

## IMPLICACIONES ECONÓMICAS DE UNA VACUNA DIFERENCIAL PARA LA FIEBRE AFTOSA

María Auxiliadora Olivares  
Departamento de Matemáticas, Universidad Paris 1 Pantheon Sorbonne  
Mario Andres Fernandez  
Governance and Policy Team, Landcare Research New Zealand

### Resumen

Fecha de Recepción: 28 de Marzo del 2015 – Fecha de aprobación: 6 de Mayo del 2015

*La fiebre aftosa es una de las enfermedades zoonóticas con los impactos económicos más altos y las tasas de contagio más rápidas. Existen diferentes estrategias para controlar los brotes de fiebre aftosa, por ejemplo el sacrificio de los animales infectados y la vacunación. Sin embargo, las diferencias económicas y sociales del uso de estas estrategias son enormes. El desarrollo e introducción de las vacunas diferenciales entre animales infectados y vacunados (DIVA por sus siglas en inglés) y sus pruebas de diagnóstico, representarían un avance científico que cambiaría la forma de las campañas de erradicación así como el comportamiento de los mercados de productos cárnicos. Las vacunas DIVA hacen posible la vacunación masiva de la población animal susceptible, sin comprometer la identificación serológica de los animales convalecientes. El objetivo de este artículo es presentar una descripción de las implicaciones económicas de la introducción de una vacuna DIVA tanto para los países actualmente libres de fiebre aftosa como los países donde la fiebre aftosa endémica. Para el Ecuador, dada la importante inversión en los últimos años para declarar al país libre de aftosa, las vacunas DIVA abren la posibilidad de controlar brotes que eviten el cierre de mercados internacionales.*

**Palabras claves:** Análisis costo beneficio, enfermedades zoonóticas, bioseguridad, medidas de respuesta.

### Abstract

*Foot and mouth disease (FMD) is one of the zoonotic diseases with the highest economic impacts and fastest transmission rates. There are different strategies to control outbreaks of FMD, for example the slaughter of infected animals and vaccination. However, the economic and social differences of the use of these strategies are enormous. The development and introduction of the vaccines capable of differentiating between infected and vaccinated animals (DIVA vaccines), and other diagnostic tests, would represent a scientific breakthrough that would change the design of eradication campaigns as well as the behavior of the markets of meat products. DIVA vaccines make it possible the massive vaccination of the susceptible animal population, without compromising the convalescent animals' serological identification. The aim of this article is to present an overview of the economic implications of the introduction of a DIVA vaccine for countries that are currently free of FMD as well for FMD-endemic countries. In the case of Ecuador, given the significant investment in recent years to declare the country FMD-free, DIVA vaccines open the possibility to control outbreaks that exclude the country from international markets.*

**Keywords:** Cost-benefit analysis, zoonotic diseases, biosecurity, response measures.

## 1. Introducción

La fiebre aftosa es una de las enfermedades zoonóticas con los impactos económicos más altos y las tasas de contagio más rápidas. Existen diferentes estrategias para controlar los brotes de fiebre aftosa, por ejemplo el sacrificio de los animales infectados y la vacunación. Sin embargo, las diferencias económicas y sociales del uso de estas estrategias son enormes. Esto se demostró durante el brote de fiebre aftosa en el Reino Unido en el 2001, el cual tuvo efectos devastadores en las industrias ganaderas y turísticas del país, costando al menos 10 mil millones de dólares e incurriendo en el sacrificio de casi 6 millones de bovinos (Junker, Komorowska, y van Tongeren, 2008). Esto trajo cambios significativos en los patrones de comercio internacional dado que el Reino Unido fue excluido del comercio internacional de productos cárnicos y animales vivos hasta que se demostrara el final del brote.

En el mismo año Uruguay también sufrió un brote de fiebre aftosa. Uruguay tenía una población bovina del mismo tamaño a la del Reino Unido, además del mismo número aproximado de ganado infectado. Sin embargo, mientras el Reino Unido utilizó sacrificio masivo, Uruguay utilizó masivamente la vacunación para asistir la campaña de erradicación y sólo necesitó sacrificar 6,937 animales. El costo directo del brote Uruguay fue de \$13 millones y con un impacto económico total de menos de \$400 millones (Animal Health Australia 2015). De allí se

comprobó que el rol de la vacunación dentro de las estrategias costo-efectivas contra un brote de fiebre aftosa no es trivial.

Las estrategias de control de brotes consisten en una combinación de políticas de exclusión, sacrificio, vacunación y serovigilancia. De allí que para una adecuada priorización de la inversión en las capacidades de respuesta es necesario conocer el grado de sustitución entre las diversas estrategias (Elbakidze y McCarl, 2006). En particular, se utiliza la vacunación ya sea como una alternativa de control periódica o como una medida de respuesta de emergencia. Sin embargo, la vacunación ha tenido una importancia limitada debido a que los esquemas actuales de vacunas y pruebas de diagnóstico no tienen la capacidad de diferenciar entre animales vacunados de aquellos que están infectados. Esto implica que los animales aún vacunados deban sacrificarse para erradicar el brote. Por otro lado, entre los requisitos para que un área sea considerada libre de fiebre aftosa, si la erradicación se efectúa sin el uso de vacuna, se debe demostrar que no se ha registrado ningún brote durante los últimos doce meses. Mientras que, si ocurre la erradicación con el uso de vacuna, deben transcurrir al menos 2 años sin brotes de infección. Dado que un brote de fiebre aftosa implica el cierre de los mercados de exportación, el hecho que un país se considere como libre de la enfermedad, sin haber empleado la vacunación, trae importantes ventajas económicas (OIE, 2006).

