



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS  
AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**UNIDAD ZACATENCO**

**“Análisis multidimensional de la evaluación  
en salud porcina en países en desarrollo”**

**T E S I S**

Que presenta

**AIDÉ ZAVALA CORTÉS**

Para obtener el grado de

**DOCTORA EN CIENCIAS**

**EN DESARROLLO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO  
PARA LA SOCIEDAD**

Directores: Dr. José Víctor Calderón Salinas  
Dr. Fabián Fernández Luqueño

Ciudad de México

ENERO, 2020

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA  
EN PAÍSES EN DESARROLLO

## AGRADECIMIENTO

A las instituciones que me financiaron durante la realización de mi doctorado: El Consejo de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav) Unidad Zacatenco.

Para la elaboración de esta tesis, se contó con una Beca del Conacyt, bajo el número de subvención 455208 AZC.



## Agradecimientos

Las siguientes líneas expresan un profundo y especial agradecimiento a todos los que han contribuido en mi formación y en el desarrollo de este trabajo doctoral. Primeramente, expreso mi más profundo agradecimiento a Dios, por la bendición que has depositado en mi vida, por la ayuda y las fuerzas que me has dado para terminar esta etapa en mi vida. Quiero agradecer a mi hermosa familia: mi esposo Ramón Reyes por su apoyo y comprensión, a mi papá Javier Zavala y a mi mamá Raquel Cortés por sus oraciones, su apoyo incondicional y su guía en cada fase de mi vida, a mis hermanas quienes también han apoyado mis decisiones.

Al Dr. José Víctor Calderón Salinas, por su contribución en mi formación profesional, por sus constantes enseñanzas, conocimientos, experiencias compartidas a lo largo de los últimos años, por sus consejos y consultas brindadas, por la dirección de esta tesis, así como también por la paciencia para el logro de este proyecto. En especial al Dr. Gerardo Hernández García, por su enorme contribución en el desarrollo de la metodología para el análisis de la salud porcina, presentada en este trabajo. Al Dr. Fabián Fernández Luqueño, por su orientación y sugerencias para la realización de esta tesis; al Dr. Edgar Záyago Lau por todos sus conocimientos y asesorías que me aportó para la consecución de esta tesis; a la Dra. Cecilia Bañuelos Barrón por sus valiosos consejos y asesorías sobre las implicaciones de la ciencia y la tecnología en la sociedad; al Dr. Miguel Ángel Pérez Angón por su orientación y enseñanzas en el campo de la cienciometría; al Dr. José Juan Lozano Nuevo, por sus comentarios en epidemiología y análisis estadísticos; y a la Dra. América Padilla Viveros por sus asesorías en materia de análisis y política de patentes.

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

Agradezco al personal administrativo del Doctorado en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad por su apoyo para la realización de esta tesis a lo largo del proyecto doctoral: Sonia Elizabeth Solórzano Frías, Miguel Sosa, Claudia Barbosa Fernández.

A todos mis compañeros del DCTS, quienes me apoyaron con sus conocimientos y consejos. Con quienes diserté el tema de tesis y quienes se preocupaban por la conclusión de esta.

Finalmente, te expreso mi agradecimiento y dedicación con estas líneas mi Señor Jesús:

Tú me has traído hasta aquí,  
No mis fuerzas, sino tú  
Por eso toda mi gratitud a ti, Señor  
¿Quién sino tú, ha sido el refugio, la guía, y la esperanza?  
¿Quién sino tú, calmó mi sed?  
¿Quién sino tú, has sido el sustento?  
Señor, que por siempre eres fiel  
Quien puso sus sueños en mi corazón  
Quien construyó con sus manos mi vida y plantó la semilla, tejió mis ideas  
¿Quién sino tú? que por siempre eres fiel  
Tu viento ha soplado con poder y verdad  
Hasta donde bien me quieras llevar, que en mí hable tu voz, brille tu vida y vengan tu  
justicia y tu paz  
Hoy te doy el honor y la gloria, pues tú eres mi inspiración.  
(Adaptado de Santiago Benavides)

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA  
EN PAÍSES EN DESARROLLO

---

## Contenido

<b>Índice de figuras</b> .....	<b>9</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>10</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>13</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>14</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>15</b>
Problemática y Justificación .....	18
Objetivos .....	20
Objetivo general .....	20
Objetivos particulares.....	20
Hipótesis.....	20
Preguntas de investigación.....	21
Estructura del trabajo .....	21
<b>Capítulo 1. Marco teórico</b> .....	<b>23</b>
1.1 Importancia de la evaluación de la salud porcina .....	23
1.2 Vigilancia epidemiológica .....	24
1.2.1 Alcance y cobertura geográfica de la vigilancia epidemiológica .....	26
1.3 Evaluación de riesgos.....	28
1.4 Análisis de costos de enfermedades.....	28
1.5 Análisis de dinámicas epidemiológicas y clústeres espaciotemporales.....	29
1.6 Conceptualización de evaluación de salud en esta tesis .....	30
1.7 Consideraciones finales del capítulo.....	31
<b>Capítulo 2. Contexto productivo de la porcicultura</b> .....	<b>33</b>
2.1 Producción mundial de carne de cerdo .....	33
2.2 Variables económicas en países en desarrollo y Estados Unidos .....	34
2.3 Características de la producción porcina en América Latina.....	37
2.4 Consideraciones finales del capítulo.....	39
<b>Capítulo 3. Bionanotecnología en la porcicultura</b> .....	<b>41</b>
3.1 Biotecnología, nanotecnología y bionanotecnología .....	41
3.2 Antecedentes científico-tecnológicos .....	43
3.3 Análisis bibliométrico y de patentes de bionanotecnología porcina.....	46
3.4 Tópicos y tendencias de la bionanotecnología porcina.....	46
3.5 Consideraciones finales del capítulo.....	46

