

**La economía de la fiebre aftosa:
análisis de sus externalidades
y estrategias de control en
la Costa Norte de Colombia***

Eugenia Muchnik de Rubinstein

43971

**Centro de Documentación para la Agricultura Latinoamericana (CEDEAL)
Centro Internacional de Agricultura Tropical**

* Versión abreviada de la disertación doctoral: "The economics of foot-and-mouth disease control and its associated externalities". (Rubinstein, 1977).

AGRADECIMIENTOS

La autora quiere expresar su gratitud a la profesora, Dra. Anne Krueger, asesora de tesis de la Universidad de Minnesota, así como también a los doctores Alberto Valdés y Gustavo Nores quienes dieron su apoyo mediante sugerencias y críticas a lo largo de todo el trabajo. Igualmente, se agradece a la Fundación Ford por la financiación de parte del trabajo y de la totalidad de esta publicación, y al Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) por la ayuda financiera restante. Finalmente, se quiere expresar reconocimiento a los doctores Martín Abel y Jean C. Koeune de la Universidad de Minnesota por su colaboración, y al siguiente personal del CIAT: Dr. Eduardo Aycardi, M. Cristina Amézquita, Adolfo Gordillo, y a los doctores Eric Wells y Grant. M. Scobie.

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCION	7
La enfermedad y su control	7
Incidencia geográfica de la enfermedad	8
Economía de la fiebre aftosa	9
Objetivos del estudio	11
EL MODELO	13
General	13
El sub-modelo epidemiológico	14
El sub-modelo de la finca	17
Análisis económico de vacunación	21
Análisis económico de erradicación	27
EVALUACION ECONOMICA DEL CONTROL DE FIEBRE AFTOSA	31
Análisis de los retornos privados a estrategias de vacunación	31
Evaluación social de vacunación	36
Evaluación social de erradicación	37
Erradicación <i>versus</i> vacunación	41
DISCUSION Y CONCLUSIONES	41
Requerimiento de datos y análisis de sensibilidad	41
Políticas públicas alternativas en el control de fiebre aftosa	43
Implicaciones dinámicas del modelo	46
Conclusiones	48
APENDICE	51
REFERENCIAS CITADAS	53

INTRODUCCION

La enfermedad y su control

La fiebre aftosa (FA) es una de las enfermedades ganaderas más universales y difíciles de erradicar. Es una infección viral que afecta primordialmente a la población bovina, porcina y ovina. La enfermedad la producen siete tipos principales de virus y un gran número de subtipos que tienen diferencias bien definidas entre sí, de modo que los animales resistentes a un cierto tipo (y a un subtipo) de virus pueden no serlo a los demás tipos.

El contagio de la enfermedad puede ocurrir por contacto directo con animales infectados, o indirectamente a través de materiales contaminados. El virus puede sobrevivir por varios meses en los huesos y vísceras de animales sacrificados si se mantienen éstos a temperatura baja y aún más si están congelados. Si bien en áreas endémicas no produce gran mortalidad, causa una reducción permanente en la productividad animal, en la forma de menores ganancias de peso, aborto y reducción en la producción de leche.

Los métodos de control aplicados en zonas endémicas son: 1) ausencia virtual de control, como es el caso de algunos países asiáticos y africanos; 2) vacunación restringida de los animales más valiosos, o en zonas fronterizas accesibles; y 3) campañas preventivas de vacunación en gran escala acompañadas de cuarentena, con o sin matanza de animales infectados. En zonas no endémicas o con brotes esporádicos de aftosa, se aplican medidas de prevención destinadas a impedir la entrada de la enfermedad a áreas libres, y matanza para erradicar la enfermedad si ésta llega a entrar.

En relación con la vacunación contra aftosa, las vacunas disponibles no son un método infalible de control, ya que la inmunidad que producen es limitada tanto en grado como en duración en el tiempo: en el mejor de los casos no protegen más del 85 a 90 por ciento de los vacunados y la resistencia inducida desaparece rápidamente después de 4 a 6 meses. Además, para ser efectiva, la vacuna debe contener virus del mismo tipo y subtipo que está presente en el campo.

En cuanto al método de matanza, su objetivo es el de erradicar la enfermedad. Este método consiste en cuarentenas a las fincas infectadas, y sacrificio (enterrando o quemando los restos) de todos los animales infectados y expuestos, y desinfección de la finca. Se utiliza en áreas donde la enfermedad se presenta esporádicamente, pero no se ha aplicado en áreas endémicas por ser antieconómico. En estas últimas, la erradicación se podría lograr en dos etapas: primero, un vigoroso plan de vacunación por varios años hasta que la incidencia de la enfermedad se reduzca a un nivel en el que pueda aplicarse en forma económica, en una segunda etapa, el método de matanza.

Incidencia geográfica de la enfermedad

La incidencia de fiebre aftosa varía de acuerdo con su distribución geográfica. Actualmente, Norte y Centro América (desde Panamá al norte), Australia, Nueva Zelanda, Islandia, Japón y la República de Irlanda están libres de la enfermedad. En otros países la aftosa se presenta esporádicamente, como en Gran Bretaña, Noruega, Suecia y Finlandia, donde el virus es introducido desde afuera. Por último, la enfermedad es endémica o está presente permanentemente en Asia Central y Sur, Sur de Europa, África y Sur América, donde ocurren epidemias cada cierto número de años.

Tanto Canadá y México como Estados Unidos prohíben estrictamente la importación de animales vivos susceptibles y de carne fresca, refrigerada o congelada, de países con aftosa. En Europa, donde la enfermedad aún existe, el número de brotes se ha reducido sustancialmente en los últimos años y las medidas de control existentes relacionadas con la importación de carne desde países endémicos van desde la prohibición total de importaciones hasta reglamentaciones nominales pero de hecho inefectivas.

Así, los requisitos sanitarios relativos a fiebre aftosa han pasado a ser una de las principales barreras no tarifarias en el comercio internacional de la carne; es posible incluso, hablar de la existencia de dos mercados: uno sin y el otro con aftosa. En el mercado "sin aftosa", los Estados Unidos, Canadá y Japón son los principales importadores, y Australia el mayor exportador, seguido por Nueva Zelanda, México y Centro América, Canadá y la República de Irlanda. En el mercado "con aftosa" el principal grupo importador es la Gran Bretaña y la Comunidad Económica Europea, en tanto que los principales exportadores son Argentina, Uruguay, Paraguay, Brasil y Australia. Los dos mercados están interconectados, al menos en dos formas: 1) Australia (con el 25% del total de las exportaciones mundiales) compite en ambos mercados, y 2) algunos de los exportadores en el mercado "con fiebre aftosa" también exportan carne al mercado "sin fiebre aftosa", pero sólo como carne cocida (congelada o enlatada). Por lo tanto, fluctuaciones de precios en uno de los mercados afectan al otro, pero de una manera limitada, ya que las carnes cocidas no son substitutos perfectos de la carne de mesa refrigerada. En consecuencia, el precio de exportación de un tipo similar de producto puede no ser el mismo en ambos mercados: en general, el precio ha sido más alto en el mercado "sin aftosa" (ver Cuadro 1). De este

Cuadro 1. Precios internacionales de carne de vaca sin huesos de tipo manufactura: 1960-1975.

Año	Precio recibido por:		
	Australia*		Argentina**
	C.I.F.	F.O.B.	F.O.B.
		US\$/ton	
1960	816		434
1961		816	430
1962	771		378
1963	816		360
1964	839		607
1965	860		824
1966	970		736
1967	1.036		613
1967	1.080		546
1969	1.213		485
1970	1.301		577
1971	1.346	1.115	862
1972	1.484	1.175	1.084
1973	2.029	1.717	1.508
1974	1.587	1.494	1.336
1975	1.412***	1.002	1.020

* Precio pagado por EE.UU.

** Precio promedio recibido por Argentina de todos los países importadores.

*** Estimado.

Fuentes: Síntesis Estadística de Junta Nacional de Carnes de Argentina (varios números)
 Yellow Sheet, precios de Chicago, EE.UU.
 USDA: Foreign Agricultural Trade of the U.S. Washington (varios números).

modo, la erradicación de la enfermedad en países endémicos exportadores no solo significaría una mayor producción de carne y leche sino que también les daría acceso a un mejor precio de exportación.

Economía de la fiebre aftosa

Revisión de la literatura

Hasta fines de la década de los sesenta los intentos de evaluación económica de enfermedades de los animales tuvieron como característica común el ignorar los costos de control de la enfermedad (tanto privados como sociales) y medir los beneficios de control sólo desde el punto de vista privado. Además, los factores tiempo y descuento

fueron ignorados. En unos pocos casos en los que los costos de control se incluyeron en el análisis, sólo se comparó el nivel actual de control con la alternativa de no controlar la enfermedad*.

En los últimos seis años, las técnicas de análisis costo/beneficio han entrado finalmente en el campo de la salud animal y han sido utilizadas en unas pocas evaluaciones retrospectivas de métodos alternativos de control de enfermedades de los animales. Ellis (1972) efectuó una evaluación del programa de erradicación de la fiebre porcina, que se desarrolló en Gran Bretaña entre 1963-66; Power y Harris (1973) compararon en forma *ex-post* la estrategia de matanza utilizada en 1967 en Gran Bretaña para erradicar fiebre aftosa con la alternativa de vacunar el 100 por ciento de la población susceptible. En estos dos casos se compararon dos situaciones: el programa de erradicación (que de hecho se llevó a cabo), con una estrategia alternativa (la de cero control en el primer caso y 100 por ciento de vacunación en el segundo). Johnston y Mason (1973) de Australia, y Hugh Jones, Ellis y Felton (1975) de Gran Bretaña también emplean en sus trabajos el análisis costo/beneficio para la evaluación *ex-ante* de los programas de erradicación de garrapatas y brucelosis respectivamente, comparando dichas estrategias (que de hecho se estaban implementando en estos países) con una estrategia alternativa.

En el campo específico del análisis económico de la fiebre aftosa, además del ya citado estudio de Power y Harris para Gran Bretaña, es posible encontrar algunos otros trabajos tales como los de Meyer Arévalo (1962), Villegas (1969), Salcés (1967), Freire de Faria (1970) y Minnet (1972), que en general, intentan hacer un cálculo bruto de las pérdidas anuales por fiebre aftosa observadas en sus países, ya sea en el caso endémico y/o bajo campañas de vacunación. El estudio preliminar de Peterson (1968) va un paso más allá, y estima una tasa privada de retorno promedio a la vacunación contra fiebre aftosa para Sur América, suponiendo 100 por ciento de vacunación y una tasa constante de ataque de la enfermedad. Como se verá posteriormente, las implicaciones de este supuesto son cruciales en la determinación de una estrategia óptima de control desde el punto de vista económico.

En resumen, los intentos previos de evaluación económica de enfermedades de animales se han limitado ya sea a estimar los beneficios brutos de control o erradicación, comparando *ex-post* dos alternativas de control, o a estimar los beneficios netos de una sola alternativa de control bajo supuestos muy restrictivos y sólo desde el punto de vista privado. En todos los casos en los que se evalúa la estrategia de vacunación, únicamente se considera la alternativa de 100 por ciento de cobertura, y no se analiza la vacunación como una variable continua, en la que cada porcentaje de cobertura es de hecho una estrategia diferente. En cuanto a erradicación de fiebre aftosa, ésta no ha sido hasta ahora considerada como una alternativa para zonas endémicas y evaluada como tal, sino que explícita o implícitamente se ha supuesto que la erradicación es necesariamente la meta final de cualquier esfuerzo de control. En general, ningún estudio en economía de salud animal ha intentado determinar cuál es la

* Véase, por ejemplo: Beveridge (1960), Cumming (1964), Becklund (1962), McGordon (1967), Morrow (1966).

la estrategia óptima de control, ni ha introducido explícitamente en el análisis la discrepancia que posiblemente exista entre los beneficios (y costos) sociales y privados de control.

Selección del área de estudio

El departamento de Córdoba, ubicado en la costa norte de Colombia, fue seleccionado como área de estudio debido a su importancia ganadera y porque corresponde a la frontera entre los países endémicos de Sur América y las áreas libres de Centro y Norte América. Ambos hechos explican la existencia, desde 1972, de campañas de vacunación preventiva en la zona. Tanto su importancia ganadera como su ubicación como zona estratégica en relación con la fiebre aftosa, justifican la evaluación económica de distintas alternativas de control de la enfermedad a efectos de adoptar aquella que resulte óptima.

Información disponible

En la costa norte de Colombia al igual que en el resto de Sur América, se observa una falta de información básica y confiable acerca de la epidemiología (morbilidad y mortalidad) y de los efectos físicos de la enfermedad. También es posible apreciar una gran subnotificación del verdadero número de brotes de la enfermedad, lo cual se podría explicar tanto por el temor a las medidas de cuarentena que rigen de acuerdo con la legislación vigente, como por entregar información que pudiera ser utilizada con fines fiscales. Además, la medición en el campo de pérdidas de producción de carne y leche por la enfermedad es sumamente complicada. En la mayoría de los casos, los productores no pesan sus animales, ni llevan registros de nacimientos u otro tipo de registros; la producción de leche en muchos casos tampoco se mide, especialmente si se destina parcial o totalmente al consumo en la misma finca.

En resumen, no hay información suficiente (en cantidad y calidad) sobre la enfermedad y su impacto en el área de estudio. Tampoco puede extrapolarse directamente de la información obtenida en otras regiones, especialmente de áreas donde la enfermedad no es endémica, ya que su efecto no es el mismo. Bajo estas circunstancias, mediante un modelo de simulación, es posible evaluar qué tipo de información epidemiológica o económica requiere mayor precisión, a fin de permitir una evaluación económica de las distintas alternativas de control. Ello se pretende ilustrar en el presente estudio.