El desarrollo e introducción de las vacunas diferenciales entre animales infectados y vacunados (DIVA por sus siglas en inglés) y sus pruebas de diagnóstico, representarían un avance científico que cambiaría la forma de las campañas de erradicación así como el comportamiento de los mercados de productos cárnicos. Las vacunas DIVA hacen posible la vacunación masiva de la población animal susceptible, sin comprometer la identificación serológica de los animales convalecientes. Se ha aplicado con éxito para la pseudorrabia y la influenza aviar, y se ha propuesto su uso en la fiebre aftosa (Pasick, 2004). Dado que una estrategia de vacunación convencional significaría una larga prohibición de las exportaciones, y no descarta el sacrificio masivo de animales, con enormes pérdidas resultantes, entonces una estrategia con vacunas DIVA para poner fin rápidamente a un brote tendría sentido científico y económico. (Foord, Muller, Meng, Lin-Fa, y Hans, 2007; McLeod y Rushton, 2007).

El objetivo de este artículo es presentar una descripción de las implicaciones económicas de la introducción de una vacuna DIVA tanto para los países actualmente libres de fiebre aftosa como los países donde la fiebre aftosa endémica. Para el Ecuador, dada la importante inversión en los últimos años para declarar al país libre de aftosa, se abre la posibilidad de un brote que lo excluya del comercio internacional y sea necesaria la configuración de las medidas de respuestas, así como de investigación y desarrollo, que

probablemente involucraría el uso de vacunas DIVA.

El artículo se organiza como sigue. La sección 2 describe el papel de la vacunación como parte de las estrategias para el control de brotes de fiebre aftosa. La sección 3 presenta algunas implicaciones económicas para el uso de los nuevos esquemas de vacunas tanto en los países actualmente libres de fiebre aftosa como de los países donde la enfermedad es endémica. La sección 4 concluye.

## 2. El Rol de la Vacunación en el Control y la Erradicación de la Fiebre Aftosa

La vacunación contra los brotes de fiebre aftosa toma una de las siguientes formas: (i) en anillo, cuando el ganado que rodea el rebaño infectado es vacunado, (ii) de barrera, cuando se vacuna el ganado en una zona donde la enfermedad se está extendiendo; y, (iii) de supresión cuando todo el ganado dentro de las regiones en riesgo es vacunado (DEFRA, 2010). Todas estas formas la vacunación sirve como parte de una respuesta de control integral para el restablecimiento y protección de una zona libre de la enfermedad, y para reducir los niveles de incidencia en las zonas donde la fiebre aftosa es endémica.

En los últimos 25 años en Brasil, Argentina y Uruguay, la vacunación ha ayudado a limitar el número de focos primarios, rompiendo la transmisión del virus, impidiendo una mayor propagación

y reduciendo la incidencia del estado de portador (Hunter, 1998). Botswana experimentó un brote de perineumonía contagiosa bovina (PCB) en la década de 1990, y la estrategia seguida consistió en sacrificar animales e indemnizar a los productores. El objetivo era asegurar el rápido restablecimiento de los mercados de exportación a la Unión Europea, aunque una estrategia que incluyera la vacunación habría costado un 22% menos que la estrategia de sacrificio e indemnización (McLeod y Leslie, 2001). Para el Reino Unido, modelos de riesgo sugieren que la vacunación reduciría el número de animales a ser sacrificados entre un 15% a 50%. Esta cifra depende si acaso la interrupción de las exportaciones se limita a las regiones afectadas por el brote, donde el costo asociado con el tiempo hasta erradicar la enfermedad, bajo una política de vacunación, se reduce sustancialmente (Risk Solutions, 2005). A pesar de su efectividad como medida preventiva en el corto plazo, las estrategias de vacunación son dominadas en el largo plazo por las estrategias que involucran el sacrificio de rebaños. Esto se debe a que los esquemas convencionales de vacunación no diferencian entre animales infectados de los vacunados, lo cual lleva a la pérdida del estatus de país libre de aftosa, y a la restricción del acceso a los mercados de exportación (Rich & Winter-Nelson, 2007). Sin embargo, debido a los altos costos económicos y la controversia asociada con las estrategias de sacrificio, ha surgido un renovado interés en la vacunación. Luego del brote del

2001 en el Reino Unido, se ha dado un cambio cultural en contra del sacrificio masivo de animales, y se ha observado desde entonces que las estrategias de erradicación y control tienden a incorporar la exclusión y la vacunación (Foord, Muller, Yu, Wang, y Heine, 2007). Un Análisis de Costo Beneficio para el estado de Victoria, en Australia, demuestra que los costos de la erradicación y de cierre de mercados de una estrategia combinada de sacrificio y vacunación son inferiores a los costos de estrategias que utilizan sólo el sacrificio de los rebaños infectados y en riesgo (Abdalla, Beare, Cao, Garner, y Heaney, 2005). No obstante, la vacunación continua puede no ser sostenible debido al alto costo cuando se trata de asegurar una cobertura completa sobre toda la población de ganado, y la necesidad de vacunar contra todas las cepas circulantes del virus (McLeod y Rushton, 2007).

En términos prácticos, para que la vacunación sea efectiva, ésta debe ser obligatoria y su administración debe ser sistemática, repetida y controlada, donde al menos el 80% de los bovinos de más de 4 meses de edad sean vacunados (Hunter, 1998). De esta manera la vacunación, por tanto, ayuda a mantener los medios de subsistencia, puesto que minimiza el sacrificio de ganado en países donde la compensación adecuada no está disponible; minimiza la resolución de conflictos sociales, éticos y legales; y reduce las consecuencias en otros sectores vinculados a la ganadería, por ejemplo el turismo (McLeod y Rushton, 2007).