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA  
EN PAÍSES EN DESARROLLO

<b>Capítulo 4. Propuesta metodológica de la tesis</b> .....	<b>55</b>
4.1 Diseño metodológico .....	56
4.2 Análisis y estructura de datos.....	56
4.3 Índice de salud porcina M $\mu$ L .....	57
4.4 Clasificación de patógenos.....	61
4.5 Distribución espaciotemporal de enfermedades .....	62
4.6 Consideraciones finales al capítulo.....	62
<b>Capítulo 5. Índice de salud porcina M<math>\mu</math>L</b> .....	<b>65</b>
5.1 Panorama de salud 2000-2018 .....	65
5.2 Análisis de incidencia de enfermedades reportadas.....	66
5.3 Análisis multidimensional.....	69
5.4 Análisis espaciotemporal de las cuatro principales enfermedades reportadas.....	72
5.5 Categorización de ocurrencia epidemiológica y tendencias de enfermedades .....	74
5.6 Consideraciones finales al capítulo.....	75
<b>6. Discusión</b> .....	<b>77</b>
<b>7. Conclusiones</b> .....	<b>81</b>
<b>8. Perspectivas</b> .....	<b>83</b>
<b>9. Anexos</b> .....	<b>85</b>
9.1 Metodológicos.....	85
9.1.1 Metodología de análisis bibliométrico y de patentes.....	85
9.1.2 Criterios de inclusión y exclusión .....	87
9.1.3 Recolección y análisis de datos .....	88
9.2 Criterio estadístico de determinación de rangos aceptable y crítico para morbilidad porcina.....	88
9.3 Contribuciones Académicas.....	90
9.3.1 Artículos .....	90
9.3.2 Congresos .....	90
9.3.3 Actividades de política alimentaria .....	90
9.3.4 Capítulos de libro.....	91
<b>Referencias bibliográficas</b> .....	<b>93</b>



## Índice de figuras

Figura 1. Distribución porcentual de producción de carne de cerdo (promedio 2000-2018).....	33
Figura 2. Crecimiento anual promedio de la producción y consumo per cápita, el comercio y los precios de la carne de cerdo en 2000-2017.....	34
Figura 3. Patentes relacionadas con biotecnología y nanotecnología porcina en los Estados Unidos desde 1900 hasta 2018. ....	48
Figura 4. Patentes (a) y publicaciones científicas (b) de bionanotecnología porcina en Argentina, Brasil, Chile and México 1980 a 2018.....	49
Figura 5. Patentes de bionanotecnología y publicaciones científicas sobre bionanotecnología en torno a la producción porcina.....	52
Figura 6. Esquema del proceso metodológico .....	55
Figura 7. Representación gráfica de morbilidad (M), mortalidad ( $\mu$ ) y pérdidas (L) (Figura a), que muestra límites de la triada [aceptable (M, $\mu$ , L), intermedio y crítico (M', $\mu'$ , L')] (Figura b).....	59
Figura 8. Representación gráfica de posibles combinaciones de la triada [morbilidad (M), mortalidad ( $\mu$ ) y pérdidas (L)].....	60
Figura 9. Incidencia de enfermedades por unidades epidemiológicas de las dieciséis enfermedades reportadas de 2005-2018.....	66
Figura 10. Incidencia de enfermedades en unidades epidemiológicas afectadas por ASF (a), FMD (b), CSF (c) y PRRS (d).....	67
Figura 11. Incidencia (casos) de las principales enfermedades en los mayores productores porcinos de Asia (a), América y Europa (b), de 2005 a 2018.....	68
Figura 12. Incidencia (casos en millones) y tasa de pérdidas de enfermedades en los mayores países productores a nivel mundial (2005-2018).....	69
Figura 13. Distribución espaciotemporal de las cuatro enfermedades porcinas con mayor afectación en 2005-2008, 2009-2013 y 2014-2018 (a), análisis multidimensional de salud porcina en los mayores productores mundiales (b) y acercamiento de datos $<0.003$ , $0.065$ (c). ....	57
Figura A 1. Digrama de caja y bigotes de morbilidad observados en países de estudio.....	89
Figura A 2. Histograma de frecuencias de rangos de morbilidad observados en países de estudio...	89

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA  
EN PAÍSES EN DESARROLLO

**Índice de tablas**

Tabla 1. Intercambio comercial de carne de cerdo en Argentina, Brasil, Chile y México.....	38
Tabla 2. Clasificación de biotecnologías en la porcicultura y sus beneficios .....	45
Tabla 3. Índice M $\mu$ L con posibles combinaciones, valor cunitativo e impacto.....	60
Tabla 4. Clasificación de patógenos porcinos por tipo de riesgo.....	61
Tabla 5. Índice de salud porcina en los principales productores porcinos .....	70
Tabla 6. Evaluación de las enfermedades de mayor afectación con el índice M $\mu$ L .....	72
Tabla 7. Categorías de alerta epidemiológica y tendencias de enfermedades.....	74
Tabla A 1. Algoritmos para las búsquedas de patentes.....	85
Tabla A 2. Algoritmos para las búsquedas bibliométricas.....	86
Tabla A 3. Clasificaciones de pantes incluidas y excluidas .....	87

# ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

## Siglas y definiciones empleadas

<b>SIGLAS</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
ASF	Peste porcina africana (por sus siglas en inglés)
CPC	Clasificación Cooperativa de Patentes (por sus siglas en inglés)
CSF	Peste porcina clásica (por sus siglas en inglés)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (por sus siglas en inglés)
FMD	Fiebre Aftosa (por sus siglas en inglés)
IPC	Clasificación Internacional de Patentes (por sus siglas en inglés)
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OIE	Organización Mundial de Salud Animal (por sus siglas en inglés)
PRRS	Síndrome reproductivo y respiratorio porcino (por sus siglas en inglés)
USPTO	Oficina de Patentes de los Estados Unidos de Norte América (por sus siglas en inglés)
<b>DEFINICIONES</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
<i>a</i>	Estado aceptable.
Animales sacrificados	Aunque el sacrificio se refiere a todo procedimiento que provoca la muerte de un animal por sangrado, en este trabajo se entiende por sacrificio o animal sacrificado, al sacrificio sanitario de cerdos para eliminar un brote, que es efectuado bajo vigilancia de la autoridad veterinaria por la presencia o sospecha de animales afectados o expuestos a una infección por contacto directo o indirecto con el agente patógeno (1).
Animales destruidos	Eliminación de los animales muertos o de los productos de origen animal, según el caso, por transformación, incineración o enterramiento (1).
<i>b</i>	Estado intermedio.
Bienestar animal	Se refiere al estado físico y mental de un animal en relación con las condiciones en las que vive y muere (1).
Bioseguridad	Conjunto de medidas físicas y de gestión diseñadas para reducir el riesgo de introducción, radicación y propagación de las enfermedades, infecciones o infestaciones animales hacia, desde y dentro de una población animal (1).
Brote	Presencia de uno o más casos en una unidad epidemiológica (1).
<i>c</i>	Estado crítico.
Caso	Animal infectado por un agente patógeno, con o sin signos clínicos manifiestos (1).
Enfermedad de declaración obligatoria	Enfermedad incluida en la lista de la OIE y cuya presencia debe ser reportada a dicha organización en cuanto se detecta o se sospecha su existencia, de conformidad con la reglamentación nacional (1).
EU	Unidades epidemiológicas: es la terminología usada por la OIE (2019) para referirse al sitio de ocurrencia de un brote, en el que una

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

	piara (granjas, traspatio, pueblos, rastros y obradores) con relación epidemiológica y aproximadamente la misma probabilidad de exposición a un agente patógeno, sea porque comparten el mismo espacio o porque pertenecen a la misma explotación (1).
Hato	Conjunto de animales de ganado porcino.
Incidencia	Número de casos nuevos ocurridos en el periodo considerado.
L	Pérdidas animales (el Banco mundial (2011) utiliza el concepto “losses” para referirse a todos los animales muertos, sacrificados y destruidos. En este trabajo se incorpora el cálculo de la letalidad total por enfermedad y periodo).
M	Morbilidad (suma de animales diagnosticados por las enfermedades reportadas en el periodo/stock total del periodo).
$\mu$	Mortalidad (suma de animales muertos, sacrificados y destruidos por las enfermedades reportadas en el periodo/stock total del periodo).
Piara	Conjunto de animales, en este caso cerdos, que se crían juntos bajo el control humano.
Pienso	Se refiere al alimento para animales, elaborado con materias simples o compuestas, semi elaborado o crudo
Población	Grupo animales que viven en un lugar determinado, también es utilizado para definir a un conjunto de unidades delimitadas geográficamente o que comparten una característica definida (1).
Población susceptible	Número de animales en la población considerada que poseen las condiciones necesarias para desarrollar una infección (1).

Parte de estas definiciones fueron tomadas del glosario del Código Sanitario para los Animales Terrestres de la OIE (2019).

## Resumen

La producción porcina mundial contribuye con un tercio de la producción cárnica mundial, las economías de escala y el comercio. Los países en desarrollo contribuyen con más del 60% a la producción mundial de carne de cerdo. Las enfermedades son el principal problema que enfrenta la industria porcina moderna, especialmente dadas las condiciones de crecimiento y alta densidad animal que imperan en las granjas de producción intensiva, afectando la estabilidad y la productividad, e incidiendo en la economía regional y la seguridad alimentaria. Los países en desarrollo, principalmente los asiáticos, se han visto afectados por enfermedades de gran impacto epidemiológico, económico y social, como la peste porcina africana, la peste porcina clásica, la fiebre aftosa y el síndrome respiratorio y reproductivo porcino. A pesar de ello, actualmente la evaluación del estado de salud porcino a nivel nacional y regional sigue siendo un desafío, dada la desarticulación de metodologías a gran escala (nacional o regional). Esta tesis propone una metodología multidimensional para evaluar el estado de la salud porcina, compuesta por variables epidemiológicas, económicas y sociales. Las variables epidemiológicas consideradas son morbilidad, mortalidad y tipo de patógenos; las económicas ponderan las pérdidas animales; y las sociales cuantifican los daños por tipo de unidad epidemiológica, a la vez que se proponen categorizaciones de impacto socioeconómico. Los resultados demostraron que la metodología multidimensional permite evaluar de manera más consistente la realidad epidemiológica local, nacional y regional del estado de salud porcina, en relación con las metodologías epidemiológicas individuales; aunado a ello, aportó comparaciones del impacto y tendencias de las enfermedades, lo cual coadyuva en la evaluación de las medidas de control y en la toma de decisiones en políticas de salud animal.

# ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

## *Abstract*

Global swine production contributes one third of world meat production, economies of scale and trade. Developing countries contribute more than 60% to global pork production. Diseases are the main problem faced by the modern pig industry, especially given the conditions of animal growth and high density that prevail in intensive production farms, affecting stability and productivity, and influencing the regional economy and food security. Developing countries, mainly the Asians, have been affected by diseases of great epidemiological, economic and social impact, such as African swine fever, classical swine fever, foot and mouth disease and porcine respiratory and reproductive syndrome. Despite this, the evaluation of the pig health state at the national and regional level is still a challenge, given the disarticulation of large-scale methodologies (national or regional). This thesis proposes a multidimensional methodology to assess the state of swine health, composed by epidemiological, economic and social variables. The epidemiological variables considered include morbidity, mortality and type of pathogens; the economic ones correspond to animal losses; whereas the social ones quantify damages by type of epidemiological unit, while categorizing socioeconomic impact. The results showed that the multidimensional methodology made possible to evaluate in a more consistent way, the local, national and regional epidemiological reality, as well as the state of swine health, than the individual epidemiological methodologies. Furthermore, it provided comparisons between diseases impact and trends. This work represents a potential contribution for the evaluation of control measures and decision making in animal health policies.

## **Introducción**

La producción de carne de cerdo tiene gran importancia en el mundo, ya que contribuye con la seguridad alimentaria, las economías agrícolas y el comercio (2). Su producción y consumo han tenido un importante crecimiento en países en desarrollo desde 1980 (3,4). Entre 2000 y 2018 los países en desarrollo produjeron 62% de la carne de cerdo a nivel mundial, Asia produjo 56% de la cual, China aportó el 46% y América Latina el 6% (5).