Objetivos del estudio

El objetivo central de este trabajo es evaluar desde un punto de vista económico distintas alternativas de control de fiebre aftosa para la zona seleccionada incorporando explícitamente, en el análisis, los beneficios externos que resultan de su control. Las alternativas de control consideradas son vacunación y erradicación. La vacunación es considerada una variable continua; es decir, cada estrategia consiste en una proporción diferente de animales vacunados. La erradicación, por otra parte, es

una variable discreta (todo o nada), definida como una secuencia de varios años de vacunación seguidos por una actividad de matanza, la cual puede o no, estar combinada con vacunación.

La metodología presentada en este estudio ha sido desarrollada con el fin de estimar las estrategias óptimas de control para la región tanto desde el punto de vista privado como social. El control de fiebre aftosa es un ejemplo clásico del fracaso del mecanismo de mercado debido a la presencia de externalidades en la producción. El beneficio externo que surge del control de dicha enfermedad por parte de una finca es percibido por las demás fincas de la región en la forma de una reducción en su probabilidad de contagio. Estas externalidades también se presentan entre productores de distintas regiones y aún entre países, particularmente si no hay barreras geográficas entre ellos, así como entre países que comercian en animales vivos o en carne fresca y congelada. En este último caso, la externalidad toma la forma de una reducción en la probabilidad de introducir la enfermedad en el país importador como consecuencia del control de fiebre aftosa en el país exportador. Aún en el caso de una región "cerrada", es posible justificar desde el punto de vista económico algún tipo de acción colectiva en el control de fiebre aftosa si el nivel óptimo de control "privado" difiere del óptimo "social", lo cual cabría esperar en la presencia de beneficios externos.

La existencia de externalidades en el control de enfermedades ya ha sido señalada anteriormente; por ejemplo: Morris (1975) y Johnston (1975) en salud animal, y Weisbrod (1971) en salud humana. Sin embargo, en ningún trabajo anterior se ha modelado o estimado dichas externalidades, lo cual permitiría mejorar nuestra comprensión acerca del comportamiento dinámico de los productores en el control de enfermedades en un sistema de decisiones descentralizadas. Precisamente, uno de los objetivos primordiales de este trabajo es analizar los efectos externos en la producción de carne que resultan del control de fiebre aftosa. Se utiliza un marco analítico tradicional de análisis parcial, similar al sugerido por Becker (1971).

Los objetivos específicos del estudio son: a) desarrollar un modelo epidemiológico matemático de fiebre aftosa para situaciones endémicas que permita simular la incidencia de la enfermedad bajo diferentes estrategias de control tanto en la finca como en la región; b) desarrollar un modelo de simulación de la finca ganadera que permita medir las pérdidas económicas por fiebre aftosa a distintos niveles de incidencia; c) evaluar las estrategias óptimas de control para la región tanto privada como socialmente; y finalmente, d) analizar mecanismos alternativos de política económica, diseñados para reducir la distorsión en la asignación de recursos en el control de fiebre aftosa.

EL MODELO

General

El análisis económico de la enfermedad y su control se basa en la estimación del flujo de pérdidas económicas esperado bajo cada estrategia de control. En una primera etapa, el uso de un modelo epidemiológico de la enfermedad permite estimar el número de enfermos y de muertes por unidad de tiempo bajo cada nivel de intensidad de vacunación. Con este fin, se desarrolló un modelo semi-Markov que simula el comportamiento estático de la fiebre aftosa (incidencia y mortalidad) en el largo plazo, primero bajo el supuesto de no interferencia con la enfermedad y luego bajo diferentes niveles de vacunación. Posteriormente, la incidencia de la enfermedad es traducida a pérdidas anuales tanto físicas como económicas para cada finca y luego para la región. Para ello se formulan dos modelos de simulación de fincas ganaderas: uno para operaciones de cría y otro para levante y/o ceba.

Las tres categorías de pérdidas consideradas son:

- 1) pérdida en la producción como resultado de "morbilidad"
- 2) pérdidas por "mortalidad" prematura,
- 3) uso de recursos adicionales para el tratamiento y rehabilitación de los enfermos*.

Una vez obtenido el flujo de pérdidas causadas por la enfermedad bajo cada nivel de control es posible estimar los beneficios brutos correspondientes. Estos corresponden a la reducción en las pérdidas anteriormente enumeradas que se logra en cada caso, con respecto a una situación sin control. A su vez, el costo de control para cada estrategia es función del nivel de cobertura de la vacunación y de su costo unitario (que incluye el costo de producción, distribución y aplicación de la vacuna).

* Esta misma clasificación fue usada por Weisbrod para un estudio de poliomiелitis (1971).

En el caso de erradicación, existen beneficios adicionales provenientes del acceso a mercados externos "sin fiebre aftosa". Por su parte, el costo de esta estrategia incluye además el valor de los animales sacrificados y los gastos de vigilancia epidemiológica necesarios para mantener un área libre de la enfermedad.

Con el fin de estimar los beneficios de vacunación se supuso que la región comprende fincas idénticas y que es una región "cerrada", en el sentido de que no hay comercio de animales vivos entre regiones (y por lo tanto no existen beneficios externos entre las fincas de esta región y las de otras áreas). Los beneficios privados se obtienen simulando la epidemiología de la enfermedad y las pérdidas correspondientes cuando cada finca no toma en cuenta el efecto de su actividad sobre las demás fincas de la región. En cambio, la derivación de los beneficios sociales se efectúa bajo el supuesto de que la región es una sola finca consolidada, que por lo tanto internaliza los beneficios que son externos a cada finca individual.

A continuación se describen los componentes individuales del modelo general y su integración para la medición de las externalidades*.

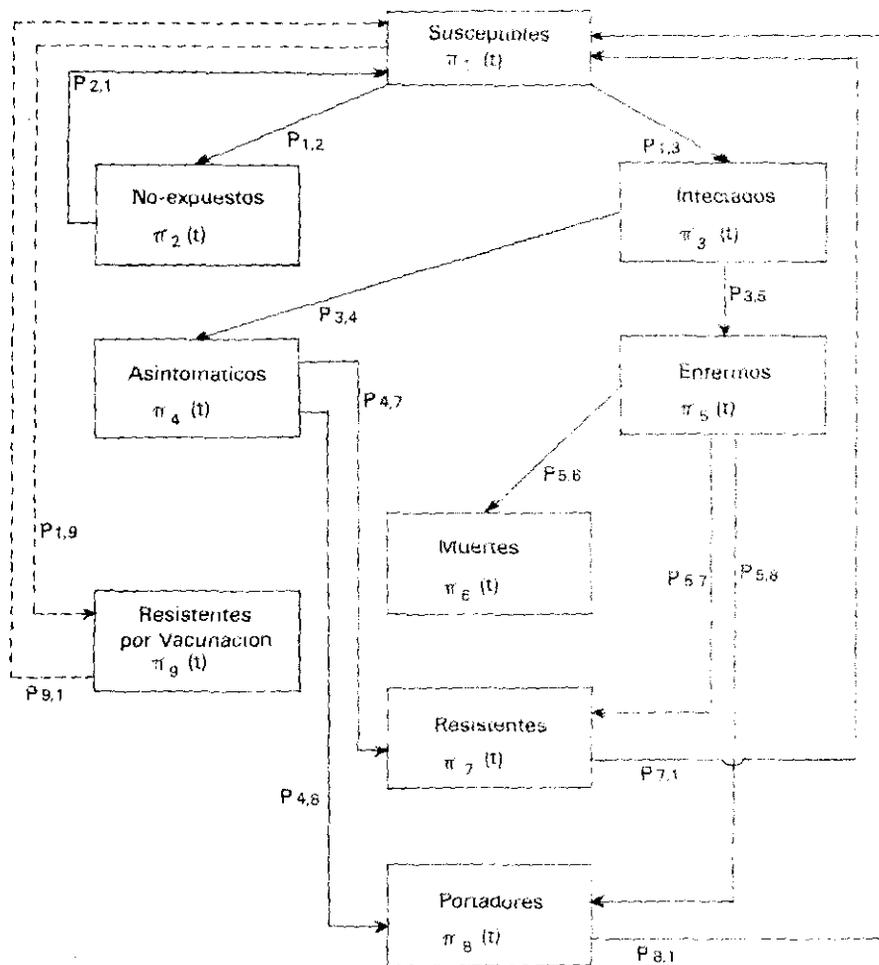
El sub-modelo epidemiológico

Aycardi y Morales (1975) han desarrollado un modelo descriptivo de la fiebre aftosa que señala las propiedades epidemiológicas de la enfermedad en áreas endémicas. En él se describe el comportamiento de la aftosa a través del tiempo en términos de flujos de animales que se mueven de una etapa a otra del proceso epidemiológico. El tamaño de estos flujos es función de las condiciones ecológicas (por ejemplo, densidad ganadera, disponibilidad y tipo de caminos, clima y topografía), de las condiciones del huésped (tales como edad y raza), y del tipo y poder infectivo del virus. Esta descripción de la enfermedad permite igualmente clasificar los animales de cada finca en un momento dado en el tiempo, en distintas categorías epidemiológicas que corresponden a las diferentes etapas de la enfermedad.

En este estudio, el modelo epidemiológico ha sido transformado en un modelo matemático que permite su utilización con fines de análisis económico.

El modelo distingue nueve categorías epidemiológicas no necesariamente excluyentes entre sí, ilustradas en la Figura 1 mediante casillas. Las flechas entre categorías indican la dirección en la que se pueden mover los animales a través del tiempo en una finca o región donde la enfermedad es endémica. Así, en una situación endémica pura sin control, una cierta proporción de los susceptibles se exponen al virus por unidad de tiempo; como resultado, una cierta proporción de ellos enferma en tanto que el resto, si bien también se infectan, pueden no presentar la enfermedad en forma clínica. De los que enferman, algunos mueren, otros se recuperan y quedan resistentes a nuevas infecciones con el mismo virus, y los restantes quedan como portadores (pero también resistentes a nuevas infecciones del mismo virus) por algún

* Para una presentación más detallada de cada modelo, véase Rubinstein (1977), Apéndices C y D.



----- Sólo con vacunación.

Figura 1. Flujos del modelo epidemiológico de nebre atosa para áreas endémicas.

tiempo. Igualmente, los infectados subclínicamente adquieren resistencia por un cierto tiempo y algunos también pueden pasar a ser portadores. Eventualmente, tanto los resistentes como los portadores vuelven al estado de susceptibles.

Mediante la vacunación preventiva, una cierta proporción de los susceptibles adquiere directamente resistencia al virus. El tamaño de este grupo es función de la cobertura alcanzada por la vacunación y del nivel de inmunidad conferido por la vacuna o calidad de la misma. Además, la duración de la resistencia inducida por la vacuna es más corta que la que se logra por exposición reciente al virus. Por ello, los animales que se encuentran resistentes por causa de vacunación han sido agrupados en una categoría separada de aquellos que adquieren resistencia por exposición reciente al

virus. Los animales que permanecen susceptibles y que se exponen al virus tienen una menor probabilidad de enfermarse o desarrollan menos lesiones que aquellos que no han sido vacunados. Por lo tanto, la vacunación no sólo implica una categoría y flujos nuevos (aquellos de línea punteada en la Figura 1) sino que también afecta el tamaño de todos los demás flujos en función del nivel de intensidad de vacunación.

Sea $\pi_i(t)$ la proporción del hato que está en la categoría (o estado) i en el momento t , y $\pi(t)$ el vector correspondiente. Dado que las proporciones de animales que se mueven entre categorías no son determinísticas, que las transiciones tienen lugar en intervalos de tiempo conocidos, y que la enfermedad se desarrolla en etapas que son verificables empíricamente, se escogió un modelo estocástico de semi-Markov como el más apropiado para la obtención de tasas de incidencia y mortalidad de la enfermedad en el largo plazo*.

Los elementos básicos del modelo son dos:

1. una matriz cuadrada estocástica, P , definida por el conjunto de probabilidades condicionales de transición (p_{ij}), que denotan las probabilidades de que un animal se mueva de la categoría i en el tiempo t a la categoría j en el tiempo $(t+1)$ [y que aparecen señaladas en la Figura 1 al costado de los flujos correspondientes]; y
2. una matriz diagonal estocástica, M , definida por el conjunto de tiempos promedios "de espera" en cada estado, $\bar{\tau}_i$. Por ejemplo, $\bar{\tau}_5$ es la duración media de la enfermedad clínica, en tanto que $\bar{\tau}_9$ es la duración media de la resistencia inducida por la vacuna. La unidad de tiempo utilizada en el modelo es de una semana, de modo que cada elemento en M está expresado en número de semanas.

La incidencia anual de largo plazo se obtiene mediante el modelo de semi-Markov en base a las ecuaciones [1] a [5].

$$\pi^* = \pi^* P \quad [1]$$

$$\Phi = \frac{1}{\bar{\tau}} M \quad [2]$$

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

$$e_5 = \Phi_5 \frac{1}{\bar{\tau}_5} \quad [4]$$

$$V = 1 - (1 - e_5)^{52} \quad [5]$$

* Las características y propiedades del modelo son descritas con más detalle en Rubinstein (1977).

donde:

π^* = es el vector que representa la distribución porcentual del hato entre las nueve categorías en el largo plazo en un proceso markoviano;

Φ = es el vector que muestra las probabilidades de distribución entre las categorías semanales en el largo plazo, en un proceso de semi-Markov, teniendo en cuenta la distinta duración del proceso en cada estado;

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

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

e_5 = es la probabilidad semanal de entrar a la categoría "enfermos" ($i=5$), en el largo plazo, o incidencia semanal;

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

Dado que el conocimiento actual acerca de las distribuciones de las probabilidades incluidas en el modelo es muy limitado, sólo se consideraron los valores promedios de cada probabilidad, con lo cual P y M pasan a ser matrices determinísticas. Si bien esta restricción impide simular el comportamiento dinámico de la enfermedad, al menos permite simular su comportamiento estático de largo plazo. Cada estrategia alternativa de vacunación (tanto en la finca como en la región) y el caso endémico puro (sin control) son representados en este modelo por un par de matrices P y M , con las que se obtiene las tasas de morbilidad (en este caso incidencia) y de mortalidad de largo plazo para cada alternativa de control.