Sin embargo, una de las mayores preocupaciones todavía sin resolver es que la vacunación facilita la propagación de la infección no detectada ya que los animales vacunados con los esquemas actuales no pueden distinguirse de los animales infectados. Entonces, el sacrificio usualmente involucra a todos los rebaños que han tenido contacto con los infectados, aumentando los costos de respuesta. Aunque las estrategias de vacunación se han utilizado para minimizar los brotes de control, la cuestión clave a partir de ahora es la capacidad de diferenciar con precisión y fiabilidad entre el ganado vacunado y el infectado. Es así que el enfoque básico de las vacunas DIVA es agregar epítopos inmunológicos a las vacunas de tal manera que permita el diseño de pruebas de diagnóstico diferenciales (Nature Biotechnology, 2007). Estas pruebas se basan en la detección de anticuerpos contra proteínas no estructurales que sólo se producen en los animales infectados, pero no en los vacunados. Este sistema hace posible la vacunación masiva de una población animal susceptible, sin comprometer la identificación serológica de las personas convalecientes (DEFRA, 2010).

Como ventajas de la vacuna DIVA se ha mencionado que no se opone a los diagnósticos serológicos de un rebaño o a nivel individual. Esto permite la aplicación de estrategias combinadas de vacunación y erradicación en las áreas donde la fiebre aftosa es endémica, donde los índices de prevalencia e incidencia pueden ser identificados

y estudiados en una población vacunada. Además, la efectividad de la estrategia de vacunación se puede evaluar en condiciones de campo, y acorta los períodos de cierre de mercado en caso de vacunaciones de emergencia (van Oirschot, 1999).

Dado que la vigilancia robusta es parte importante para confirmar el final de un brote, luego de un periodo sin casos positivos y habiéndose utilizado vacunas DIVA, podría demostrarse que la vacunación ha tenido éxito en la erradicación y permitiría que los animales vacunados completen su ciclo de producción. Sin embargo, en la actualidad no hay pruebas DIVA internacionalmente reconocidas para su uso en cualquiera de las especies de ganado, aunque la OIE ha aceptado el principio de su uso para la vigilancia serológica (DEFRA, 2010). Se estima que el uso completo y aceptado de las pruebas DIVA se generalizará en los próximos años.

### 3. Implicaciones Económicas

Tan pronto se confirma un brote de fiebre aftosa, un país es excluido del comercio internacional de productos animales no procesados o de animales vivos, aunque es posible exportar productos procesados bajo tratamiento térmico (OIE, 2006). Sin embargo, declarar que un país está libre de la enfermedad cuando se aplica la vacunación, aunque pueda demostrarse que no hay ninguna enfermedad clínica, no se considera equivalente a estar libre de la enfermedad sin haber aplicado la vacunación. Es decir, la vacunación se puede utilizar para controlar

un brote, pero con el tiempo debe ser retirada y el área monitoreada durante algún tiempo antes de que las exportaciones se restablezcan (McLeod y Rushton, 2007).

La rapidez con la cual un país recupera su estatus de libre de fiebre aftosa es variable y depende de cuánto lleve erradicar la enfermedad y las estrategias de control utilizadas. Dicho estatus puede recuperarse de las siguientes formas (i) en tres meses después del último caso, si se aplica el sacrificio de los animales en las instalaciones infectadas y contactos peligrosos. (ii) En tres meses después del sacrificio del último animal vacunado, si la erradicación incluyó el sacrificio de rebaños infectado, en riesgo y vacunados, la vigilancia serológica y la vacunación de emergencia. (iii) En seis meses después del último caso positivo o de la última vacunación aplicada (el que sea más reciente), donde el sacrificio no es generalizado y la vigilancia serológica demuestra la ausencia de infección en la población vacunada (DEFRA, 2010). Es así que la duración media de un brote varía entre 17 y 73 semanas (Abdalla, Beare, Cao, Garner, y Heaney 2005).

Dado que el estatus de país libre de la enfermedad agrega valor a los productos de origen animal y la vacunación DIVA reduciría la necesidad del sacrificio masivo, entonces existen incentivos económicos a adoptar el esquema DIVA dentro de las medidas de respuesta ante brotes (Mason & Grubman, 2009). Más aún, el uso de la vacuna DIVA eliminaría las barreras

no arancelarias al comercio de ganado y productos de origen animal, porque la amenaza de la enfermedad es atenuada y la oportunidad para medidas proteccionistas desaparece (Nature Biotechnology, 2007). Sin embargo, incluso si se utilizara las vacunas DIVA y se observaran los tiempos de espera necesarios para reabrir las exportaciones, una proporción del público preferiría no consumir carne de animales vacunados. En tal caso, la industria sufriría pérdidas equivalentes o hasta mayores que los costos mismos del brote. De allí que sea improbable que la vacunación mitigue completamente las perturbaciones del mercado provocadas por el miedo de los consumidores. Es aquí que la información adecuada y pertinente en caso de un brote permite a los consumidores tomar decisiones más informadas y de alguna manera mitigar sus consecuencias en el mercado. Estas consideraciones y los efectos de mitigación de la introducción de una vacuna DIVA deben equilibrarse con los beneficios del control de la enfermedad mediante la vacunación (DEFRA, 2010).

#### **Implicaciones en países actualmente libres de fiebre aftosa**

Supóngase un brote de tamaño considerable y que las normas de la OIE son menos estrictas en relación con la vacuna DIVA en comparación con los actuales esquemas de vacunación. Es decir, los animales vacunados con esquemas DIVA no tienen que ser sacrificados y puede ser exportados una vez finalice el brote. Dado que los esquemas

actuales implican también el sacrificio de animales, el esquema DIVA facilitaría la repoblación donde las inversiones de recuperación son relativamente más bajas.

El costo económico del brote depende de la proporción de la producción nacional afectada y del tiempo para restablecer las exportaciones. Supóngase dos contextos para los tomadores de decisiones, primero, el sacrificio es obligatorio con el fin de reanudar rápidamente las actividades comerciales; y, segundo, el sacrificio no es obligatorio. En ambos casos, otras medidas de respuesta, como las políticas de vacunación y de zonificación, se pueden implementar. Ambas posibilidades implican diferentes resultados en términos de precios y cantidades de equilibrio y cambios en el bienestar. Para este problema, el esquema de vacunación DIVA se introduce para observar sus implicaciones.