Las enfermedades infecciosas tienen el mayor impacto en la porcicultura de la región, afectan su estabilidad y productividad (2) e inciden en el estrato económico y la seguridad alimentaria (6). Aunado a ello, el cerdo es el tercer animal con mayor proporción de pérdidas a nivel mundial (7) y es un foco importante de enfermedades infecciosas a los humanos (8).

El análisis sanitario de poblaciones animales tiene sus bases en la vigilancia epidemiológica, que registra y describe la aparición y desarrollo de procesos patológicos con evaluaciones espaciotemporales, para establecer objetivos de control (9,10). Dicho análisis incluye la epidemiología descriptiva, la delimitación de objetivos a largo plazo y la toma de decisiones (11).

Por su parte, el análisis de riesgos es definido en la Ley Federal de Sanidad Animal (2007) como un estudio de evaluación de la probabilidad de entrada, establecimiento y difusión de enfermedades o plagas, así como de contaminación de los bienes de origen animal, con la estimación de su impacto económico y de ser necesario, la evaluación de las consecuencias para la salud humana. Este tipo de análisis parte de la identificación, evaluación, gestión y comunicación de riesgos, por medio de evaluaciones cuantitativas o cualitativas de probabilidad y magnitud del daño de enfermedades o plagas en un país, región o zona geográfica (12,13), lo que incluye la evaluación de consecuencias de la exposición de los animales a agentes biológicos o enfermedades específicas (12).

La evaluación de consecuencias de exposición a enfermedades según la OIE, reside en la descripción de la relación entre las condiciones de exposición a un agente biológico y las

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

consecuencias de dichas exposiciones, que pueden ser sanitarias, ambientales o económicas. Esta estimación analiza las consecuencias directas (pérdidas de producción por agentes patógenos o enfermedades animales, y consecuencias para la salud pública) e indirectas (gastos de vigilancia, control e indemnización, pérdidas comerciales y afectaciones al ambiente) (1).

En la estimación de las consecuencias directas, los indicadores epidemiológicos se consideran los criterios más importantes en la toma de decisiones (14) para establecer estrategias para el control de peligros, como lo son las enfermedades. Proponiendo análisis de multi-criterios en la toma de decisiones (MCDM), esta herramienta integra aspectos epidemiológicos, económicos y sociales, y es utilizada por Mourits y Oude (2006) para la generación de estrategias de cuarentena y control de enfermedades contagiosas, como la fiebre aftosa (FMD, por sus siglas en inglés) y la peste porcina clásica (CSF, por sus siglas en inglés). Una fortaleza de esta herramienta es su aplicación en problemas complejos con objetivos cuantitativos y cualitativos, la cual es utilizada para ordenar las preferencias de los tomadores de decisiones y generar estrategias de control de enfermedades contagiosas.

No obstante lo anterior, la vigilancia epidemiológica es de carácter meramente descriptivo, mientras que la evaluación de riesgos posee variables de diversa índole y datos de gran magnitud, que van desde la probabilidad de introducción, establecimiento y propagación de enfermedades, y considera el análisis de fronteras, ingreso y procedencia de animales, entorno, clima y distancia geográfica, así como los procesos biológicos necesarios para la exposición de animales y su impacto en la salud humana-; de esta manera, este tipo de evaluación da una ponderación general de los riesgos asociados con los peligros observados, dando lugar a estimaciones predictivas de probabilidad y magnitud de las consecuencias a esperar (1), lo cual es útil en la capacitación y prevención de enfermedades, pese a que no particulariza el daño específico generado por un patógeno a la comunidad productora y su entorno socioeconómico.

Por otro lado, diversas investigaciones (6,10) han expuesto la importancia de contar con metodologías articuladas a gran escala (nacional o regional) sobre la morbilidad, mortalidad y pérdidas económicas del hato porcino, dada la repercusión de enfermedades infecciosas



## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

como la peste porcina africana (ASF, por sus siglas en inglés), CSF, FMD y el síndrome respiratorio y reproductivo porcino (PRRS, por sus siglas en inglés). Así también se ha referido la relevancia de metodologías útiles en la identificación de las potencialidades que pueden inducir a que una enfermedad esporádica o endémica produzca brotes de magnitudes catastróficas.

Actualmente, la mayor parte de los artículos de enfermedades animales poseen aportaciones teóricas enfocadas en el establecimiento de nuevos enfoques o modelos para sistemas de vigilancia y monitoreo epidemiológico, y además analizan los riesgos y peligros identificados a partir del muestreo (9). Otras aproximaciones estudian con epidemiología descriptiva la incidencias de brotes en zonas específicas (15–17), consideran los virus en particular (18–20), la propagación de agentes patógenos (21–24) con alto riesgo epidemiológico, además de la transmisibilidad, la aleatoriedad y el agrupamiento geográfico de las enfermedades (16). Algunos otros estudios ponderan los costos económicos de una enfermedad en una zona o un brote específico. Todo ello, deja de lado las evaluaciones a gran escala, las cuales permiten observar los impactos o daños en un contexto más amplio de la enfermedad y sus condicionantes epidemiológicos, económicos y sociales.

En esta tesis se demuestra una mayor congruencia entre una evaluación cualitativa y cuantitativa con el impacto de las enfermedades, que los indicadores epidemiológicos o económicos individuales. Por ello, resulta importante saber ¿cuáles son las variables necesarias para evaluar el estado de salud de un hato porcino y de qué manera se pueden relacionar?, ¿cuáles son los niveles aceptables y críticos de dichas variables? y ¿de qué manera se pueden relacionar las variables económicas y sociales en evaluaciones de salud animal?

Sucintamente, la presente tesis propone un índice de salud para evaluar y comparar la situación sanitaria en una región o país, así como hacer mediciones de impacto entre enfermedades y proponer tendencias, lo que puede contribuir con el análisis del efecto de las medidas de control sanitario. Este índice de salud resulta del análisis de un esquema multivariable complejo y completo, validado con datos epidemiológicos reportados por las oficinas de vigilancia epidemiológica de veintiún países ante de la Organización Mundial

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

de Salud Animal (OIE), en el periodo de 2005 a 2018, con la correspondiente generación de una valoración simple, comprensiva y general.