El sub-modelo de la finca

El objetivo de esta parte del modelo es simular las pérdidas económicas en la finca para cada estrategia de control utilizada tanto en la finca como en la región. Las pérdidas se miden como la diferencia entre el flujo de ingreso de la finca sin y con la enfermedad.

Se supone que inicialmente la finca posee un hato cuyo tamaño y composición están estabilizados y no hay brotes de aftosa. Los parámetros de producción representan la tecnología presente en la región. En consecuencia, se considera un ingreso anual neto constante sin aftosa, en un nivel que depende de la productividad ganadera promedio de la región, y de los costos y precios.

Con el fin de obtener el flujo de ingreso neto "con aftosa" a través del tiempo, se introducen los valores de incidencia y mortalidad (estimados con el submodelo epidemiológico) según la estrategia de control utilizada por la finca misma y por la región, variando consecuentemente los parámetros de producción. El modelo también toma en cuenta los cambios en el tamaño y composición del hato, y en las compras y

ventas de la finca, tanto en el año del brote como en periodos futuros, hasta que todos los parámetros retornen a sus niveles previos. Dado que los costos unitarios y precios de los animales sanos se consideran constantes*, el equilibrio post-brote es el mismo que el pre-brote.

Con fines analíticos, se desarrollaron dos modelos separados de simulación de fincas, uno para operaciones de cría y otro para fincas de levante y ceba. Esta distinción obedece al impacto diferenciado de la aftosa por proceso productivo.

En la Figura 2 se ilustra en forma simplificada los flujos y categorías considerados en el **modelo de cría**. El hato de cría produce: a) carne, en la forma de terneros y de vacas de desecho; b) leche, durante cada lactancia; y c) terneras, para el reemplazo de las vacas de desecho. La finca vende todos los terneros producidos así como el excedente de terneras, una vez que se han determinado las necesidades de reemplazo para el hato de cría del plantel. Se asume que los toros de reemplazo son comprados fuera de la finca.

* Si el brote de aftosa reduce significativamente la producción ganadera de una región, ello podría afectar los precios. Sin embargo, dado que se considera la carne como un bien de exportación, con una alta elasticidad de demanda externa, cualquier reducción dramática en la oferta de carne reduciría las exportaciones de la región en vez de subir el precio.

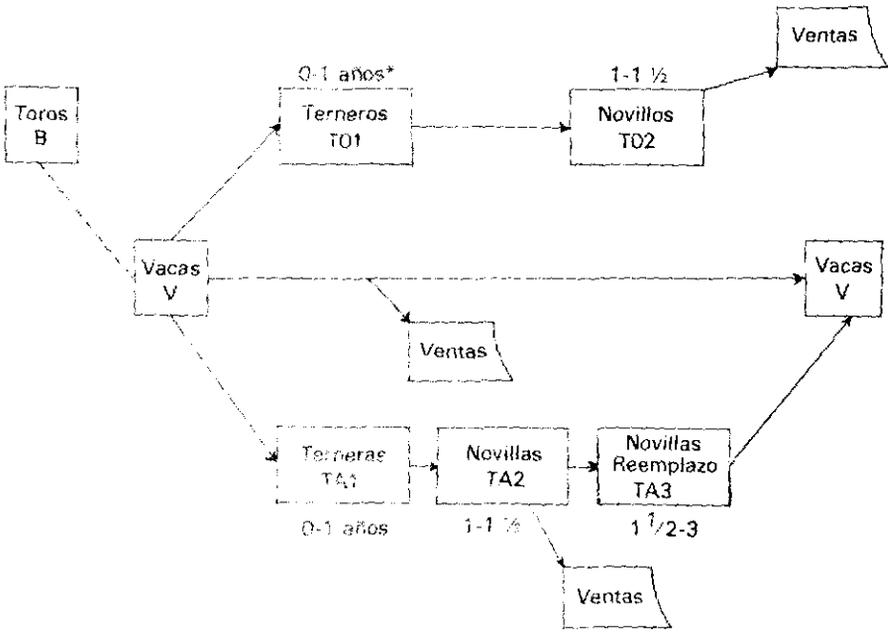


Figura 2. Composición y desarrollo de un hato de cría**.

** No se muestran flujos de muerte.

El componente demográfico del modelo, que proyecta el tamaño y composición del hato de la finca a través del tiempo, puede representarse algebraicamente como sigue:

$$V_{t+1} = \left[V_t (1-R) + TA3_t \right] (1-m) \quad [6]$$

$$TA1_{t+1} = 0,48 \hat{c} V_t (1-m1) \quad [7]$$

$$TO1_{t+1} = 0,52 \hat{c} V_t (1-m1) \quad [8]$$

$$TA2_{t+1} = TA1_t (1-m2) \quad [9]$$

$$TA3_{t+1} = K TA2_t (1-m2) \quad [10]$$

$$TO2_{t+1} = TO1_t (1-0,5 m2) \quad [11]$$

$$B_{t+1} = V_{t+1} / 20 \quad [12]$$

Las variables ubicadas en el lado izquierdo de cada ecuación fueron definidas en la Figura 2; los parámetros son definidos a continuación:

m = tasa anual de mortalidad de vacas;

\hat{c} = tasa media anual de natalidad;

$m1$ = tasa anual de mortalidad de terneros;

$m2$ = tasa anual de mortalidad de vaquillas y novillos;

0,48 = proporción de hembras al nacimiento;

0,52 = proporción de machos al nacimiento,

20 = proporción de vacas por toro.

Además del número de animales en cada categoría, son también variables endógenas, la proporción de novillas seleccionadas para reemplazo (K), y la tasa de desecho (R).

La actividad de cría implica tres tipos de decisiones: 1) el tamaño de la operación, es decir el tamaño del hato, 2) la edad de reemplazo del hato de cría, y 3) la edad de venta de terneros. En este modelo, se determinó la edad óptima para el reemplazo de vacas con un tamaño dado del hato de cría, y la edad de venta de terneros se predeterminó,

con el fin de probar la consistencia entre los coeficientes de producción disponibles. Una vez determinada la edad óptima de las vacas al reemplazo, hay un solo par de valores para la tasa de desecho (R) y para la proporción de novillas para futuro reemplazo (K) en estado estacionario de tal forma que el tamaño y composición del hato permanezcan estables. Dichos valores, \hat{R} y \hat{K} , son introducidos en las ecuaciones [6] y [10] respectivamente, junto con el número predeterminado de vacas de cría para obtener el valor de las restantes variables endógenas en una situación estable.

El ingreso bruto anual del hato estabilizado sin aftosa queda determinado con base en el número de animales que se venden anualmente y con la producción de leche, para un conjunto dado de precios. El ingreso neto se deriva deduciendo del ingreso bruto los costos variables.

La derivación del flujo de ingreso neto de fincas de cría a partir de un brote de aftosa toma como punto de partida el hato estable. El impacto de la enfermedad sobre el desarrollo del hato está relacionado directamente con los valores de morbilidad y mortalidad esperados (estimados con el modelo de semi-Markov). Los efectos de la enfermedad sobre el desarrollo del hato son tres: a) reduce el tamaño del hato por el aumento en mortalidad; b) reduce la natalidad por causa de abortos, mayor intervalo entre partos, e infertilidad; y c) aumenta la tasa de desecho por el daño permanente que puede infligir en algunas vacas y toros afectados. El desarrollo subsecuente del hato se simula básicamente con el mismo conjunto de ecuaciones [6] a [12] , separando la proyección del flujo de animales sanos de los enfermos y se proyecta hasta que todos los efectos directos o indirectos del brote hayan tenido lugar. La variable de control utilizada para retornar al hato estabilizado de pre-brote es la proporción de novillas retenidas por la finca para futuro reemplazo de vacas de cría (K). Dado que se supuso que no se compran novillas de otras fincas por el riesgo de reintroducir la enfermedad en la finca*, el número de vaquillas disponible está limitado por la tasa de natalidad existente en la finca. A menos que la morbilidad sea muy alta, y/o la disminución en natalidad muy marcada, el tamaño del hato de pre-brote puede ser recuperado después de un cierto número de años.

En cuanto al flujo de ingreso de la finca que se simula paralelamente con el desarrollo del hato "con aftosa", se consideraron los siguientes efectos de la enfermedad en el año del brote:

1. una menor producción de leche causada por la posible reducción en la producción diaria de leche y por la reducción en la duración de la lactancia en vacas enfermas;
2. menor precio de venta de terneros, novillas y vacas de desecho que han enfermado (por su menor peso y/o peores condiciones físicas);
3. mayores costos variables asociados con los enfermos, por el costo adicional en drogas, desinfectantes y gastos de manejo.

* Además, este supuesto es necesario ya que a nivel agregado la compra de reemplazos no es factible.

Actividades de levante y ceba

En estas fincas, el desarrollo del hato y el flujo de ingreso neto son estimados mensualmente con base en información acerca de: la edad y peso de los novillos flacos a la compra, curvas de ganancia de peso de acuerdo a la edad, tasa media de mortalidad, precios de compra y de venta de novillos y gastos mensuales por cabeza en stock. La edad y peso óptimos de venta de los novillos son determinados endógenamente, para una capacidad de carga dada, con el fin de comprobar la consistencia de los datos disponibles. Dada la edad de venta de los novillos, el modelo determina el número de novillos que se compran y venden mensualmente en estado estacionario, suponiendo que estas transacciones se efectúan continuamente durante el año*.

En la simulación del desarrollo del hato "con aftosa" se utilizan los datos de morbilidad y mortalidad por aftosa estimados a partir del modelo epidemiológico, y una curva de ganancia de peso promedio para los animales que enferman. El modelo calcula la nueva edad óptima de venta de los novillos enfermos ya que por la cuarentena impuesta a estas fincas, no es posible reemplazarlos inmediatamente por otros sanos. Luego se proyecta el desarrollo del hato con aftosa en el que se venden los animales que enfermaron durante el brote a una edad y peso y los sanos a otra, hasta que se vende el último animal afectado que quede en el hato.

La diferencia entre el flujo de ingreso neto con y sin aftosa es función de:

1. el aumento en mortalidad producido por aftosa;
2. la disminución en el peso a la venta de los animales enfermos;
3. la prolongación en el período de engorde de los enfermos;
4. los mayores gastos durante algunos meses, por concepto de drogas, desinfectantes y gastos en manejo de los enfermos.

Análisis económico de vacunación

A continuación se presenta la integración de los resultados a nivel de finca en un modelo general de externalidades entre fincas de una misma región, y luego el modelo específico utilizado en este trabajo. Se supone la existencia de n fincas idénticas.

Sea q_i , la producción de la finca i , una función del nivel de vacunación v en la finca y en cada una de las restantes fincas de la región (v_1, \dots, v_n), excluyendo para mayor simplicidad todos los demás insumos utilizados:

$$q_i = f(v_i; v_1, v_2, \dots, v_n) \text{ definiendo}$$
$$v = \sum_{i=1}^n v_i \quad [13]$$

* Este supuesto a nivel de finca permite generalizar los resultados a nivel regional.

El nivel de vacunación se interpreta en este estudio como el porcentaje promedio del hato vacunado tres veces por año. Aún cuando teóricamente la decisión de si se vacuna sea positiva o negativa, en la práctica hay varios motivos por los cuales el nivel de vacunación es una variable que oscila entre 0 y 100 por ciento. Entre otras, cabe destacar:

1. alargamiento del intervalo entre vacunaciones
2. adquisición de animales no vacunados
3. vacunación en un ciclo y en el otro no
4. vacunación de unos hatos de la finca y otros no, por problemas de manejo, o concepto errado de los productores que consideran innecesario vacunar a todos los animales de la finca.

La ecuación [13] puede ser reemplazada por:

$$q_i = f(v_i, V) \quad [14]$$

Óptimo privado

Cada finca usa aquel nivel de vacunación que maximice sus ganancias netas. Dados los niveles de vacunación de las restantes fincas, ello implica que se da la siguiente condición:

$$p_v = \text{VMP}_v = \frac{\partial [p q_i(v_i, V)]}{v_i} \quad [15]$$

donde:

p_v = costo de la vacunación por animal (por año);

VMP_v = valor del producto marginal privado de vacunación;

p = precio del producto;

v_i = nivel de vacunación en la finca i (porcentaje del hato vacunado cada 4 meses).

Al invertir la ecuación [15], se obtiene la demanda derivada por vacunación:

$$v_i = v_i(p_v, p, V) \quad [16]$$

Esta ecuación representa una familia de curvas de demanda individual, una para cada nivel de vacunación regional, V . La agregación para la región de cada una de estas

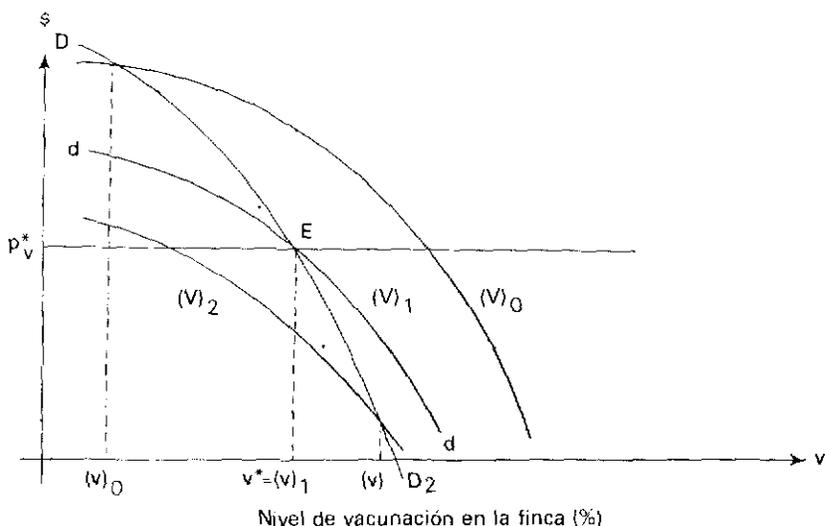


Figura 3. Demanda individual de vacuna antiaftosa.

curvas produce una familia de curvas como en la Figura 3. Por ejemplo, la curva dd es la suma horizontal de las curvas de demanda individual, cuando cada finca cree que el nivel regional de vacunación es $(V)_1$. Sin embargo, la consistencia entre fincas exige que $V = \sum_{i=1}^n v_i$ y en este caso también se da que $v_i = V$ dado el supuesto de fincas idénticas.