La Figura 2 representa el mercado de productos animales a nivel doméstico y para exportación. En el panel (a)  $S_e$  representa la oferta y  $D_e$  la demanda en el país exportador, lo cual genera la curva de exceso de oferta, ES. La oferta y demanda en el país importador son  $S_i$  y  $D_i$ , respectivamente, lo cual lleva a la demanda en exceso ED. El precio de equilibrio, antes del brote, es  $p_0$  donde el volumen exportado es  $q_e - q_d$ . Una vez ocurre un brote en el país exportador, los mercados internacionales se cierran automáticamente. De allí que la cantidad exportada se queda en el mercado doméstico y llevaría a un equilibrio interno a un precio  $p^*$

y cantidad  $q^*$ . El país exportador incurre en el sacrificio de los animales infectados, aquellos que tuvieron contacto de riesgo, y probablemente de los vacunados (aunque se demuestre que no desarrollan la enfermedad). El número de animales sacrificados dependerá si el sacrificio es obligatorio o no, en el tamaño del brote, la distribución de la enfermedad y la implementación de otras medidas de respuesta.

En la Figura 2 (a), el sacrificio obligatorio implica un desplazamiento negativo de la curva de oferta desde  $S_e$  hacia  $S_M'$  o  $S_M''$ . En cambio, el sacrificio no obligatorio describiría varios casos, primero, un desplazamiento negativo de la oferta aunque presumiblemente de magnitud inferior al sacrificio obligatorio; segundo, ningún cambio en la oferta; o, tercero, incluso un aumento de la producción disponible a nivel doméstico lo que llevaría un desplazamiento hacia  $S_{NM}'$  o  $S_{NM}''$ . Con fines de análisis se considera este último caso.

$S_M'$  representa la curva de oferta bajo sacrificio obligatorio y vacunación DIVA, lo cual comparado con  $S_M''$ , refleja un cambio menos severo ya que todos los animales vacunados bajo esquemas actuales deben sacrificarse.  $D_e''$  representa la curva de demanda que refleja el temor de los consumidores. Sin embargo, hay un efecto de mitigación debido a la vacuna DIVA el cual ayudaría a que la curva de la demanda solo se mueva hasta, por ejemplo  $D_e'$ . Se tiene por tanto que  $q_{NM}' > q^* \geq q_{NM}'' \geq q_M' > q_M''$ , lo cual puede generalizarse a todos los cambios en demanda y oferta

bajo los esquemas de sacrificio y vacunación. Sin embargo, la relación de precios con respecto a  $p^*$  no es clara en caso de sacrificio obligatorio, lo cual depende del tamaño de los desplazamientos y las elasticidades de oferta y demanda. Bajo sacrificio no obligatorio, se tiene que  $p^* \geq p_{NM}$  para todos los cambios de las curvas de oferta y demanda.

En términos de bienestar para el país importador, en el panel (c), debido al brote los productores domésticos ganan ahora el equivalente al área  $a + b$ , mientras los consumidores pierden el área  $a + b + c$  debido al precio interno más alto. La pérdida neta en el país importador es el área  $c$ . Sin embargo, esto se revertiría si hubiera otros países exportadores con productos sustitutos.

Bajo sacrificio obligatorio (Figura 3-a), en el país exportador las consecuencias del brote no son sólo sobre animales orientados a exportación sino también en aquellos para el mercado doméstico, por lo cual la cantidad final disponible es  $q_M'' < q_M' < q^*$  y los precios de equilibrio son tal que  $p^* < p_0$  pero la relación es ambigua entre  $p^*, p_M'$  and  $p_{NM}''$ .

En la Figura 3 sólo las líneas solidas especifican áreas geométricas que representan cambios en el bienestar. En el panel (a) los cambios en bienestar, debido al brote, para el consumidor corresponde a  $c-(a+b)$ , y para el productor es  $-(c+d+e+f+g+i+j)$ . Para un brote significativo ambos cambios son negativos. Sin embargo, la introducción de una vacuna DIVA

mitigaría los cambios negativos de las curvas de oferta y demanda. En este caso, panel (b), los cambios en bienestar para el consumidor es el área  $s-r$ , y para el productor es el área  $-(s+t+u+v+x+y+z)$ . Se tiene entonces que el excedente del productor luego del brote y cuando la vacuna DIVA está disponible, área  $w$ , es mayor que el excedente cuando la vacuna no está disponible, área  $h$ . Para los consumidores se tiene que  $c-(o+r) < s-r$ , dado que  $o+r=a+b$ , es decir, la pérdida para los consumidores es mitigada si la vacuna DIVA contribuye a la introducción segura de productos animales en la cadena de suministro.

Para el caso de sacrificio no obligatorio, este es más selectivo en los animales a ser sacrificados en cualquier periodo. Suponiendo que esto implica desplazamientos a  $S_e''$  y  $D_e''$  (Figura 4-a). El equilibrio se logra tal que  $p_{NM}'' < p^* < p_0$  pero no es claro si para todos los casos  $q_{NM}'' < q^*$ . El cambio en bienestar para los consumidores es el área  $d+j-a$  y para los productores es  $i-(b+c+d)$  el cual es usualmente negativo. Bajo el esquema DIVA, Panel (b), dado que un menor número de animales es sacrificado, el cambio positivo de la curva de oferta a  $S_e'$  es al menos tan grande como en el caso previo. Al mismo tiempo, el efecto negativo en la curva de demanda se mitiga, y el equilibrio se da en la cantidad  $q_{NM}''$  tal que  $q_{NM}'' < q_{NM}'' < q_e$  y al precio  $p_{NM}''$ . Sin embargo, no puede generalizarse que  $p_{NM}'' < p_{NM}'$ . Los cambios en el bienestar para los consumidores es el área  $r+s+w+x$  y para los productores es  $v-(r+s+t)$ .

En resumen, los correspondientes cambios para los esquemas de sacrificio y vacunación se presentan en la Tabla 1. Pueden estimarse y

compararse con el fin de identificar la combinación costo-efectiva de medidas preventivas y de respuestas en caso de un brote.