La metodología propuesta parte de un análisis del estado del arte de la porcicultura en países en desarrollo, el análisis de indicadores bibliométricos y de patentes, con la propuesta de criterios cualitativos y cuantitativos para evaluar el estado de salud porcina en poblaciones o regiones. Con un análisis de veintiún países, para validar la funcionalidad y posibilidades de aplicación de la metodología de forma espaciotemporal.

### **Problemática y Justificación**

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) prevé que la población mundial aumente en más de un tercio en 2050, alcanzando los 9,700 millones de personas y casi los 11,000 millones en el año 2100 (25), siendo el crecimiento más grande en los países en desarrollo. Así, se requerirá producir 50% más alimentos (26), implicando que la producción anual de carne tendría que incrementarse de 200 a 470 millones de toneladas en 2050, de las cuales 72% serán producidas en países en desarrollo, con respecto al 58% producido en 2009 (27).

Las enfermedades infecciosas se han convertido en un problema creciente no solo para la salud de los cerdos, sino también para la estabilidad y la productividad de la industria porcina mundial (2). Estas enfermedades causan pérdidas directas de producción por la mortalidad, las tarifas veterinarias, las restricciones comerciales (6), lo que supone grandes riesgos para la salud humana (8,26,28), con enormes consecuencias económicas (29), sociales y ambientales (26) que inciden en la seguridad alimentaria (6). Como ejemplo, los brotes de ASF de 2018 y 2019, han tenido consecuencias catastróficas en Asia y parte de Europa, con la pérdida de más de 100 millones de cerdos en Asia (30) y la despoblación total de millones de granjas de pequeña y mediana escala (31). Lo anterior ha perturbado la economía global (30) y dañado el medio ambiente, aunado al perjuicio derivado de las estrategias de control, entre las que se incluye el sacrificio masivo de animales por medio de incineración (32), el manejo de cadáveres en contenedores, el enterramiento y hasta el uso de tiraderos clandestinos (33).

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

De manera concreta, el problema científico a abordar es que, a pesar del gran cúmulo de investigaciones relacionadas con la salud porcina, actualmente no existen metodologías de evaluación que integren variables epidemiológicas, económicas y sociales para analizar el estado de salud porcino y compararlo entre poblaciones, países o regiones. Los aspectos multidimensionales para considerar son que el daño provocado por las enfermedades es inherente al tamaño de la población del hato porcino, al número de animales diagnosticados con la enfermedad, el número de animales muertos y las pérdidas totales generadas. Por lo anterior, evaluar una población animal solamente con base en incidencias y mortalidad, o con aspectos de virulencia y diseminación de enfermedades, puede brindar información que no corresponde con la realidad del hato porcino en su contexto total o a gran escala. Por el contrario, las evaluaciones de riesgos al incluir un gran número de variables de gran escala no permiten conocer aspectos particulares de la evaluación de la salud.

Argentina, Brasil, Chile, China, India, México, Rusia y Vietnam comparten cuatro características importantes para fines de esta investigación: i) son los mayores productores de carne de cerdo de los países en desarrollo, aportando en conjunto, el 62% de la carne de cerdo producida a nivel mundial (34); ii) tienen particularidades de producción similar (35); iii) desarrollan cerdos de razas similares, y iv) su entorno científico, tecnológico y de salud porcina posee limitaciones importantes, dado que no se encontraron metodologías que permitan cuantificar y comparar integralmente el estado de salud animal o porcina a nivel nacional o regional, y que a su vez, particularicen en las enfermedades y condiciones específicas del hato porcino estudiado.

Por lo anterior, esta tesis establece una aportación teórica, con la propuesta de un índice de salud porcina que considera variables epidemiológicas, económicas y sociales, ponderado con dos criterios de criticidad con respecto a la morbilidad y las pérdidas, para complementar los ya establecidos para la mortalidad, propuestos por el Banco Mundial, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) y la OIE (7). Así mismo, se identificaron las implicaciones de la salud en el contexto productivo porcino, así como el estado actual y tendencias científico-tecnológicas. Adicionalmente, esta metodología posee un impacto de carácter social, al

# ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

generar una herramienta de evaluación útil para los productores porcinos desde el nivel de granja, hasta el nivel como país.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Generar un índice multidimensional conformado por indicadores epidemiológicos, económicos y sociales, con contraste de análisis de incidencias y espaciotemporales de la salud porcina y demostrar que puede ser usado de manera integral con un criterio basado en variables cualitativas y cuantitativas, que integran los factores necesarios para un seguimiento temporal, espacial y patológico.

### **Objetivos particulares**

1. Generar y validar una metodología de comparación del estado de la salud porcina con base en diversos indicadores.
2. Evaluar el efecto de las enfermedades porcinas en países productores.
3. Identificar tópicos y tendencias de producción científica y tecnológica relacionados con la salud porcina.
4. Analizar los efectos de morbilidad, mortalidad y pérdidas, para generar criterios aceptables y críticos útiles en evaluaciones temporales.
5. Analizar las variables económicas y sociales como condiciones necesarias para ponderar el daño de las enfermedades a productores porcinos.
6. Evaluar las enfermedades porcinas de los principales productores a nivel mundial para establecer criterios cualitativos y cuantitativos.
7. Establecer tendencias temporales y regionales de enfermedades porcinas a partir de los criterios establecidos en el índice de salud porcina M $\mu$ L.

## **Hipótesis**

Un criterio multidimensional basado en variables epidemiológicas, económicas y sociales permitirá evaluar más fehacientemente el estado de la salud porcina, que los indicadores

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

epidemiológicos y económicos individuales, dando lugar a evaluaciones de pequeña y gran escala, de tipo espaciotemporal y de nivel granja a regional.