El lugar geométrico de todos los puntos "consistentes" es la curva DD en la misma gráfica, que representa la curva de demanda agregada "privada" por vacunación en presencia de externalidades. Si el costo unitario de vacunación es p_v^* , entonces el equilibrio competitivo tendrá lugar en E , donde:

$$p_v^* = \sum_{i=1}^n \text{VMP}_{i,v} \quad \text{y} \quad [17]$$

$$v = V$$

Por lo tanto, v^* en la Figura 3 es el nivel privado óptimo de vacunación de la región y de cada finca en particular.

Óptimo social

El valor del producto marginal "social" se obtiene bajo el supuesto de que todas las fincas de la región componen una sola empresa consolidada, que por lo tanto internaliza los beneficios externos entre fincas. El valor del producto marginal social de vacunación se obtiene al igual que en la ecuación [15], pero donde:

$$Q = f(V), \quad \text{y} \quad Q = \sum_{i=1}^n q_i$$

Si en la Figura 3 se representa la curva de demanda social por vacunación, ella estaría ubicada a la derecha de DD ya que al internalizarse los beneficios externos, $VMP_V > \sum_{j=1}^n VMP_V; \forall V=0, \dots, 100\%$. Al mismo costo unitario, p_V^* , el nivel óptimo de vacunación estaría también ubicado a la derecha de E.

En el análisis se consideran flujos a través del tiempo ya que la enfermedad y su control afectan la producción ganadera presente, de la cual dependen la producción de carne y leche, presente y futura. Por lo tanto, el nivel óptimo de vacunación es aquel que maximiza el valor descontado del flujo de ganancias netas. Para ello, se utilizan las técnicas tradicionales de costo/beneficio con el fin de evaluar los costos y beneficios relevantes. A continuación se presenta la derivación de los costos y beneficios sociales y privados provenientes del control de fiebre aftosa. Se supone que no existe ninguna discrepancia entre los costos privados y sociales, en tanto que la única discrepancia por el lado de los beneficios proviene de las externalidades derivadas del control de fiebre aftosa.

Beneficios brutos de vacunación

El beneficio bruto anual de una estrategia cualquiera de vacunación ha sido definido en este estudio como la reducción en pérdidas económicas causadas por la enfermedad que se logra a ese nivel de control. Por lo tanto, el punto de partida tanto del análisis privado como social es la obtención de una matriz de pérdidas económicas en función del nivel de vacunación aplicado por la finca y por la región.

Los beneficios privados se obtienen trabajando a nivel de finca, y se miden como la disminución en pérdidas económicas que resulta de un nivel dado de intensidad de vacunación. En primer lugar se estiman las tasas de incidencia y mortalidad anual mediante el uso del modelo de semi-Markov descrito en la sección sobre el sub-modelo epidemiológico. Se supone que todos los parámetros incluidos en las matrices P y M dependen de la estrategia de vacunación seguida por la finca, con excepción del primer elemento de la matriz M; es decir, la duración media en el estado susceptible (\bar{T}_1), depende también del nivel regional de vacunación (V). Esta última relación es indirecta, mediante la probabilidad de brote. Así, cuando V aumenta, disminuye la probabilidad de brotes en el largo plazo en la región, lo cual implica una mayor distancia en el tiempo entre brotes, o mayor \bar{T}_{13} . Por lo tanto, se obtendrán tantas tasas de incidencia (y mortalidad) en la finca como combinaciones existan entre estrategias de vacunación en la finca y en la región, las que pueden expresarse como una matriz (donde la fila represente la cobertura de vacunación en la finca y la columna corresponda al nivel de cobertura regional)*. Luego, mediante el modelo de simulación de la finca, se obtiene una matriz de pérdidas anuales por aftosa en función del nivel de vacunación en la finca y en la región. Cabe esperar que la incidencia anual y mortalidad, y por lo tanto también las pérdidas económicas disminuyan a medida que aumenta la intensidad de vacunación tanto en la finca como en la región.

* De la misma forma se obtiene una matriz de tasas de mortalidad a nivel de finca.

Los beneficios "privados" brutos anuales pueden ser medidos mediante la matriz de pérdidas económicas, una vez especificado el nivel de vacunación regional. Vale decir, se define primeramente el nivel de vacunación regional (o la columna de la matriz de pérdidas) y luego se observa cuál es la disminución en pérdidas a medida que aumenta la vacunación en la finca, a lo largo de dicha columna.

Los beneficios privados regionales se obtienen ponderando los beneficios a nivel de finca por la proporción del stock ganadero regional que se encuentra en cada tipo de finca. Se obtiene así una familia de curvas de beneficios privados brutos, una para cada nivel de vacunación regional. Por el fenómeno de externalidades, cabe esperar que los beneficios privados de vacunación en la finca disminuyan a medida que aumenta paramétricamente el nivel de vacunación regional V . Este fenómeno es fácilmente explicable, ya que al aumentar el nivel de vacunación regional disminuye la probabilidad de brote para la finca, reduciendo así la rentabilidad de su propia vacunación.

También es posible esperar, con base en un criterio epidemiológico, que así como ocurre con las enfermedades humanas también exista para las enfermedades de los animales, una relación no lineal entre cobertura de la vacunación y los beneficios brutos esperados, y que la efectividad marginal de la vacuna sea baja a niveles muy bajos y muy altos de vacunación (Scheffler y Liscomb, 1974).

En cuanto a los beneficios "sociales" brutos de vacunación, éstos también se obtienen a partir de la estimación de pérdidas económicas por aftosa, suponiendo que todas las fincas actúan simultáneamente como una gran finca consolidada. A mayor cobertura de la vacunación, menor será la incidencia de la enfermedad y menores las pérdidas económicas provenientes de la enfermedad. Estos beneficios pueden obtenerse de la matriz de pérdidas económicas a lo largo de la diagonal (donde, por definición, el nivel de vacunación en todas las fincas es el mismo).

Costos de vacunación

Por falta de información que permitiera una estimación más exacta, en el presente estudio se supuso un costo unitario constante de vacunación a través del tiempo e independiente de la escala de vacunación.

Los niveles óptimos privados y sociales de vacunación

La estrategia óptima de vacunación es aquella que maximiza el valor descontado del flujo de beneficios netos. Descontar o actualizar los flujos de beneficio es el procedimiento adecuado si se comparan proyectos que afectan el ingreso neto durante más de un período de tiempo. Sin embargo no fue preciso actualizar los beneficios anuales al comparar diferentes niveles de vacunación* por dos razones:

* No obstante, es preciso descontar cuando se comparan estrategias de vacunación con erradicación.

1. no hay inversión inicial o un flujo de caja negativo inicial; y
2. los beneficios netos anuales de cada estrategia son constantes a través del tiempo, ya que se comparan situaciones de equilibrio de largo plazo.

Por lo tanto, en este caso, la estrategia óptima de vacunación es independiente de la tasa de descuento y se obtiene ordenando las estrategias de acuerdo al valor absoluto de los beneficios netos.

La estrategia social óptima corresponde al nivel de vacunación que proporciona el más alto beneficio social neto anual (BPNV).

La obtención del nivel óptimo privado de vacunación es más compleja y será explicada con base en la Figura 4. En esta figura se miden los niveles de cobertura de la vacunación en la finca y región en los ejes horizontales (v y V , respectivamente), y los

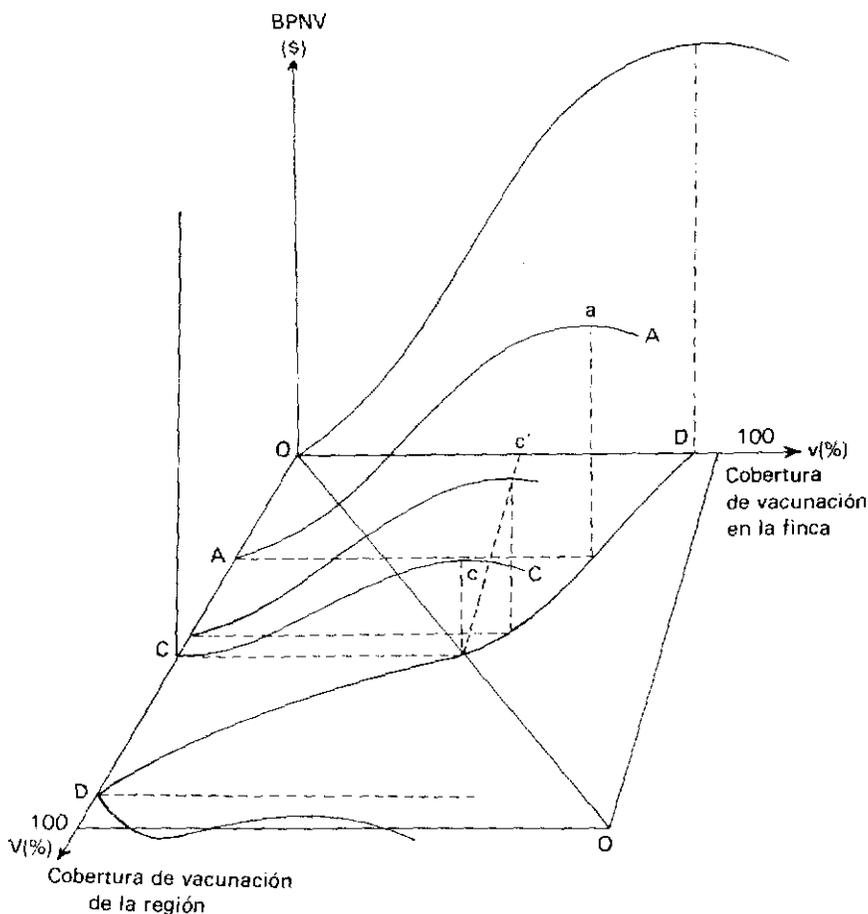


Figura 4. Determinación del nivel óptimo privado de vacunación.

beneficios privados netos en el eje vertical. Así, la curva AA muestra los beneficios privados netos de la finca en función de su nivel de vacunación para una cobertura regional OA. El punto a representa el más alto beneficio neto a lo largo de la curva AA. La curva correspondiente a una mayor intensidad de vacunación regional, OC, es CC, y su punto más alto es c. La proyección de los puntos más altos de cada curva sobre el plano vV forma una nueva curva DD. Esta curva muestra el nivel deseado de vacunación en la finca para cada nivel posible de vacunación regional. Se espera que la cantidad demandada de vacunación disminuya a medida que aumente el nivel de vacunación regional. Simultáneamente, a cada nivel regional de vacunación sólo puede materializarse un nivel de vacunación en la finca —aquel que es consistente con el primero. Bajo el supuesto de fincas idénticas, esta condición de consistencia se cumple a lo largo de la diagonal 00' en el plano vV. Por lo tanto, sólo hay un nivel de vacunación en la finca (0c') que cumple ambas condiciones: maximiza los beneficios privados netos y es consistente con la estrategia regional de vacunación (0c' = 0C). Este es el nivel óptimo “privado” de vacunación.

Análisis económico de erradicación

La estrategia de erradicación se ha definido en dos etapas; la primera consiste en cuatro años sucesivos de vacunación en gran escala seguido por una segunda etapa de dos años de vacunación combinado con matanza. Posteriormente, tanto la matanza como la vacunación concluirían, para dar paso a una actividad permanente de vigilancia epidemiológica, con el fin de impedir la reintroducción de la enfermedad en el área.

Como se mencionó anteriormente, la estrategia de erradicación sólo será analizada desde el punto de vista social. No se considera que esta estrategia sea viable a nivel privado en zonas endémicas. Por una parte, el costo de una actividad de matanza es considerable, e implica una pérdida de capital importante al productor, en tanto que los beneficios privados son muy bajos debido a que la finca no puede captar los beneficios de entrar al mercado “sin fiebre aftosa”, a menos que todas las restantes fincas de la región también queden libres de la enfermedad.

Beneficios sociales brutos de erradicación

Los beneficios provenientes de la etapa de vacunación en una estrategia de erradicación son los mismos ya descritos en la sección de análisis económico de la vacunación. En cambio, los beneficios brutos de la segunda etapa con matanza ilustrados en la Figura 5 son de dos tipos:

1. las pérdidas económicas por aftosa evitadas (L^0); y
2. la ganancia de divisas (TB) provenientes de la entrada a mercados externos “sin fiebre aftosa”. Se supone que se logra acceso a estos mercados desde el cuarto año de la segunda etapa, es decir, al menos un año después de la terminación de la actividad de matanza y cuando el área pueda ser declarada libre de aftosa. Este segundo tipo

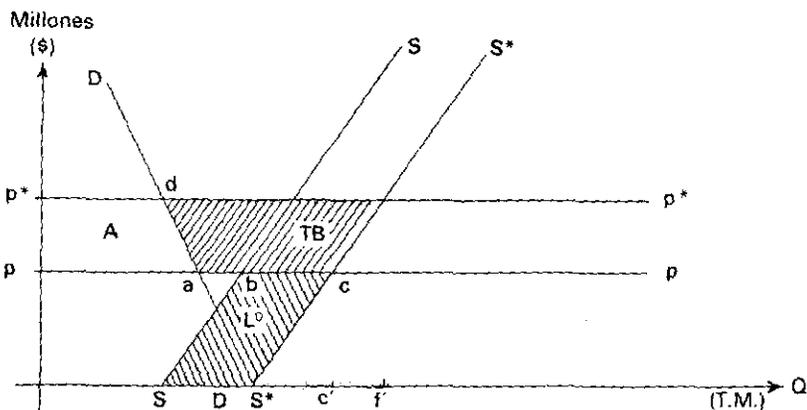


Figura 5. Beneficios anuales brutos de erradicación.

de beneficio es otro tipo de externalidades, de naturaleza diferente a las externalidades en producción presentadas anteriormente.