**TABLA 1**  
Cambios en el Bienestar por Sacrificio y Esquemas de Vacunación

	Sacrificio obligatorio	Sacrificio no obligatorio
Actual	Figura 3 (a) EC: $c-(a+b)$ EP: $-(c+d+e+f+g+i+j)$	Figura 4 (a) EC: $d+j-a$ EP: $i-(b+c+d)$
DIVA	Figura 3 (b) EC: $s-r$ EP: $-(s+t+u+v+x+y+z)$	Figura 4 (b) EC: $r+s+w+x$ EP: $v-(r+s+t)$

CS: excedente del consumidor  
PS: excedente del productor

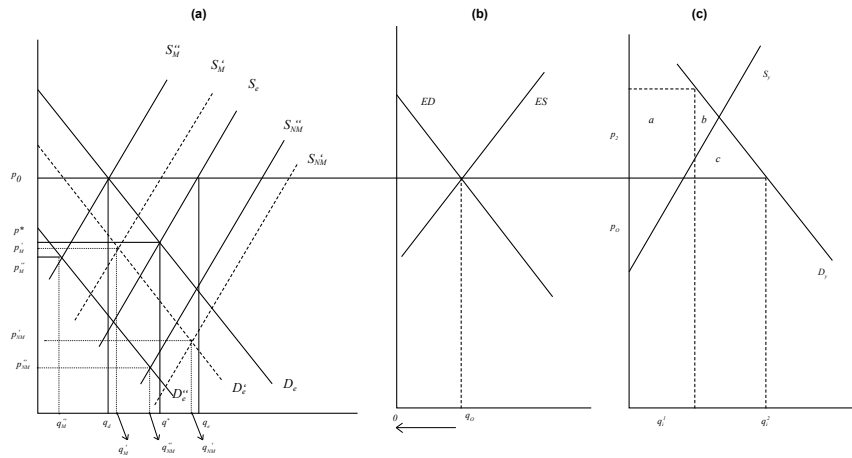
La Figura 5 presenta las trayectorias de ajuste en el precio asumiendo que son función continua del tiempo. Cada trayectoria muestra el tiempo transcurrido hasta recuperar el precio inicial  $p_0$  el cual representa que las restricciones de comercio han sido levantadas. De la Figura 2 (a) supóngase que  $q^M < q^{NM}$ , es decir, la cantidad disponible una vez ocurrió el sacrificio obligatorio es menor que bajo sacrificio no obligatorio, entonces  $p^M > p^{NM}$  para todos los casos y antes de que el proceso de ajuste se inicie. Además, dado que el sacrificio obligatorio implica que las restricciones de comercio se levantarán más temprano, entonces  $t^M < t^{NM}$ . Al introducir la vacuna DIVA, un número de escenarios surge. Suponga que la OIE es favorable a la vacuna DIVA, entonces puede darse el caso que el tiempo para recuperar

el comercio internacional será más corto de tal manera que  $t_D^M < t^M$ , si no es así entonces  $t_D^M > t^M$ , donde  $t_D^M$  es el tiempo transcurrido hasta recuperar las exportaciones bajo sacrificio obligatorio y utilizando la vacunación DIVA. Hay una situación similar para el sacrificio no obligatorio. Una de las situaciones que pudieran surgir es si  $t_D^M \geq t_D^{NM}$ , es decir, el tiempo transcurrido para recuperar el acceso a mercados internacionales no es significativamente diferente entre esquemas de vacunación DIVA con sacrificio obligatorio o no obligatorio. La Tabla 2 presenta otras comparaciones probables. Las últimas dos filas representan si las distancias entre los precios equilibrios luego del brote son significativos. Estas diferencias son resultado de los desplazamientos de las curvas de oferta y demanda en las Figuras 3 y 4.

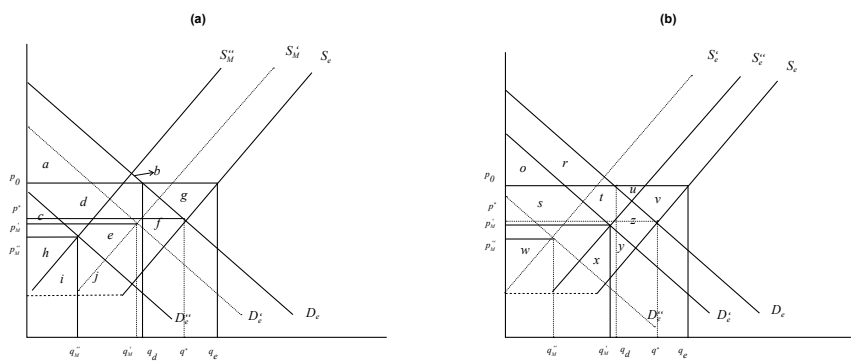
**TABLA 2**  
Tiempo hasta el Restablecimiento de las Exportaciones

Estrategias de Sacrificio y Vacunación	
$t_D^M \leq t^{NM}$	Sacrificio obligatorio vs. sacrificio no obligatorio
$t_D^M \leq t^M$	Sacrificio obligatorio y vacunación DIVA vs. sacrificio obligatorio
$t_D^M \leq t_D^{NM}$	Sacrificio obligatorio vs. sacrificio no obligatorio y vacunación DIVA
$t_D^M \geq t^{NM}$	Sacrificio obligatorio y vacunación DIVA vs. Sacrificio no obligatorio
$t_D^{NM} \leq t^{NM}$	Sacrificio no obligatorio y vacunación DIVA vs. Sacrificio no obligatorio
$t_D^{NM} \geq t^M$	Sacrificio no obligatorio y vacunación DIVA vs. sacrificio obligatorio y vacunación DIVA
$P_0 - P_M^D \geq P_0 - P_M$	
$P_0 - P_{NM}^D \geq P_0 - P_{NM}$	