### **Preguntas de investigación**

1. ¿Cuáles son las variables necesarias para evaluar el estado de salud de un hato porcino y de qué manera se pueden relacionar?
2. ¿Cuáles son los rangos de mortalidad y morbilidad aceptable y crítica?
3. ¿Cuál es la utilidad de las variables económicas y sociales en evaluaciones de salud animal?
4. ¿Cuáles son los criterios aceptables y críticos para evaluar la morbilidad, mortalidad y pérdidas, en los sistemas de producción porcina a nivel de granja y regional?
5. ¿Cuál es el estado de la salud porcina de países productores?
6. ¿Cuáles son los principales tópicos de producción científica y tecnológica relacionados con la producción porcina en países en desarrollo? Aunado a ello ¿Cuáles son las principales enfermedades abordadas?
7. ¿Es posible establecer tendencias temporales y regionales de enfermedades porcinas a partir de los criterios (combinaciones de la triada propuesta) establecidos en el índice de salud porcina M $\mu$ L?

### **Estructura del trabajo**

La tesis es el resultado de dos investigaciones que la autora desarrolló en el tema de la porcicultura en diferentes países, incluyendo los países en desarrollo. La primera corresponde al análisis de la bionanotecnología en países en desarrollo, mientras que la segunda propone un análisis multidimensional de la salud porcina en los mayores productores porcinos a nivel mundial.

La estructura del presente trabajo contiene una introducción, seguida por tres capítulos de marco teórico, contexto productivo y un análisis de tendencias científico-tecnológicas. El cuarto capítulo muestra la metodología propuesta, el quinto capítulo presenta los resultados. Finalmente se abordan la discusión y las conclusiones.

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA  
EN PAÍSES EN DESARROLLO

## Capítulo 1. Marco teórico

Este capítulo presenta las aportaciones actuales en el campo de la salud porcina, la relevancia de la evaluación del estado de salud en países en desarrollo, las principales aproximaciones basadas en la vigilancia epidemiológica, los análisis de riesgos, los de costos, así como las incidencias de enfermedades y las dinámicas espaciotemporales. Finalmente, se brinda la conceptualización de la evaluación de salud utilizada en este trabajo.

### 1.1 Importancia de la evaluación de la salud porcina

Los procesos de toma de decisiones y planificación en la producción animal incluyen la evaluación de la salud, tanto en las condiciones de la granja (22) como a nivel nacional o regional (36), lo que implica la identificación de los peligros y la descripción comparativa del estado del rebaño, determina la manifestación del daño, controla las enfermedades e identifica las tendencias epidémicas y estacionales; siendo la base para definir objetivos y prioridades de salud en la toma de decisiones para reducir el impacto negativo de las enfermedades animales en la economía y las zoonosis (9).

Un estudio realizado con 25 secretarías veterinarias europeas mostró que los principales criterios considerados por expertos para la evaluación y la toma de decisiones en salud animal son de carácter epidemiológico (53%), económico (30%) y social (17%). La duración de la epidemia y el número de piaras afectadas son los criterios epidemiológicos más relevantes, mientras que las pérdidas agrícolas directas y las pérdidas agrícolas consecuentes en la región afectada se consideran los indicadores económicos más importantes. A su vez, la eficacia de las estrategias de control epidémico y los factores socioeconómicos se consideran entre los indicadores sociales con mayor relevancia (14).

A pesar de lo anterior, diversos investigadores y organismos como el parlamento europeo y el concilio de salud animal europea consideran que actualmente existe una *“fiabilidad aún insuficiente de los estudios de modelado”* en este campo, lo que *“dificulta pronosticar su frecuencia e impacto”* (10).

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

En los últimos 18 años, la población porcina mundial ha crecido 8% (34), concentrando dicho crecimiento en países en desarrollo, encabezados por los productores asiáticos, que durante el mismo periodo crecieron 39%; esa tasa de crecimiento, aunado al aumento de granjas intensivas con gran tamaño y la creciente densidad de cerdos (37,38), han promovido problemas y riesgos para la salud animal con consecuencias a gran escala, como la rápida propagación de enfermedades, la despoblación de granjas y las zoonosis (39). Dado que las enfermedades porcinas son un vector de transmisión de enfermedades a los humanos, la Organización Mundial de Salud Animal (OIE) estimó en 2008 que el 70% de las enfermedades infecciosas humanas son originadas en animales (8).

Así pues, considerando que el cerdo es el tercer animal con mayor proporción de pérdidas a nivel mundial (7), en la actualidad existen numerosos estudios que abordan los problemas de salud porcina, abundando análisis de enfermedades, cepas, bacterias, virus (18–20,40) y estudios específicos para más de 40 agentes patógenos a nivel mundial (2). Son también abundantes los estudios de caso en piaras, grupos etarios y análisis transversales de enfermedades específicas (36). Las aproximaciones para evaluar el impacto de la salud animal se basan primordialmente en análisis de riesgos (41) y vigilancia epidemiológica (9,10,42), análisis de costos de enfermedades (6,43–45), así como evaluaciones epidemiológicas que incluyen análisis de incidencias (15,17,46) y diseminación de enfermedades (16,21) por medio de análisis espaciotemporales. A continuación, se presentan dichas aproximaciones.

### **1.2 Vigilancia epidemiológica**

La vigilancia epidemiológica y el monitoreo ayudan a reducir el impacto de las enfermedades (42), ya que contribuye con la detección y el control de las enfermedades animales y las zoonóticas (9) para garantizar un comercio seguro y soportar la toma de decisiones de salud animal, así como para la generación de estrategias de control de patógenos (10). Según Hoinville (2011), la vigilancia y el monitoreo se definen como “la medición sistemática, continua o repetida para el análisis, la interpretación y la difusión oportuna de datos relacionados con la salud y el bienestar animal de poblaciones definidas”; sin embargo, la misma autora hace una distinción entre la vigilancia y el monitoreo, dado que en el caso de



## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

la primera, los datos se utilizan para “describir la aparición de riesgos para la salud y contribuir a la planificación, implementación y evaluación de acciones de mitigación de riesgos”, mientras que en el monitoreo, estas acciones no poseen un plan de mitigación de riesgos predefinido, aunque es posible que los cambios extremos en la diseminación de enfermedades y el tipo de enfermedad observada conduzcan a la acción (11).

