp. 6-9 (1977).
- Becker, G. S., *Economic Theory*, New York: Alfred A. Knopf (1971).
- Brooksby, J. B., "Foot-and-Mouth Disease. A World Problem", *Nature*, vol. 213, enero 14 pp. 120-122 (1967).
- Davis, O. y M. Kamien, "Externalities, Information and Alternative Collective Action", en Haveman y Margolis, ed., *Public Expenditures and Policy Analysis*, Mackham Publishing Co., Chicago (1971).
- Henderson, J. y R. Quandt, *Microeconomic Theory. A Mathematical Approach*, Second Edition, New York: McGraw-Hill Book Co. (1971).
- Power, A. y S. Harris, "A Cost-benefit Evaluation of Alternative Control Policies for Foot-and-Mouth Disease in Great Britain", *Journal of Agricultural Economics*, XXIV, N° 3, septiembre pp. 573-597 (1973).
- Rosenberg, F., *El Conocimiento de la Epidemiología de la Fiebre Aftosa con Particular Referencia a Sudamérica*, Centro Panamericano de Fiebre Aftosa, Río de Janeiro, Brasil (1976).

Rubinstein, E. M. de, "The Economics of Foot-and-Mouth Disease Control and its Associated Externalities", disertación Ph. D. inédita, Departamento de Economía, Universidad de Minnesota (1977).

Scheffler, R. y J. Lipscomb, "The Consumption and Investment Benefits of Disease Programs", *Growth and Change*, V. N° 3, julio, pp. 8-16 (1974).