Para la estimación de los beneficios recién enumerados, se utilizan (además del modelo de simulación diseñado para la obtención de pérdidas), las estimaciones tradicionales de excedentes del productor y consumidor, tal como se ilustra en la Figura 5.

La región analizada es exportadora neta de carne y distribuye sus exportaciones tanto al resto del país como al mercado externo. Se supone que enfrenta una demanda externa perfectamente elástica, pp , y que el precio interno no difiere del precio externo F.O.B. También se supone que mediante la erradicación de fiebre aftosa, la región logra entrar al mercado libre de aftosa, obteniendo un mejor precio p^* por sus exportaciones de carne. En ausencia de distorsión en la exportación (oligopolio, tarifas aduaneras, etc.), el precio interno en el país también aumentaría en la misma proporción.

El efecto de la erradicación sobre la oferta de carne de la región es en principio similar al de cualquier tipo de cambio tecnológico en la producción de carne: se logra producir más carne por año con los mismos recursos al eliminarse las pérdidas de producción por la enfermedad. Esto se representa en la Figura 5 con un traslado a la derecha de la curva de oferta agregada del país, hasta alcanzar la nueva posición S^*S^* . La producción de carne y las exportaciones aumentan con respecto a la situación anterior. El monto de las pérdidas anuales evitadas por la erradicación (L^0) es equivalente al área sombreada SS^*cb y es estimado con el modelo de simulación suponiendo una situación inicial sin control de la enfermedad. Este beneficio corresponde a un incremento en el excedente de los productores, y es recibido por el sector ganadero de la región*.

* En realidad el área sombreada en la Figura 5 es levemente inferior al excedente del productor estimado con el modelo pues no incluye las pérdidas en leche.

beneficios privados netos en el eje vertical. Así, la curva AA muestra los beneficios privados netos de la finca en función de su nivel de vacunación para una cobertura regional 0A. El punto a representa el más alto beneficio neto a lo largo de la curva AA. La curva correspondiente a una mayor intensidad de vacunación regional, 0C, es CC, y su punto más alto es c. La proyección de los puntos más altos de cada curva sobre el plano vV forma una nueva curva DD. Esta curva muestra el nivel deseado de vacunación en la finca para cada nivel posible de vacunación regional. Se espera que la cantidad demandada de vacunación disminuya a medida que aumente el nivel de vacunación regional. Simultáneamente, a cada nivel regional de vacunación sólo puede materializarse un nivel de vacunación en la finca —aquel que es consistente con el primero. Bajo el supuesto de fincas idénticas, esta condición de consistencia se cumple a lo largo de la diagonal 00' en el plano vV. Por lo tanto, sólo hay un nivel de vacunación en la finca (0c') que cumple ambas condiciones: maximiza los beneficios privados netos y es consistente con la estrategia regional de vacunación (0c' = 0C). Este es el nivel óptimo “privado” de vacunación.

Análisis económico de erradicación

La estrategia de erradicación se ha definido en dos etapas; la primera consiste en cuatro años sucesivos de vacunación en gran escala seguido por una segunda etapa de dos años de vacunación combinado con matanza. Posteriormente, tanto la matanza como la vacunación concluirían, para dar paso a una actividad permanente de vigilancia epidemiológica, con el fin de impedir la reintroducción de la enfermedad en el área.

Como se mencionó anteriormente, la estrategia de erradicación sólo será analizada desde el punto de vista social. No se considera que esta estrategia sea viable a nivel privado en zonas endémicas. Por una parte, el costo de una actividad de matanza es considerable, e implica una pérdida de capital importante al productor, en tanto que los beneficios privados son muy bajos debido a que la finca no puede captar los beneficios de entrar al mercado “sin fiebre aftosa”, a menos que todas las restantes fincas de la región también queden libres de la enfermedad.

Beneficios sociales brutos de erradicación

Los beneficios provenientes de la etapa de vacunación en una estrategia de erradicación son los mismos ya descritos en la sección de análisis económico de la vacunación. En cambio, los beneficios brutos de la segunda etapa con matanza ilustrados en la Figura 5 son de dos tipos:

1. las pérdidas económicas por aftosa evitadas (L^0); y
2. la ganancia de divisas (TB) provenientes de la entrada a mercados externos “sin fiebre aftosa”. Se supone que se logra acceso a estos mercados desde el cuarto año de la segunda etapa, es decir, al menos un año después de la terminación de la actividad de matanza y cuando el área pueda ser declarada libre de aftosa. Este segundo tipo

A partir del cuarto año de la segunda etapa, los productores de carne del país recibirían anualmente un beneficio bruto adicional, TB, causado por el aumento en el precio de la carne tanto interno como externo. Además, como consecuencia del mayor precio, la producción y exportaciones crecerían aún más en la cantidad $c' f'$. El área $padp^*$ (o cuadrilátero A) de la Figura 5 representa una transferencia de excedente de los consumidores de carne a los productores y por lo tanto no constituye un beneficio del programa.

Costos sociales de erradicación

El costo social anual del proyecto en la segunda etapa, comprende tres grandes rubros*:

1. El costo anual de vacunación durante los dos primeros años de esta etapa,
2. el costo de reemplazo de los animales sacrificados durante los dos primeros años**, y
3. el costo anual de vigilancia epidemiológica que se efectuaría a partir del primer año de la segunda etapa de esta estrategia.

* Para una descripción más detallada de cada uno de los costos considerados, véase Rubinstein (1977).

** Al estimar los costos de reemplazo es preciso tener en cuenta que los animales sacrificados deben ser reemplazados por otros provenientes de áreas libres de la enfermedad.

EVALUACION ECONOMICA DEL CONTROL DE FIEBRE AFTOSA

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para el área de estudio mediante el uso del modelo descrito en la sección anterior. A continuación se presentan las estimaciones obtenidas de los beneficios netos de vacunación privados y sociales; posteriormente se analizan los resultados pertinentes a la estrategia de erradicación y finalmente se compara la erradicación con la vacunación desde el punto de vista social.

Análisis de los retornos privados a estrategias de vacunación

Tal como se indicara, los valores de incidencia y mortalidad por aftosa requeridos para la estimación de las pérdidas económicas a cada nivel de vacunación fueron simulados con el modelo de semi-Markov. Los parámetros utilizados se estimaron con base en la experiencia previa de los veterinarios del CIAT y del ICA en la costa norte de Colombia, y de la información disponible de otros países*.

Los resultados de morbilidad y mortalidad obtenidos con dicho modelo fueron utilizados para alimentar el sub-modelo de simulación de fincas ganaderas**.

En los Cuadros 2 y 3 se presentan los resultados de morbilidad (incidencia) y mortalidad respectivamente, obtenidos a nivel de finca con el modelo epidemiológico. La morbilidad se mide como el porcentaje anual del hato que se enferma*** a cada nivel de intensidad de vacunación tanto en la finca como en la región. La mortalidad se mide en forma similar pero expresada en tanto por diez mil.

* Véase Rubinstein (1977).

** Se supuso que el comportamiento de la enfermedad es el mismo tanto para operaciones de cría como de engorde, a pesar de que ello no es estrictamente válido. Como es sabido, la epidemiología de fiebre aftosa varía por tipo de actividad debido a diferencias en el manejo y densidad ganadera. La falta de información diferencial sobre el comportamiento de la enfermedad por tipo de actividad no permitió considerar tales diferencias.

*** Se refiere a condiciones epidemiológicas de largo plazo.

Cuadro 2. Incidencia anual de fiebre aftosa en la finca.

Nivel de vacunación en la finca (%)	Nivel de vacunación en la región (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Porcentaje										
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.

En la Figura 6 se representan gráficamente algunos de los resultados presentados en el Cuadro 2 para ilustrar el efecto de aumentos de intensidad de vacunación en la finca sobre la morbilidad de largo plazo, para niveles de vacunación regional (V) de 0,50 y 100 por ciento. Puede observarse que a niveles bajos de cobertura regional (curva

Cuadro 3. Mortalidad anual por fiebre aftosa en la finca.

Nivel de vacunación en la finca (%)	Nivel de vacunación en la región (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	x 10.000										
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.

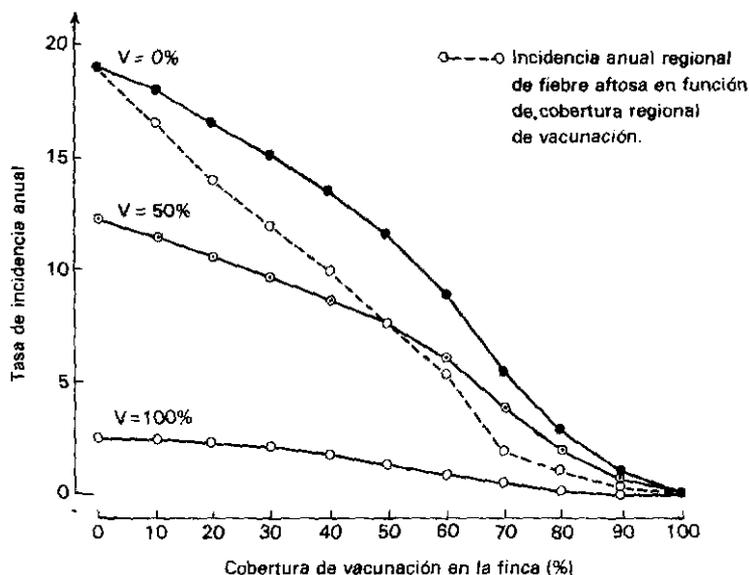


Figura 6. Tasas de incidencia anual de fiebre aftosa en la finca (%).

Fuente: Cuadro 2.

superior) se logran reducciones en incidencia mayores que a niveles altos a medida que aumenta la cobertura en la finca, lo cual se explica por la presencia de rendimientos eventualmente decrecientes a vacunación, ya sea de la finca o de la región. El mismo fenómeno puede observarse en el caso de la mortalidad por fiebre aftosa en el largo plazo (Figura 7).

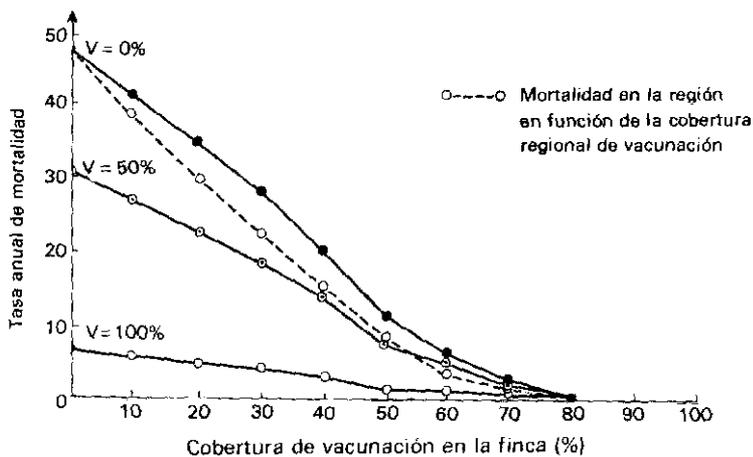


Figura 7. Tasas anuales de mortalidad por fiebre aftosa en la finca (x 10.000).

Fuente: Cuadro 3.

En el Cuadro 4 se presentan las pérdidas económicas agregadas estimadas para la región, correspondientes a un stock de aproximadamente 4,4 millones de cabezas. Este es el tamaño del hato regional estabilizado simulado con el modelo para una situación sin la enfermedad, bajo los parámetros de producción típicos de la industria ganadera de Córdoba, con un hato de cría de 1,5 millones de vacas. Se obtuvieron las pérdidas económicas regionales ponderando los resultados a nivel de finca por la proporción del stock ganadero que se estima para cada tipo de actividad*.

Puede apreciarse que las pérdidas alcanzan los \$430 millones en el caso de cero vacunación regional, lo cual equivale a pérdidas de \$97,5 por animal en stock, u 8,6 por ciento del ingreso neto anual de la industria ganadera en el área. Por lo tanto, si se expresan las pérdidas como proporción del valor de la producción de carne (ingreso bruto), ellas representarían un porcentaje aún menor, lo cual es considerablemente inferior a la cifra de 25 por ciento reportada tradicionalmente**.

De la matriz de pérdidas económicas por finca, es posible estimar directamente los beneficios privados anuales brutos de cada nivel de vacunación en la finca para cada nivel de vacunación regional. Las diferencias entre estos valores y los respectivos costos de vacunación en la finca constituyen los beneficios privados netos, los que se muestran en el Cuadro 5. Estos valores son presentados gráficamente en la Figura 8 - cada curva representa una columna diferente del Cuadro 5. Nótese que los beneficios privados netos para coberturas de vacunación regional igual o superior a 80 por ciento

* Para mayor detalle, ver Rubinstein (1977).

** Véase por ejemplo, Meyer Arévalo (1962).

Cuadro 4. Pérdidas económicas agregadas anuales por fiebre aftosa (millones de \$ Col., precios de 1975).

Nivel de vacunación en la finca (%)	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.

Cuadro 5. Beneficios privados netos de vacunación (Miles de \$ Col., precios de 1975*).

Nivel de vacunación en la finca (%)	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	15,3	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

* Esta es una finca con un hato de cría de 150 vacas y con un hato total de 441 cabezas.

Fuente: Cuadro 4.