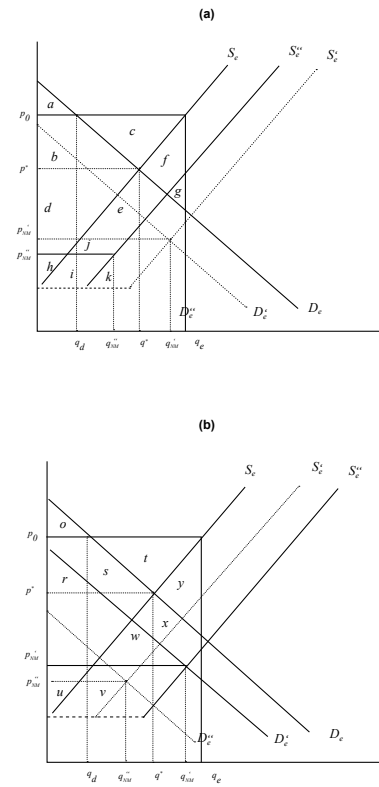
**FIGURA 2**  
Cambios en el Mercado debido al Brote de Fiebre Aftosa



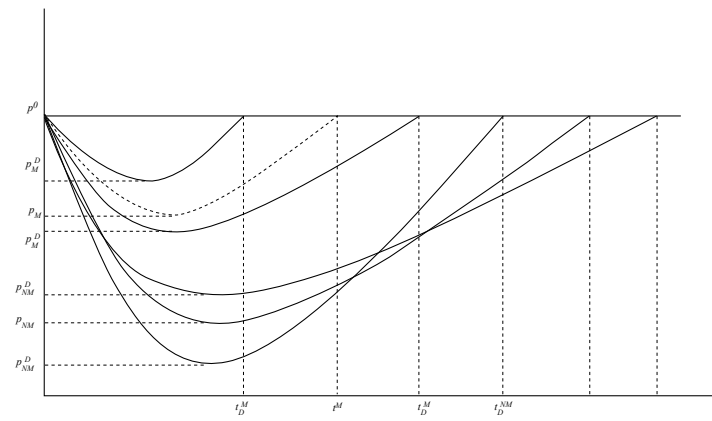
**FIGURA 3**  
Cambios en el Bienestar bajo Sacrificio Obligatorio: (a) Esquema actual de vacunación, (b) Esquema de vacunación DIVA



**FIGURA 4**  
Cambios en el Bienestar bajo Sacrificio No Obligatorio: (a) Esquema actual de vacunación, (b) Esquema de vacunación DIVA



**FIGURA 5**  
Trayectorias de Ajuste en los Precios



## Implicaciones Económicas para Países donde la Fiebre Aftosa es Endémica

En los países en desarrollo se estima que 600 millones de personas, o el 70% de los pobres en zonas rurales, dependen de la ganadería. Para muchas comunidades en ambientes áridos, los animales de granja son la principal fuente de alimentos e ingresos, además de servir como un medio tradicional de ahorro (Conway y Jeff, 2010). Por tanto, la erradicación de la fiebre aftosa en estos países a través de las estrategias de sacrificio es inviable. Las estrategias de sacrificio en gran escala son perjudiciales para los medios de subsistencia de los pequeños productores que dependen del flujo de caja regular de su ganado. En pequeños rebaños, cierto nivel de riesgo es aceptado y los brotes ocasionales se los toman como parte normal de la producción. De allí que en los países donde la mayoría de los productos ganaderos se dirigen al consumo interno, y no hay ninguna posibilidad de exportar dado que la fiebre aftosa es endémica, podría existir un interés en el uso de la vacunación DIVA.

Dado que las campañas de vacunación se implementan por largos períodos con el fin de garantizar la erradicación de la enfermedad, entonces los cambios en la oferta de los productores se dan en el largo plazo e incorporando expectativas de la apertura de los mercados internacionales con precios más altos al del mercado doméstico. En el largo plazo asumimos que los factores

fijos tienen distintos grados de maleabilidad y determinan el cambio desde una curva de costo marginal a otra. Sin embargo, en términos de políticas, debe considerarse que una región de producción tradicional y fragmentada puede tener pocos incentivos para erradicar la enfermedad debido a problemas de coordinación y las divergencias entre los beneficios privados y sociales en las acciones de prevención y respuesta (Hennessy, 2007).

La Figura 7 muestra un productor con una curva de costo marginal  $S_1$  que opera inicialmente en  $p_0$ . Supóngase que debido a la erradicación de la fiebre aftosa, hay la expectativa de un incremento en el precio recibido por el productor de  $p_0$  a  $p_1$ . El aumento en el excedente del productor corresponde al área  $a$ . En un periodo siguiente, el productor ajusta una parte de sus factores fijos e incurre en inversiones en capacidad de tal manera que se da un desplazamiento hacia la derecha en el corto plazo hacia  $S_1'$  y un aumento en la producción a  $q_2$  para el segundo periodo. Sin embargo, el desplazamiento desde la posición inicial ( $p_0, q_0$ ) describe un costo marginal intermedio o curva de oferta  $S_2$  correspondiente a los ajustes en el tiempo de las posibilidades de producción. Los costos totales de los ajustes incurridos para aumentar la producción desde  $q_0$  a  $q_2$  corresponden al área bajo  $S_2$ , es decir,  $d+e+h+i+k+l$ . El cambio en el bienestar del productor en el segundo periodo (observado desde el inicio del primer periodo) es dado por el excedente intermedio del productor, correspondiente al área  $a+b+c$ , es

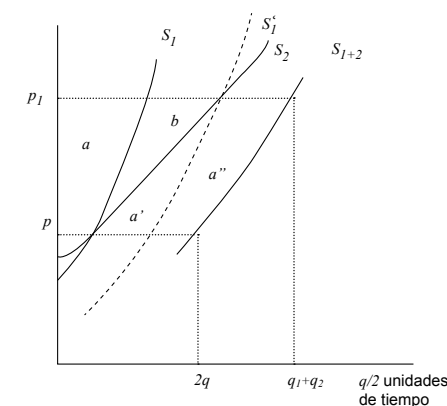
decir, el aumento en ingresos, área  $a+b+c+d+e+h+i+k+l$ , menos los costos totales del ajuste (los costos variables en los dos periodos), área  $d+e+h+i+k+l$ . Por tanto, el cambio total en el bienestar para el productor, en los dos periodos, es la suma de los excedentes en los plazos diferentes (observados desde el punto inicial en el tiempo) sobre los plazos de producción afectados.