Se considera que los impactos de brotes epidemiológicos varían de acuerdo con las características de la enfermedad, los sectores afectados y la naturaleza de las medidas de control impuestas (10). Estos impactos pueden incluir efectos negativos para la salud animal y humana, así como para las industrias relacionadas: costos para los ganaderos, interrupción comercial, costos públicos de erradicación y monitoreo, y cambios en los patrones de consumo (10).

Existen diferentes tipos de vigilancia, que incluyen la vigilancia temprana, la pasiva, el monitoreo, la participativa y el análisis de riesgos, todo lo cual contribuye con la toma de decisiones informadas por parte de los actores gubernamentales y veterinarios, para proteger la salud y el bienestar animal, así como mitigar el riesgo de diseminación de enfermedades y detectar peligros para poblaciones animales y humanas (42).

Las acciones enfocadas en la vigilancia animal y la salud pública son parte del enfoque “One health” promovido por la Organización Mundial de Salud, en relación con el diseño y la implementación de programas, políticas, legislación e investigación. Este enfoque incluye “inocuidad alimentaria, control de zoonosis (enfermedades propias de los animales que pueden afectar a humanos), y combate a la resistencia a los antibióticos”.

De manera concreta, la vigilancia y el monitoreo constan de los siguientes aspectos:

1. Delimitación de alcance y objetivos de vigilancia epidemiológica animal.
2. Establecimiento de estrategias de muestreo (incluido el muestreo basado en riesgo) e implementación del muestreo de enfermedades en zonas establecidas.
3. Identificación y priorización de riesgos de las enfermedades.
4. Plan de acción y elaboración de políticas para la prevención de las enfermedades y la bioseguridad.
5. Evaluación de problemas en las políticas de salud.

### **1.2.1 Alcance y cobertura geográfica de la vigilancia epidemiológica**

El taller “Animal Health Surveillance Terminology” llegó a un consenso sobre dos cuestiones importantes por considerar en la vigilancia epidemiológica: 1) el alcance y 2) la definición del área geográfica cubierta. En lo relacionado con el alcance, se determinó que éste, puede incluir las especies a estudiar, los peligros, el área geográfica cubierta y el marco temporal cubierto, relacionado con la cantidad de actividades de vigilancia y condiciones de salud comprendidas (42).

Con respecto al área geográfica, la consideración general del taller mencionado contempla que ésta incluye la vigilancia a nivel 1) “Local: un área dentro de un país (por ejemplo, puesto fronterizo, alrededores del parque natural)”, 2) “Nacional: un país entero” y 3) “Internacional: incluye varios países”. Sin llegar a un acuerdo sobre si el término regional se refiere a un pequeño número de países que corresponden a una entidad geográfica o política, o a áreas dentro de un país, como el occidente de México.

Por otro lado, la OIE (2019) designa como enfermedad emergente a la nueva aparición de una enfermedad, infección o infestación en un animal, que causa un impacto en la sanidad animal o en la salud humana, consecutiva a: 1) una modificación de un agente patógeno conocido o a la propagación de este a una zona geográfica o a una especie de la que antes estaba ausente; o 2) un agente patógeno no identificado anteriormente o una enfermedad diagnosticada por primera vez.

Hoinville (2011) presenta un modelo de ocurrencia de enfermedades enfocadas en las acciones de vigilancia, con cinco niveles o características, que son descritas a continuación:

1. Endémica: está determinada por la presencia constante de una enfermedad en la población de interés.
2. Esporádica: una enfermedad conocida que ocurre de forma intermitente en un patrón irregular o fortuito.
3. Exótica: una enfermedad previamente conocida que cruza las fronteras políticas para ocurrir en un país o región en que actualmente no se registra como presente.

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

4. Reemergente: una enfermedad previamente conocida que actualmente está ausente o presente en un nivel bajo, en la población en un área geográfica definida que reaparece o aumenta significativamente en prevalencia.
5. Nuevo (emergente): una enfermedad o condición previamente desconocida, que podría ser el resultado de la evolución o cambio en un patógeno o parásito existente que resulta en un cambio de cepa, rango de huésped, vector o un aumento en patogenicidad, lo que pudiera deberse a la aparición de cualquier otra condición previamente no definida.

Por su parte, Thrusfield et al., (2018) proponen un esquema distinto de ocurrencia de enfermedades en poblaciones animales.

1. Endémica: frecuencia usual de ocurrencia y presencia constante de enfermedades en una población, que implica un estado estable, a menudo predecible. Refiriéndose a la amplitud de la enfermedad, pero también a la ausencia de signos clínicos y a los niveles de anticuerpos circulantes.
2. Epidémica: describe un incremento repentino e impredecible en el número de casos en una población, ya sea por una enfermedad infecciosa o no infecciosa.
3. Pandemia: epidemia generalizada que usualmente afecta una larga proporción de la población. Algunos países pueden ser afectados.
4. Esporádica: ocurre regularmente y al azar. Implica que hay circunstancias apropiadas localmente, produciendo pequeños brotes localizados. Puede indicar un solo caso o grupos de casos de una enfermedad o infección (sin enfermedad aparente) que no están normalmente presentes en un área.

Lo anterior resalta la importancia de contar con programas de vigilancia epidemiológica, no sólo en la parte productiva dentro de las granjas, sino a lo largo de la cadena productiva, lo que permita reducir el impacto de las enfermedades animales y las zoonosis, es decir, las enfermedades que prevalecen en el cerdo y son capaces de afectar a los humanos.

### **1.3 Evaluación de riesgos**

La evaluación de riesgos es una parte importante de los análisis sanitarios, estimada por autoridades veterinarias a nivel mundial. Consiste en el análisis de amenazas y la vulnerabilidad de poblaciones susceptibles de un daño sanitario, principalmente enfocado en el riesgo a las importaciones, los productos biológicos y la transmisión de enfermedades. Según la FAO (2009), las enfermedades animales producen riesgos económicos y de salud humana. Los económicos se relacionan con pérdidas en la productividad, disrupción en los mercados y riesgos en la subsistencia de las comunidades rurales. Mientras que los riesgos de salud humana contemplan las enfermedades pandémicas, endémicas y las enfermedades transmitidas por alimentos.