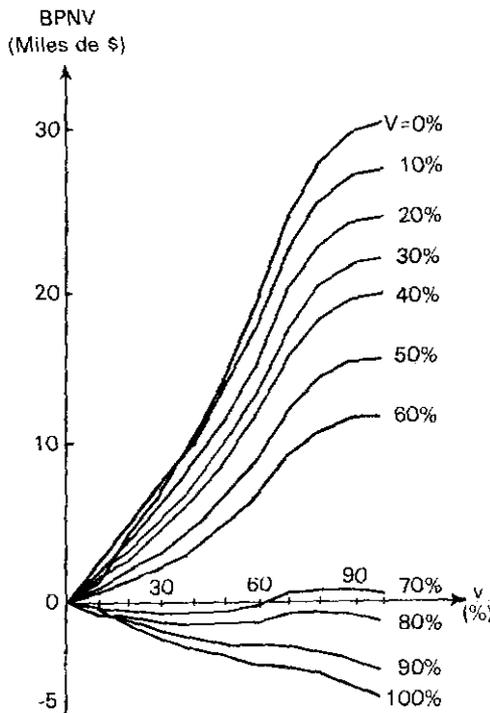


Figura 8. Beneficios privados netos de vacunación

Fuente: Cuadro 5.

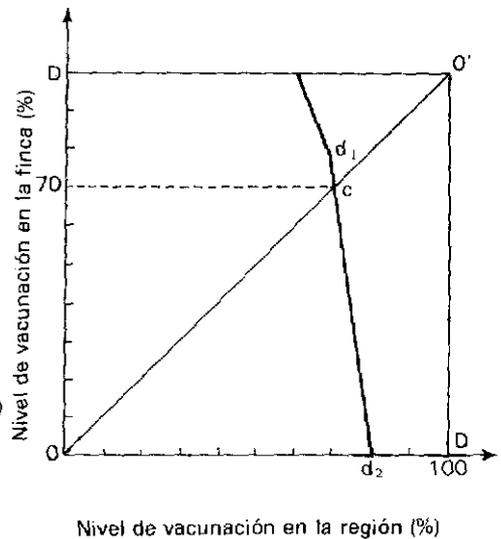


Figura 9. Nivel óptimo privado de vacunación.

Fuente: Cuadro 5.

son negativos. Además, para coberturas regionales de hasta 60 por ciento, el nivel individual de vacunación que maximizaría las utilidades de la finca es de 100 por ciento*. En cambio, si la vacunación regional iguala o excede a 80 por ciento de cobertura, cada finca dejaría de vacunar. Por lo tanto, el nivel óptimo de vacunación "privado" debe estar entre 60 y 80 por ciento. Se ha estimado el resultado mediante interpolación lineal entre d_1 y d_2 , con la ayuda de la Figura 9. La curva DD en esta figura, que incluye el segmento $d_1 d_2$ y pasa por c es la estimación empírica de la curva con el mismo nombre presentada en la Figura 4 en el plano vV . Tal como se especificó anteriormente, la curva obtenida es decreciente, lo que implica que el nivel deseado de vacunación "privada" disminuye a medida que aumenta el nivel regional de cobertura. La curva es también muy elástica a niveles bajos y altos de vacunación regional, lo que se explica por factores tanto epidemiológicos como económicos. Una intensidad de vacunación equivalente a vacunar el 72 por ciento del stock en la finca, cuando la cobertura regional es también de 72 por ciento, maximizaría los beneficios, netos esperados**. Este es, por lo tanto, el nivel óptimo de vacunación desde el punto de vista privado, que por simplicidad será redondeado a 70 por ciento. Este nivel es superior al nivel de cobertura observado en la costa norte de Colombia, el que no ha excedido de 40 por ciento; más adelante se presentan algunas posibles explicaciones de tal discrepancia.

Evaluación social de vacunación

Para efectuar la evaluación social de estrategias de vacunación se ha considerado a la región como una sola finca "consolidada" lo que implica centralización en la toma de decisiones sobre el nivel de control de la enfermedad. Se utiliza la misma información que la recogida para el análisis privado sólo que en el análisis social los únicos valores relevantes tanto de morbilidad como de mortalidad (y pérdidas económicas), son aquéllos ubicados en las diagonales de las respectivas matrices, ya que corresponden al caso en que todas las fincas vacunan simultáneamente la misma proporción de sus hatos. Estos valores fueron representados en la Figura 6 con una línea punteada. En ella puede apreciarse que en general, la eficiencia marginal de intensificar la vacunación en la finca es mayor si todas las demás fincas también aumentan su nivel de vacunación.

Los beneficios sociales brutos de vacunar X por ciento del ganado en el largo plazo se miden como la diferencia a lo largo de la diagonal entre las pérdidas económicas estimadas para una situación sin vacunación, y las que resultan de vacunar X por ciento del stock de la región. En el Cuadro 6 se presentan los beneficios brutos y netos regionales de cada estrategia de vacunación. Se puede apreciar que éstos aumentan a medida que se intensifica la vacunación, hasta que se alcanzan los mayores beneficios netos con 90 por ciento de cobertura. Esta es la estrategia óptima desde el punto de vista social cuando no se considera la alternativa de erradicación***. Este resultado

* Sin embargo, con costos de vacunación más altos, el nivel de vacunación que maximiza utilidades sería inferior.

** Recuérdese la interpretación de nivel de vacunación, presentada en la página 28.

*** Es de notar que los beneficios sociales netos de 90 por ciento de cobertura son sólo levemente mayores que los esperados con una cobertura de 80 por ciento.

de simulación es consistente con la hipótesis inicial puesto que habría una sub-inversión en control con vacunación "voluntaria", al compararse con la estrategia óptima privada. Es útil destacar que si bien con 100 por ciento de vacunación es posible reducir las pérdidas por aftosa aún más (Cuadro 6, columna 2) no es rentable con los costos de vacunación estimados. Esta conclusión está de acuerdo con lo que se ha dicho en el campo de salud animal* , acerca de que no es necesario alcanzar cobertura total en la vacunación. Cabe destacar que, habiéndose trabajado con costos unitarios constantes, este resultado se origina precisamente en el comportamiento epidemiológico de la enfermedad.

Evaluación social de erradicación

Se supuso inicialmente que el nivel de vacunación a llevarse a cabo en la primera etapa de una estrategia de erradicación es el que se estimó como óptimo desde el punto de vista social, es decir, 90 por ciento. Por lo tanto, los costos y beneficios anuales correspondientes a esta primera fase son los ya presentados en el Cuadro 6. Con respecto a la evaluación de la segunda fase de un proyecto de este tipo, se adoptaron los siguientes supuestos adicionales:

1. El período 1969-1972 es representativo de los precios de la carne en los mercados sin y con aftosa;

* Véase Ministry of Agriculture and Fisheries (1969), p.67.

Cuadro 6. Costos y beneficios sociales anuales de vacunación en la región (Millones de \$ Col., precios de 1975).

Estrategia de vacunación (%) (1)	Pérdidas económicas (2)	Beneficios brutos (3)	Costos de vacunación* (4)	Beneficios netos (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 4.

2. la producción, consumo, exportación y precios de la carne se expresaron en equivalentes de carne deshuesada/congelada como unidad de medida común, mediante el uso de los factores de conversión apropiados;
3. el precio promedio de la carne pagado por los Estados Unidos por carne de vaca importada (90 por ciento magra a la vista) es usado como aproximación del precio F.O.B. de exportación que recibiría Colombia en el mercado "sin fiebre aftosa";
4. para el cálculo de los costos de erradicación, se supuso que el número de animales para sacrificio en el primer año de matanza es función de la morbilidad de largo plazo alcanzada con 90 por ciento de vacunación y de la tasa de contacto entre animales. Más aún, se supuso que la composición por edad y sexo de los animales sacrificados es la misma que la del hato regional estabilizado.

Con acceso al mercado libre de aftosa

El Cuadro 7 muestra los beneficios y costos estimados para la segunda fase de erradicación. Si bien, el grueso de los beneficios provendría del mejor precio de exportación (es decir, el precio en el mercado "sin fiebre aftosa") que se lograría a partir del cuarto año de esta fase, la mayor parte de los costos tendría lugar durante los dos primeros años de esta segunda etapa.

Sin acceso al mercado libre de aftosa

Es muy probable que los países importadores de carne en el mercado "sin fiebre aftosa" no estén dispuestos a comprar carne de áreas libres de la enfermedad ubicadas dentro de países que aún son endémicos, por el peligro de reinfección mediante el movimiento de animales entre regiones. En este caso, los beneficios anuales de la segunda etapa de erradicación son sensiblemente inferiores con respecto del caso anterior (ver Cuadro 8).

Cuadro 7. Costos y beneficios sociales anuales de la segunda etapa de erradicación - con acceso al mercado libre de aftosa (Millones de \$ Col., precios de 1974)*

	Año (t)						
	1	2	3	4	5	6	7
BE ₁ (t)**	430	430	430	1.030	1.030	→	→
BE ₂ (t)**	430	430	430	1.383	1.383	→	→
CE (t)	1.239	674	7	7	7	→	→

* BE(t) y CE(t) corresponden a los beneficios y costos anuales de erradicación respectivamente.

** BE₁(t) se obtuvo con una elasticidad precio de la oferta de carne igual a cero, en tanto que BE₂(t) se obtuvo con base en una elasticidad unitaria. Esto explica la diferencia en los beneficios brutos esperados a partir del año 4 ya que los beneficios adicionales de exportación pasan de: BT₁ = 600 a BT₂ = 953.

Fuente: Rubinstein (1977), Apéndice G.

Cuadro 8. Costos y beneficios brutos sociales de la segunda etapa de erradicación – el caso sin entrada al mercado “sin fiebre aftosa” (Millones de \$ Col., precios de 1975)*

	Año (t)						
	1	2	3	4	5	6	7
BE (t)	430	430	430	430	430	→	→
CE (t)	1.239	674	7	7	7	→	→

* Los símbolos utilizados en este cuadro fueron definidos en el Cuadro. 7

Fuente: Rubinstein (1977), Cuadros G.1 a G.4

Erradicación versus vacunación

En la Sección anterior se comparó la rentabilidad “social” de diferentes estrategias de vacunación, llegándose a la conclusión de que el nivel óptimo de vacunación para la región era una cobertura del 90 por ciento. Una vez alcanzado el equilibrio de largo plazo con dicha estrategia, existe la elección de continuar con ella indefinidamente (si no cambian las condiciones) o de pasar a la erradicación de fiebre aftosa mediante la introducción de la actividad de matanza. Dicha elección depende del valor presente de los beneficios netos esperados con ambas alternativas. El Cuadro 9 muestra estos valores para diferentes tasas de descuento, suponiendo que los productores logran acceso al mercado “sin fiebre aftosa” mediante la erradicación. Con la tasa de descuento del 10 por ciento utilizada en este estudio*, el valor presente neto de los beneficios esperados de la vacunación es algo menos de la mitad del valor correspondiente a erradicación. A medida que la tasa de descuento aumenta, el valor presente de ambas estrategias decrece pero con mayor velocidad en el caso de

* Esta es la tasa de retorno social al capital en Colombia, según las estimaciones hechas por Harberger (1972), Cap.VI, p.153.

Cuadro 9. Valor presente neto de los beneficios sociales de continuar con vacunación y de pasar a erradicación -el caso con entrada al mercado “sin fiebre aftosa” (Millones de \$ Col., precios de 1975).

	Tasa de descuento social (%)					
	5	10	15	20	25	30
Vacunación (90%)	6.252	3.126	2.084	1.563	1.250	1.042
Erradicación*	16.206	6.368 8.779**	3.289	1.868	1.089	620

* Con elasticidad precio de la oferta igual a cero

** Con elasticidad precio de la oferta igual a uno.

Fuente: Cuadros 6 y 7.

Cuadro 10. Valor presente neto de los beneficios sociales de continuar con vacunación y de pasar a erradicación -el caso sin entrada al mercado libre de aftosa (Millones de \$ Col., precios de 1975).

Estrategia	Tasa de Descuento social		
	5	10	15
Vacunación (90%)	6.252	3.126	2.084
Erradicación	6.316	2.241	966

Fuente: Cuadros 6 y 8.

erradicación. Así, para las tasas de descuento social hasta de 20 por ciento, la erradicación fue la estrategia óptima de control desde el punto de vista social. En cambio, si con esta estrategia no se logra entrar al mercado libre de aftosa, el valor presente neto de los beneficios esperados con esta estrategia es considerablemente menor (ver Cuadro 10). En tal caso no valdría la pena erradicar la enfermedad y la estrategia óptima sería 90 por ciento de vacunación. Se puede apreciar que en estas circunstancias la erradicación podría llegar a ser más atractiva a tasas de descuento inferiores al 5 por ciento. Esto es posible sólo en situaciones de abundancia de capital lo que podría darse con un nivel más alto de desarrollo económico.

En caso de lograrse acceso al mercado libre de aftosa, es interesante preguntarse si se debe cambiar de vacunación a erradicación con un nivel de vacunación menor que 90 por ciento. Como puede observarse en el Cuadro 11, desde el punto de vista social resulta rentable pasar a erradicación una vez lograda una cobertura constante de 80 por ciento o más. Sin embargo, el mayor valor presente neto sigue obteniéndose con una cobertura de 90 por ciento en la etapa inicial de la erradicación. Dado el conocimiento actual de la enfermedad, queda sin responder la pregunta sobre cuál es la duración óptima de la etapa de vacunación antes de entrar a matanza.

Cuadro 11. Valor presente neto de los beneficios sociales de continuar con vacunación y de pasar a erradicación en relación con el nivel inicial de vacunación*. (Millones de \$ Col., precios de 1975).

	Nivel de vacunación (% de cobertura)			
	90	80	70	60
Vacunación continua	3.126	3.124	3.063	2.545
Erradicación**				
a) $\epsilon_{p-s} = 0$	6.368	3.857	582	-11.425
b) $\epsilon_{p-s} = 1$	8.779	6.268	2.993	-9.014

* Los valores se refieren a la segunda fase de erradicación si el nivel de vacunación en la primera fase consiste en la cobertura indicada en la columna correspondiente. Supone entrada al mercado "sin fiebre aftosa".

** Los cálculos corresponden a los valores 0 y 1 de elasticidad precio de la oferta.

Fuente: Cuadros 6 y 7.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El propósito de esta parte del trabajo es presentar los resultados e implicaciones del análisis de sensibilidad efectuado en relación con los principales parámetros contenidos en el modelo; discutir los costos y beneficios esperados de políticas públicas alternativas en el control de fiebre aftosa, y evaluar las implicaciones del conjunto de resultados obtenidos en esta investigación.