En la Figura 7, el cambio en el bienestar de los productores es la suma de la variación del excedente correspondiente a  $S_1$  en el primer periodo (área  $a$ ) y el cambio en el excedente correspondiente a  $S_2$  en el segundo periodo, que es el área  $a+b+c$ . Generalizando, el cambio en el bienestar de los productores se determina calculando el cambio en el excedente del productor correspondiente a la curva de oferta de un periodo para el primer periodo, la curva de oferta de dos periodos para el segundo periodo, la curva de oferta de tres periodos para el tercer periodo, y así sucesivamente.

Hay que notar que para la Figura 7, en primer lugar, el eje horizontal mide cantidades para un único periodo de tiempo, independientemente de la curva de oferta representada y, en segundo lugar, la curva de oferta  $S_2$  no es factible aun cuando las inversiones se inicien inmediatamente en el primer periodo. Esto se debe a que  $S_1$  representa el mínimo costo marginal obtenible durante el primer periodo. La curva de oferta o de costo marginal apropiado que se aplica sobre el intervalo de los dos periodos corresponde a la suma horizontal de

las curvas de oferta  $S_1$  y  $S_2$ , es decir,  $S_{1+2}$ . Para la Figura 8 el eje horizontal mide la cantidad sobre los dos periodos. El cambio en el excedente del productor, área  $a+b+a'+a''$  con la agregación temporal adecuada proporciona una medición de los cambios en el bienestar de los productores debido al cambio en precios de  $p_0$  a  $p_1$ .

FIGURA 8  
Cambios en el Bienestar por Aumento de Precios y Apertura de los Mercados de Exportación – Agregación Temporal



## 4. Discusión

Este trabajo presenta algunas implicaciones económicas de la introducción de una vacuna DIVA como un avance tecnológico, mediante la adopción de la perspectiva de recuperar o ganar estatus comercial internacional. Dado que la mejora económica ha sido el resultado de la aplicación del conocimiento en las actividades productivas y existe una correlación explícita entre las capacidades científicas y tecnológicas de un país y

su desempeño económico, la vacuna DIVA representa cambios positivos en los procesos de producción para los productores de ganado, con efectos sobre los mercados y sectores económicos.

Diversos estudios han demostrado, a través de simulaciones de epidemias de fiebre aftosa influenciadas por brotes previos, que las estrategias relacionadas a la no vacunación generan menos costos económicos en comparación a la vacunación preventiva anual del ganado. Particularmente, los costos indirectos asociados a la pérdida de los productores, consumidores y gobierno son más altos en la situación con vacunación, debido al tiempo de espera transcurrido para declarar al área como libre de aftosa. Sin embargo, al realizar un análisis de sensibilidad sin considerar este factor de espera, el peso favorable de ambas estrategias se revierten, mostrándose más atractiva la situación de vacunación anual. (Berentsen, Dijkhuizen, Oskam, 1991). En este sentido, este estudio muestra similares resultados en cuanto a la comparación entre erradicación del ganado o vacunación preventiva de fiebre aftosa. Sin embargo, al introducir la vacuna DIVA, los efectos negativos sobre el bienestar del productor y el consumidor son atenuados por los incentivos económicos relacionados a la vacuna.

Para los países libres de fiebre aftosa, balancear los costes de las medidas de respuesta, como el sacrificio obligatorio o no obligatorio,

se modifica cuando el tamaño de la despoblación se reduce debido a la capacidad de diferenciación entre animales infectados y vacunados. En estudios de simulación sería una vía de investigación interesante comparar cambios en el bienestar de los productores y consumidores al considerar la duración de cierre de mercado y los efectos de una vacuna DIVA. Para los países donde la fiebre aftosa es endémica la situación varía enormemente. Dado que la mayoría de la producción de ganado se dirige a los mercados nacionales o regionales donde los precios son más bajos que en los más grandes, entonces la introducción de la vacuna DIVA abre la posibilidad de obtener el estatus de país libre de fiebre aftosa sin incurrir en sacrificio masivo, sobre todo porque la vacunación en este caso no enmascara la propagación de la enfermedad y permite la construcción de la información epidemiológica con respecto a los niveles de incidencia y prevalencia. Dado que las campañas de erradicación suelen tener largos periodos de tiempo, los productores forman expectativas con respecto a altos sobreprecios y las inversiones necesarias que se harán.

Some limitations of this paper relate to the non-inclusion of effects on other markets as well as the cooperation from producers has not been analyzed, the only assumption made is that introduction of DIVA vaccine helps to mitigate negative shocks on demand. Plus, implementation costs and uncertainty on eradication campaigns are not included in the analysis for FMD-endemic countries. Plus, there is a strong assumption

about OIE and importing markets acceptability of the DIVA vaccine, implying that vaccinated animals are still subject to trade and other non-tariff barriers are not enforced.

## Referencias

Abdalla, A., Beare, S., Cao, L., Garner, G., & Heaney, A. (2005). Foot and Mouth Disease: Evaluating Alternatives for Controlling a Possible Outbreak. Canberra: ABARE.

APHIS Veterinary Services. (2007, March). Foot-and-Mouth Disease Vaccine. Factsheet .

Blackman, A. (1999). The Economics of Technology Diffusion: Implications for Climate Policy in Developing Countries. Discussion Paper 99 - 42 .

Conway, G., & Jeff, W. (2010). Science and Innovation for Development. UK Collaborative on Development Sciences.