Requerimiento de datos y análisis de sensibilidad

Existe aún poca información en relación con los parámetros epidemiológicos y pérdidas físicas por fiebre aftosa. La formalización del modelo epidemiológico en términos matemáticos y el correspondiente análisis de sensibilidad permitieron identificar aquellas variables que es relevante medir desde el punto de vista económico. Se hizo análisis de sensibilidad con respecto a las siguientes variables*.

1. frecuencia anual de brotes
2. tasas de ataque a distintos niveles de control
3. efectividad de la vacuna en el campo
4. mortalidad por aftosa, a distintos niveles de control.

Igualmente se efectuó análisis de sensibilidad con respecto a las siguientes pérdidas físicas:

5. pérdidas de peso vivo
6. pérdidas en la producción de leche, y
7. pérdidas en relación con costos de vacunación.

* También se podría hacer análisis de sensibilidad con respecto a las duraciones medias en cada etapa de la enfermedad (p.e., periodo de incubación, duración de la enfermedad clínica).

En el Cuadro 12 se han resumido los resultados del análisis de sensibilidad. Los primeros 12 casos corresponden a cambios en una de las variables enumeradas anteriormente. Se puede observar que:

1. La estrategia privada de vacunación óptima fluctúa entre 60 y 80 por ciento en tanto que el óptimo social varía entre 70 y 90 por ciento;
2. el efecto de cambios en la probabilidad de brotes y en las tasas de ataque (que operan en el sub-modelo epidemiológico) es similar (casos 1, 2, 5 y 6);
3. los efectos de cambios en las pérdidas de peso vivo y de leche (que operan en el sub-modelo de simulación de fincas) son también simétricos (casos 8, 9, 10 y 11);
4. las soluciones óptimas no cambian con variaciones en las tasas de mortalidad (casos 3 y 4);
5. la brecha entre los niveles óptimos privados y sociales aumenta si se reduce la efectividad de la vacuna de 85 a 60 por ciento (caso 7).

Cuadro 12. Resumen de resultados del análisis de sensibilidad.

Caso no.	Variable cambiada	Cambio considerado	Estrategia óptima	
			Privada	Social
01	Probabilidades de brote	-20%	60	80
02	Idem 01	+20%	80	90
03	Tasas de mortalidad	+20%	70	90
04	Idem 03	-20%	70	90
05	Tasas de ataque	-20%	60	80
06	Idem 05	+20%	80	90
07	Efectividad de vacuna	de 85% a 60%	60	90
08	Pérdidas de peso por fiebre aftosa	+20%	70	90
09	Idem 08	-20%	70	80
10	Pérdidas de leche por fiebre aftosa	+20%	70	90
11	Idem 10	-20%	70	80
12	Costos de vacunación	+100%	60	70
13	Combinación de casos nos. 01, 05 y 07		60	80
14	Idem 13 + costos de vacunación	+20%	50	80
15	Idem 13 + costos de vacunación	+50%	0	70

Fuente: Rubinstein (1977), Apéndice H.

Ya que hay poca investigación latinoamericana con respecto a la epidemiología de fiebre aftosa en condiciones de campo, es frecuente que se citen las estimaciones obtenidas en países no endémicos tales como la Gran Bretaña. Sin embargo, el impacto epidemiológico y físico de la aftosa puede ser menor en áreas endémicas. De ahí que se simulase el caso 13 utilizando estimaciones de probabilidades de brote y de tasas de ataque, 20 por ciento más bajas, y una efectividad menor de vacuna (de 60 en vez de 85 por ciento). Los resultados indican que aún si se sobreestiman estos parámetros en un 20 por ciento, las estrategias óptimas (privada y social) solo varían en un 10 por ciento. Cuando estos cambios se acompañan de un aumento en los costos de vacunación, la solución privada es extremadamente sensible (casos 14 y 15), mientras que la estrategia socialmente óptima es relativamente estable.

Estos resultados son de particular interés en vista de la gran inversión que se requiere normalmente para la obtención de datos. Entonces, tenemos que:

1. para zonas endémicas resulta deseable obtener información acerca del número de brotes, tasas de ataque y de mortalidad a nivel de finca, conjuntamente con información sobre los niveles de vacunación en las fincas con brotes y en la región. La utilidad de dicha información obtenida aisladamente es reducida en términos del análisis económico de la enfermedad.
2. es importante medir la mortalidad por aftosa, pérdidas de peso y de leche, con el fin de estimar los beneficios de controlar la enfermedad. No obstante, la obtención de estimaciones más precisas sobre probabilidades de brote y tasas de ataque parece ser aún más importante en términos de la sensibilidad de las soluciones.
3. es preciso dedicar esfuerzos a la obtención de estimaciones precisas de los costos de vacunación en la finca, así como de los costos públicos de campañas sanitarias. Los resultados obtenidos indican que la subestimación de estos costos puede llevar a sobreestimar el nivel óptimo de vacunación.
4. el nivel privado de vacunación fue relativamente sensible al grado de efectividad de la vacuna en el campo. Si bien se controla la calidad de la vacuna en condiciones de laboratorio, esto no se hace en el campo. De hecho, el grado de efectividad de la vacuna puede disminuir considerablemente en el lapso entre el laboratorio y el animal, debido a manejo y almacenaje inadecuado de la vacuna.

En resumen, el esfuerzo de modelación y el análisis de sensibilidad resultaron ser herramientas útiles para indicar el tipo de información al cual son sensibles los resultados económicos. Al mismo tiempo, permitieron confirmar la estabilidad de las soluciones obtenidas anteriormente en este trabajo.

Políticas públicas alternativas en el control de fiebre aftosa

Se ha visto que en mercados competitivos, el mecanismo de precios es ineficiente para la asignación de recursos en control de fiebre aftosa, por la presencia de

externalidades. Se puede estimar el monto de los beneficios sociales que se derivarían de pasar del nivel óptimo de control privado (70 por ciento de vacunación) al nivel óptimo social (erradicación), con la ayuda del Cuadro 13. Cuando la tasa de descuento es del 10 por ciento, estos beneficios tienen un valor presente de \$1.886 millones, y representan un 7 por ciento de aumento en el ingreso anual del sector ganadero de la región*.

Hay varias políticas alternativas que se proponen usualmente para superar las imperfecciones del mercado en estas circunstancias**, ninguna de las cuales es simple de diseñar y de poner en ejecución o universalmente aplicable. Su objetivo es modificar las señales del mercado (p.e., subsidios), o limitar la libre elección de los productores en el control de fiebre aftosa (p.e., acción gubernamental directa). A continuación se analiza más detalladamente una política de subsidio a la vacunación.

Subsidio a la vacunación

Un subsidio específico y constante por cabeza vacunada, al reducir proporcionalmente los costos de vacunación, aumentaría los beneficios privados netos de vacunación induciendo a los ganaderos a que aumenten la cobertura de vacunación. Se estimó que un subsidio anual de \$12 por cabeza vacunada es el mínimo necesario para inducir un 90 por ciento de vacunación. En la Figura 10 se muestran los beneficios privados correspondientes a 90 por ciento de cobertura regional, antes y después del subsidio, y las de 70 y 80 por ciento de cobertura regional después del subsidio. Puede apreciarse que el nuevo nivel óptimo de vacunación privado (es decir, después del subsidio) es 90 por ciento, la meta deseada.

* Este resultado supone que hay entrada al mercado "sin fiebre aftosa". De no ser así, las políticas públicas (tales como subsidios) estarían diseñadas para inducir un 90 por ciento de vacunación, lo que sólo aumentaría el ingreso anual de los productores en un 0,14 por ciento (ver Apéndice, Cuadro A.).

** Davis y Kamien (1971).

Cuadro 13. Beneficios sociales netos de las estrategias óptimas de control privada y social (Millones de \$ Col., precios de 1975).

	Año (t)						
	1	2	3	4	5	6	7
Vacunación (70%)	306 ¹	306	306	306	306	→	
Erradicación ⁴	313 ²	313	313	313	6.368 ³	←	

1. Este es el beneficio social anual en el largo plazo con 70 por ciento de vacunación (Ver Cuadro 6).
2. Este es el beneficio social anual en el largo plazo, con 90 por ciento de vacunación (Ver Cuadro 6).
3. Este es el beneficio neto descontado de la segunda fase de erradicación (Ver Cuadro 9) con base en una estimación conservadora, es decir, suponiendo una elasticidad precio de la oferta igual a cero.
4. Se supone acceso al mercado libre de aftosa.

Fuente: Cuadros 6 y 9.

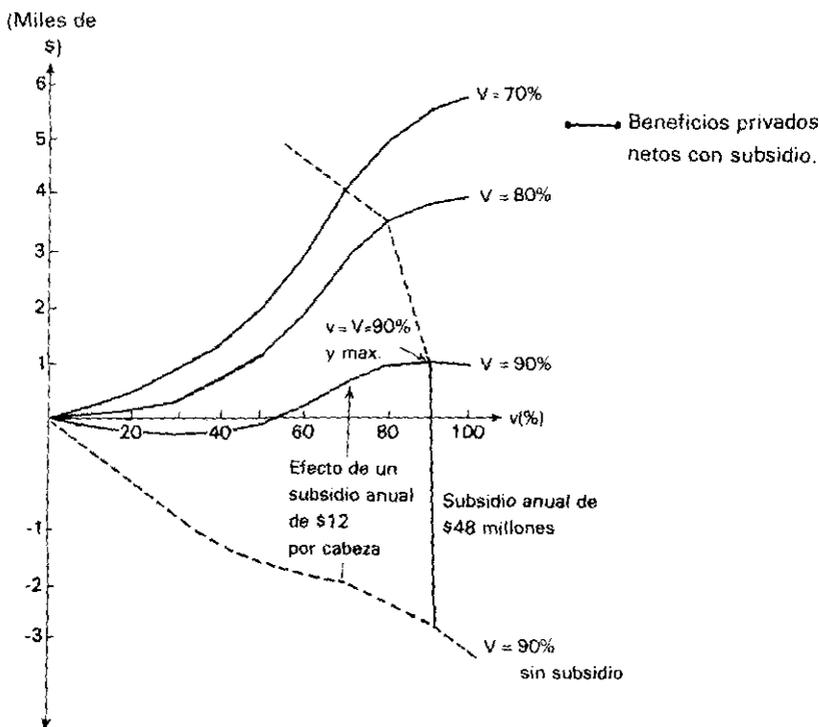


Figura 10. Beneficios privados netos con un subsidio constante por animal vacunado.

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

El valor presente del subsidio total durante los cuatro años de la primera etapa, sin considerar los posibles costos de transacción, es de \$151 millones [ver Rubinstein (1977), Apéndice Tabla H.44]. De ser la meta de largo plazo 90 por ciento de vacunación en vez de erradicación, sería preciso pagar un subsidio anual de \$47,6 millones a los productores de la región en forma perpetua.*

Subsidio adicional requerido para la segunda etapa de erradicación

Es preciso continuar con el subsidio a la vacunación de \$47,6 millones anuales durante los primeros dos años de la segunda fase del programa, con el fin de mantener el nivel de vacunación en 90 por ciento mientras se ejecuta simultáneamente la matanza de los animales enfermos y sus contactos.

* Sin embargo, es difícil sugerir la manera en que habría que implementar el subsidio, ya que para ello sería necesario conocer más a fondo las facilidades con que se cuenta para vacunación en las fincas (p.e., mangas, bretes) que no son las mismas para todas las fincas, así como el mecanismo de decisión de los productores. Una alternativa sería la de subsidiar el precio de la vacuna; otra, es la de ofrecer la aplicación de la vacuna gratuitamente y cobrar sólo el costo de la vacuna.

Con respecto al subsidio asociado con la actividad de matanza, éste debe cubrir todo el costo del programa, ya que ésta es una actividad de "todo o nada" que no se emprendería privadamente. El pago de compensación por los animales sacrificados en el quinto y sexto año del proyecto equivale a más del 95 por ciento del subsidio requerido para la segunda etapa* (ver Cuadro 8).

Las cifras suministradas más arriba permiten obtener un orden de magnitud del costo de un programa de subsidio. Los fondos requeridos para esta política podrían ser obtenidos mediante una política de impuestos, de la siguiente forma: se obtendría un préstamo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) o del Banco Mundial por el monto total del subsidio, y posteriormente se pondría un impuesto a las ventas de carne para amortizar el préstamo. Se puede demostrar que todos los productores podrían quedar en mejor situación que antes. En realidad, también habrían efectos de redistribución del ingreso como resultado de esta política; por ejemplo, los terratenientes podrían capitalizar todos los beneficios esperados en la forma de un aumento en el valor de la tierra. También habría una redistribución del ingreso desde los consumidores a los productores debido al aumento en el precio interno de la carne (ver Figura 5).

Actualmente se utilizan dos tipos de política en la lucha contra fiebre aftosa en América Latina: programas de vacunación obligatoria y acción directa del gobierno (p.e., vacunación por profesionales contratados por el gobierno), que no se atienen al mecanismo de mercado.

Implicaciones dinámicas del modelo

Durante años, los epidemiólogos han observado e intentado explicar la presencia de ciclos en la incidencia de enfermedades contagiosas, en términos de variables biológicas y epidemiológicas. Aquí se argumenta que además de los ciclos en la incidencia de las enfermedades, es posible predecir, con base en un razonamiento económico, los ciclos en el nivel de vacunación y por lo tanto, también en la incidencia, tal como se ilustra a continuación.

Como se explicara en la sección de análisis de los retornos privados a la vacunación con ayuda de la Figura 8, a medida que aumenta el nivel de vacunación regional disminuye el nivel de vacunación deseado en la finca como resultado de una disminución en la probabilidad de brote **

La dinámica del sistema puede describirse en forma similar al conocido "teorema de la telaraña"***, ya que el ajuste del nivel de vacunación regional es rezagado en el tiempo por lo menos en cuatro meses (que es la distancia entre ciclos de vacunación). En las Figuras 11a y 11b se ilustran dos casos diferentes.