DEFRA. (2010). Vaccination as a Control Tool for Exotic Animal Disease - Key Considerations.

Douthwait, B., Keatinge, J., & Park, J. (2002). Learning selection: an evolutionary model for understanding, implementing and evaluating participatory technology development. *Agricultural Systems* , 72, 109-131.

Elbakidze, L., & McCarl, B. A. (2006). Animal Disease Pre Event Preparedness versus Post Event Response: When is it Economic to

Protect? *Journal of Agricultural and Applied Economics* , 38 (2), 327-336.

Finkelstein, A. (2004). Static and Dynamic Effects of Health Policy: Evidence from the Vaccine Industry. *The Quarterly Journal of Economics* , 119 (2), 527-564.

Foord, A. J., Muller, J. D., Meng, Y., Lin-Fa, W., & Hans, G. H. (2007). Production and application of recombinant antibodies to foot-and-mouth disease virus non-structural protein 3ABC. *Journal of Immunological Methods* , 321, 142-151.

Foord, A. J., Muller, J. D., Yu, M., Wang, L.-F., & Heine, H. G. (2007). Production and application of recombinant antibodies to foot-and-mouth disease virus non-structural protein 3ABC. *Journal of Immunological Methods* , 321, 142-151.

Guidelines. (2007, April). North American Foot and Mouth Disease Vaccine Bank .

Hagel, J., & Brown, J. (2005). From push to pull -emerging models for mobilizing resources. Working Paper, October, 2005.

Hennessy, D. A. (2007). Behavioral incentives, equilibrium endemic disease, and health management policy for farmed animals. *American Journal of Agricultural Economics* , 89 (3), 698-711.

Hsu, J. C., & Schwartz, E. S. (2008). A model of R&D valuation and the design of research incentives. Insurance: Mathematics and Economics , 43, 350-367.



- Hunter, P. (1998). Vaccination as a means of control of foot-and-mouth disease in sub-saharan Africa . *Vaccine* , 16 (2-3), 261-264.
- Jorgenson, D. W., & Griliches, Z. (1967). The Explanation of Productivity Change. *The Review of Economic Studies* , 34 (3), 249-283.
- Junker, F., Komorowska, J., & van Tongeren, F. (2008). Impact of Animal disease Outbreaks and Alternative Control Practices on Agricultural Markets and Trade: The case of FMD. OECD publishing.
- Just, R. E., Hueth, D. L., & Schmitz, A. (2004). *The Welfare Economics of Public Policy: A Practical Approach to Project and Policy Evaluation*. Edward Elgar Publishing Co.
- Mansfield, E. (1961). Technical Change and the Rate of Imitation. *Econometrica* , 29, 741-765.
- Mason, P. W., & Grubman, M. J. (2009). Foot-and-Mouth Disease. In A. D. Barrett, & L. R. Stanberry (Eds.), *Vaccines for Biodefense and Emerging and Neglected Diseases* (pp. 361-377). Elsevier Ltd.
- McLeod, A., & Leslie, J. (2001). Socio-economic impacts of freedom from livestock disease and export promotion in developing countries. *Livestock Policy Discussion Paper No. 1*. Rome: Food and Agriculture Organization.
- McLeod, A., & Rushton, J. (2007). Economics of Animal Vaccination. *Revue Scientifique et Technique* , 26 (2), 313-326.
- Meuwissen, M., Horst, S., Huirne, R., & Dijkhuizen, A. (1999). A model to estimate the financial consequences of classical swine fever outbreaks: principles and outcomes. *Preventive Veterinary Medicine* , 42 (3-4), 249-270.
- Muller, J. D., Wilkins, M., Foord, A. J., Dolezal, O., Yu, M., Heine, H. G., et al. (2010). Improvement of a recombinant antibody-based serikigucak assay for foot-and-mouth disease virus. *Journal of Immunological Methods* , 352, 81-88.
- Nature Biotechnology. (2007). Stop the cull. Editorial.
- OIE. (2006). Retrieved September 26, 2010, from [http://www.oie.int/eng/info/en\\_fmd.htm](http://www.oie.int/eng/info/en_fmd.htm)
- Olmstead, A. L. (2009). The First Line of Defense: Inventing the Infrastructure to Combat Animal Diseases. *The Journal of Economic History* , 69 (2), 327-357.
- Pasick, J. (2004). Application of DIVA vaccines and their companion diagnostic tests to foreign animal disease eradication. *Animal Health Research Reviews* , 5 (2), 257 - 262.
- Petroski, H. (1994). *The Evolution of Useful Things*. New York: Vintage Books USA.
- Rich, K. M., & Winter-Nelson, A. (2007). An integrated epidemiological-economic analysis of foot and mouth disease: applications to the southern cone of South America. *American Journal of Agricultural Economics* , 89 (3), 682-697.
- Risk Solutions. (2005). *Cost Benefit Analysis of Foot-and-Mouth Disease Controls*. A Report for the Department of Food and Rural Affairs. Retrieved October 9, 2010, from <http://www.defra.gov.uk/foodfarm/farmanimal/diseases/atoz/fmd/control/policy.htm>
- Sassenrath, G., Heilman, P., Luschei, E., Bennett, G., Fitzgerald, G., Klesius, P., et al. (2008). Technology, complexity and change in agricultural production systems. *Renewable Agriculture and Food Systems* , 23 (4), 285-295.
- Van Oirschot, J. (1999). Diva vaccines that reduce virus transmission. *Journal of Biotechnology* , 73, 195-205.
- Whiting, T. (2006). Welfare Slaughter of Livestock in Emergency Situations. *The Canadian Veterinary Journal* , 47 (8), 737.
- Código Sanitario para los animales terrestres 2014. Organización Mundial de Sanidad Animal.
- Berentsen. P.B.M., Dijkhuizen, AA., Oskam., A.J. (1992). A dynamic model for cost-benefit analysis of foot-and-mouth disease control strategies. *Preventive Veterinary Medicine*, 12 (1992), 229-243.