* El valor presente del subsidio total requerido para la segunda etapa es de \$1.736 millones.

** Precisamente este es el fenómeno de externalidad que se presenta en el control de este tipo de enfermedad.

*** Véase Henderson y Quandt (1971), p.142.

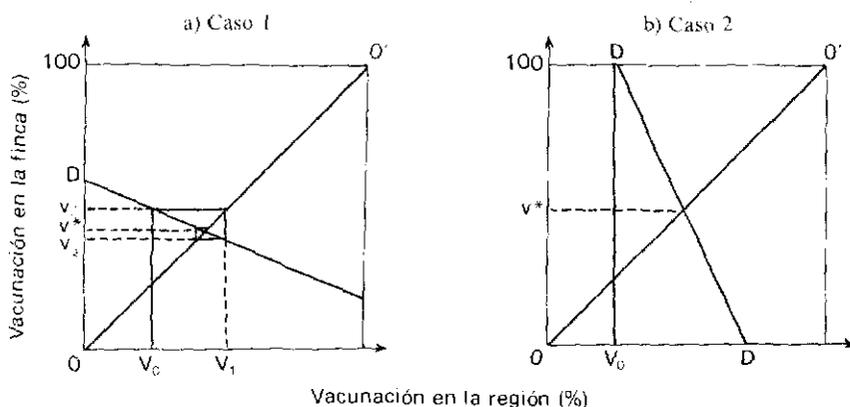


Figura 11. La dinámica del nivel de vacunación

En la Figura 11a, el valor absoluto de la elasticidad de la curva DD en la sección relevante es mayor que uno (que es la elasticidad de la diagonal $O'O'$). Supongamos que el nivel de vacunación regional inicial es V_0 ; luego el nivel deseado de vacunación por las fincas es v_1 . Si todas las fincas aplican esta cobertura en un próximo ciclo de vacunación, el nivel regional de vacunación subiría a V_1 , donde $V_1 = v_1$. Con ello, disminuiría la probabilidad de brote, hasta que cada productor vería como rentable reducir su cobertura a v_2 . Si todas las fincas actúan de esta forma, el nivel de vacunación regional disminuiría hasta V_2 ($V_2 = v_2$), que es un nivel intermedio entre V_0 y V_1 . El nivel de vacunación seguirá fluctuando a través del tiempo hasta converger a un nivel de equilibrio de largo plazo, v^* , que es el óptimo privado encontrado anteriormente.

En el caso de la Figura 11b, que es similar al obtenido en este estudio, el valor absoluto de la elasticidad de la curva DD en el tramo relevante es menor que uno. Aunque opera el mismo mecanismo descrito para el caso anterior, no hay convergencia hacia el nivel de equilibrio*.

En ambos casos se predice un patrón cíclico del comportamiento de la vacunación, basado en el comportamiento económico de los productores. Esta hipótesis sería relevante en la explicación de los ciclos en la incidencia de enfermedades, en los casos en que la incidencia es sensible a variaciones en el nivel de vacunación. La presencia de ciclos tanto en la incidencia como en el nivel de vacunación en casos de vacunación voluntaria, ha sido documentada para la enfermedad de Newcastle en aves en Gran Bretaña**, y para fiebre aftosa en Alemania Occidental antes de 1964***.

En consecuencia, del análisis anterior se derivan dos preguntas relevantes: 1) Es la incidencia de la enfermedad hipersensible a cambios en el nivel regional de vacunación

* Ello es así a menos que el sistema se encuentre inicialmente en v^* , pero ésta sería una posición de equilibrio inestable.

** Comunicación personal del Dr. G.H. Bennet, M.A.F.F., Gran Bretaña (junio de 1976).

*** J. New (1976).

y 2) Es necesario aplicar un nivel constante de vacunación agregada con el fin de controlar epidemias? De ser así, ésto tiene interesantes implicaciones de política económica, como puede ser la necesidad de políticas anticíclicas con respecto de la vacunación para lograr la erradicación.

Conclusiones

El modelo de simulación desarrollado en este estudio probó ser útil para la evaluación *ex-ante* del control de fiebre aftosa en una región endémica, como es la costa norte de Colombia. El marco general utilizado es relevante para una gran variedad de situaciones de la ganadería en el mundo, donde la enfermedad es endémica. Obviamente, los parámetros epidemiológicos, biológicos y los costos y precios apropiados deben ser estimados para cada caso particular.

La metodología utilizada reconoce;

1. explícitamente, el comportamiento epidemiológico de la enfermedad, pero desde el punto de vista estático de largo plazo;
2. que existen varias estrategias posibles de control de la enfermedad que pueden ordenarse por grado de intensidad de control;
3. que cada estrategia tiene un impacto diferente sobre la producción y los ingresos del sector ganadero;
4. la presencia de externalidades entre fincas de una región pero que son a su vez internas a la industria ganadera de la región;
5. que existen diferentes mecanismos de incentivos para inducir una mayor intensidad de control, si bien sólo se analiza en detalle el caso de subsidios a la vacunación (y a la matanza de animales enfermos en el caso de que la meta sea erradicación).

La evaluación realizada indica claramente que el nivel óptimo de control esperado con la toma de decisiones descentralizada es menor que el nivel socialmente deseable. La estrategia óptima es la erradicación pero este resultado depende fundamentalmente de que se asegure el acceso al mercado libre de aftosa. De no ser así, conviene llegar a un 90 por ciento de cobertura con vacunación sistemática, aunque los beneficios son mucho menores.

En cambio, el nivel privado óptimo de control evaluado para la región de estudio fue 70 por ciento de vacunación. Sin embargo, se espera que este nivel sea substancialmente inferior si los costos de vacunación son mayores y/o el impacto epidemiológico de la enfermedad es menor que lo considerado en el análisis. Actualmente se puede observar que el nivel de vacunación agregada en el área de estudio no excede de 40 por ciento, a pesar de la presencia en la zona de una campaña

financiada contra fiebre aftosa que intenta hacer cumplir vacunación compulsoria. Ello puede ser una indicación de que los ganaderos pueden no tener toda o la misma información disponible que la utilizada en el trabajo, y que por lo tanto observan menores beneficios privados. Alternativamente es posible que se hayan subestimado los costos de vacunación y/o que se sobreestimen los parámetros epidemiológicos. Por lo tanto, la brecha esperada entre la estrategia óptima privada y social puede ser bastante mayor que la consignada más arriba.

En conclusión, la metodología desarrollada en este estudio permite hacer una evaluación económica de las diversas alternativas que existen para combatir fiebre aftosa en áreas endémicas. Además, este tipo de metodología permite determinar qué parámetros requieren ser estimados con mayor precisión. Se ha evaluado la hipótesis de externalidades, y a partir de ella se ha formulado la hipótesis de la existencia de ciclos en el nivel de vacunación bajo competencia perfecta. Esta es una consecuencia dinámica del modelo, que podría probarse en el futuro en forma empírica, con información acerca del comportamiento de la incidencia de la fiebre aftosa a través del tiempo e información paralela acerca del nivel de vacunación.

APENDICE

Cuadro A.1. **Tamaño de la población bovina en la región por edad y tipo de operación***.

1. Fincas de cría

Vacas	1.500.000
Ternereras (0-1 año)	410.000
Terneros (0-1 año)	440.000
Novillas (1-2 años)	400.000
Novillas (2-3 años)	396.000
Novillos (1-2 años)	430.000
	<hr/>
Sub-total	3.576.000

2. Fincas de levante

Novillos (2-3 años)	421.400
---------------------	---------

3. Fincas de ceba

Novillos (3-4 años)	<u>412.972</u>
Total	<u>4.410.372</u>

* Este es el hato regional estabilizado obtenido con base en un pie de cría de 1,5 millones de vacas.

Fuente: Rubinstein (1977), Tablas F.1 a F.7.

Cuadro A.2. Beneficios anuales de políticas diseñadas para alcanzar la estrategia de control socialmente óptima (expresados como porcentaje del ingreso anual sin aftosa del sector ganadero)¹.

Estrategia socialmente óptima	Año (t)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	porcentaje								
Erradicación:									
Caso 1 ²	0,14	0,14	0,14	0,14	-	-	2,3	14,3	→
Caso 2 ³	2,80	2,80	2,80	2,80	-	-	5,0	17,0	→
90% de vacunación:									
Caso 1 ⁴	0,14	0,14	→						
Caso 2 ⁵	2,80	2,80	→						

1. El ingreso anual del sector ganadero neto de costos variables fue estimado en \$4.988 millones utilizando el modelo de simulación.
2. Beneficios brutos de pasar de 70 por ciento de vacunación a erradicación.
3. Beneficios brutos de pasar de 40 por ciento de vacunación a erradicación.
4. Beneficios brutos de pasar de 70 a 90 por ciento de vacunación.
5. Beneficios brutos de pasar de 40 a 90 por ciento de vacunación.

Fuente: Rubinstein (1977), Cuadro H.41.

Cuadro A.3. Beneficios privados netos anuales de vacunación con un subsidio de \$12 por cabeza vacunada -una finca típica (miles de \$ Col., precios de 1975).

Nivel de vacunación en la finca (%)	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.

REFERENCIAS CITADAS

1. AYCARDI, E.R. y MORALES, G.A. (1975) Un modelo epidemiológico para fiebre aftosa endémica en áreas tropicales. Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical. Programa de Ganado de Carne. (mimeo).
2. BECKER, G.S. (1971) Economic theory. New York. Alfred A. Knopf.
3. BECKLUND, W. (1962). Helminthiasis in Georgia cattle; a clinical and economic study. *American Journal of Veterinary Research* 34(94):510-515.
4. BEVERIDGE, W. (1960). Economics of animal health. *Veterinary Record* 72(40):810-815.
5. CUMMING, J.N. (1964) An estimate of costs to the sheep industry due to blowflies and parasites. *Quarterly Review of Agricultural Economics* 12(4):197-206.
6. DAVIS, O. y KAMIEN, M. (1971) Externalities, information and alternative collective action. In Haveman y Margolis, eds. *Public expenditures and policy analysis*. Chicago, Mackham Publishing Co.
7. ELLIS, P. (1970) An economic evaluation of the swine fever eradication program in Great Britain. University of Reading. Department of Agriculture. Study no. 11.
8. ENGLAND. Ministry of Agriculture and Fisheries. (1969) Report of the committee of inquiry on foot-and-mouth disease. Parts I and II., 1968. London, H.M.S.O.
9. FREIRE DE FARIA, J. (1970) Campaña contra fiebre aftosa en Brasil: resultados y beneficios. In —. *Fiebre aftosa y otras zoonosis*. Washington, D.C., Organización Panamericana de la Salud.
10. HARBERGER, A. (1972) Project evaluation. *Collected papers*. London, MacMillan.
11. HENDERSON, J. y QUANDT, R. (1971). *Microeconomic theory, a mathematical approach*. 2 ed. New York, McGraw Hill.
12. HUGH-JONES, M.E., ELLIS, P.R. and FELTON, M.R. (1975) An assessment of the eradication of bovine brucellosis in England and Wales. University of Reading. Department of Agriculture and Horticulture. Study no. 19.
13. JOHNSTON, J. (1975) Public policy on cattle tick control in N.S.W. *Review of Marketing and Agricultural Economics* 43(1):3-39.

14. ——— y MASON, G. (1973) A cost-benefit study of alternative policies in the control or eradication of the cattle tick in N.S.W. N.S.W. Department of Agriculture. Division of Marketing and Economics. (mimeo).
15. MCGORDON, H. (1967) The economics of gastro-intestinal parasites of sheep. World protein hunger: the role for animals. s.l., Merck and Co.
16. MEYER AREVALO, C. (1962) Posible impacto de la fiebre aftosa en la economía de los países centroamericanos y Panamá. San Salvador, OIRSA.
17. MINNET, F. (1952) The costs of foot-and-mouth disease. *Empire Journal of Experimental Agriculture* 20(77):23-24.
18. MORRIS, R. (1975) The integration of economics and epidemiological methods in the study of animal disease. Victoria, Australia, University of Melbourne. School of Veterinary Science.
19. MORROW, D. (1966) Analysis of herd performance and economic results of preventive dairy herd health programs. Part II. *Veterinary Medicine* 61:577-582.
20. NEW, J. (1976) Western European experience as a basis for epidemic foot-and-mouth disease estimates. Minneapolis, University of Minnesota. 5p.

Trabajo presentado al International Symposium on New Techniques in Veterinary Epidemiology and Economics. University of Reading, 1976. (mimeo).
21. PETERSON, W. (1968) Returns to foot-and-mouth disease vaccination in South America: beef cattle (Preliminary estimates). Minneapolis, University of Minnesota. Department of Agricultural and Applied Economics. (mimeo).
22. POWER, A. y HARRIS, S. (1973) A cost-benefit evaluation of alternative control policies for foot-and-mouth disease in Great Britain. *Journal of Agricultural Economics* 24(3):573-597.
23. RUBINSTEIN, E.M. de (1977) The economics of foot-and-mouth disease control and its associated externalities. Ph.D. Thesis. Minneapolis, University of Minnesota. Department of Economics. (sin publicar).
24. SALCES, F. (1967) La lucha contra la fiebre aftosa en la República Argentina. *Gaceta Veterinaria* 29:442-444.
25. SCHEFFLER, R. y LIPSCOMB, J. (1974) The consumption and investment benefits of disease programs. *Growth and Change* 5(3):8-16.
26. VILLEGAS, M. (1969) Consideraciones zoeoconómicas sobre algunas enfermedades animales en las Américas. Caracas, Venezuela, Ministerio de Agricultura y Cría. (mimeo).
27. WEISBROD, B. (1971) Costs and benefits of medical research. A case study of poliomyelitis. *In* University of Chicago. *Aldine Annual 1971. Benefit-cost analysis.* pp.142-159.