El código zoosanitario internacional de la OIE (2000), considera que el análisis de riesgos comprende cuatro fases:

1. Identificación del peligro (identificación de agentes patógenos que podrían afectar la importación de una mercancía)
2. Evaluación del riesgo
3. Gestión del riesgo y
4. Comunicación del riesgo

Este tipo de análisis implica grandes magnitudes, incluyendo diferentes tipos de riesgos, que van desde las importaciones, los productos biológicos, la transmisión de enfermedades animales y sus afectaciones a la salud humana. De manera que, al no estar centrados en el análisis de enfermedades, puede dar resultados parciales o con desintegración respecto de los sucesos que experimenta la industria porcina.

### **1.4 Análisis de costos de enfermedades**

Rushton et al. (2016) afirman que gran parte de los estudios de salud animal están orientados al análisis de costos de enfermedades específicas a nivel local. Este tipo de análisis permite estimar la magnitud de los impactos económicos de las enfermedades y beneficios de las estrategias para su control (43), buscando un equilibrio entre el costo del control de enfermedades en la industria ganadera y las pérdidas económicas atribuibles a las enfermedades (47).

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

Bennett (2003) considera que la mayoría de los estudios contemplan una o dos enfermedades, e incluyen los costos de tratamiento y control incurridos. Tal es el caso de análisis de PRRS (48), teniasis/cisticercosis, CSF (49), FMD (50), ASF (51), entre otros.

Dehove et al. (2012) afirman que a pesar de la existencia de muchas metodologías, aún no hay consenso en los indicadores que permita cuantificar el impacto y las necesidades económicas para el manejo sanitario (6). Por ello, las aportaciones de Bennett radican en estudios económicos de 30 enfermedades en granjas animales de Gran Bretaña (43), mientras que la OIE ofrece un método para el análisis del desempeño de los servicios veterinarios (6).

Por otra parte, a nivel internacional, el Banco Mundial ha estimado las pérdidas animales (7) y el costo de las enfermedades zoonóticas, considerando los costos para la salud humana y animal (52). Además del análisis de costos, el Concilio Australiano de Salud Animal establece categorías de enfermedades animales de emergencia (53). En este tipo de análisis se basan la formulación de políticas y la asignación de recursos para la atención de enfermedades y zonas prioritarias.

De manera puntual, los análisis de costo de enfermedades son importantes porque brindan estimaciones de la magnitud de los daños generados por éstas, a la vez que consideran los beneficios derivados de su control y establecen bases de políticas sanitarias. Sin embargo, este tipo de estudios suelen ser estacionales, sin abarcar periodos prolongados o proveer evaluaciones espaciotemporales. Por otro lado, las evaluaciones antes mencionadas, a pesar de ser esfuerzos muy importantes, no diferencian por tipo de animal, lo que brinda acercamientos parciales de la situación porcina, así como de los criterios específicos de la evaluación y ponderación del daño de las enfermedades.

### **1.5 Análisis de dinámicas epidemiológicas y clústeres espaciotemporales**

Perry et al. (2001) afirman que la mayoría de los estudios abordan análisis epidemiológicos de rebaños, estudios etarios y análisis transversales. Los principales tipos de investigación epidemiológica son el descriptivo, el analítico y el teórico (47).

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

- a) Epidemiología descriptiva: involucra la observación, el registro de enfermedades, así como sus factores causales. Este tipo de estudios son considerados como la primera parte de las investigaciones (47).
- b) Epidemiología analítica: la epidemiología analítica es el análisis de observaciones diagnósticas y estadísticas (47).
- c) Epidemiología experimental: implica la observación, el análisis y el control de grupos de animales de los que es posible seleccionar y alterar los factores asociados con la población (47).

Este tipo de estudios se enfoca principalmente en tres variables epidemiológicas: tiempo, lugar y población, con el objeto de determinar las poblaciones en riesgo, conocer la etiología de la enfermedad y realizar predicciones con respecto de los patógenos, la temporalidad y el modo de transmisión (16,54). Generalmente son realizados en zonas concretas, abordando aspectos relacionados con la agrupación espaciotemporal (21,54,55), la identificación de áreas con alto riesgo epidemiológico (16) y las dinámicas de enfermedades (22), lo que permite conocer las características patológicas, las condiciones que determinaron la ocurrencia de brotes, la proporción de individuos susceptibles y predecir el comportamiento epidemiológico de las enfermedades (47).

Dichos estudios contribuyen con el entendimiento de la transmisión de enfermedades, así como del surgimiento de epidemias (55), permiten evaluar piaras infectadas, rutas de progresión, estacionalidad de las enfermedades, dinámicas de diseminación y medidas de control (54).

### **1.6 Conceptualización de evaluación de salud en esta tesis**

En esta investigación, se entiende como evaluación de la salud animal al proceso de análisis de datos epidemiológicos, económicos y sociales, a nivel de granja, zona, país o región, para determinar la magnitud del daño ocasionado por las enfermedades en un periodo dado, así como la identificación de las tendencias y las dinámicas de enfermedad; esta ponderación también evalúa la eficiencia en las medidas de control, las acciones estratégicas y la

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

asertividad en las políticas públicas de salud, al observar los niveles o estatus de criticidad de la morbilidad, la mortalidad y las pérdidas animales, en relación con su población susceptible.

Así pues, la presente investigación propone un índice de salud multidimensional que incluye variables epidemiológicas (mortalidad, morbilidad y patógenos), económicas (pérdidas animales) y sociales (con categorizaciones de impacto socioeconómico) con una aportación teórica en la propuesta de dos criterios de afectación, uno para morbilidad y otro para pérdidas.

Por otro lado, para fines de este trabajo, “regional” se utiliza para definir un conjunto de países delimitados geográfica o continentalmente.

Además, contrario a las clasificaciones de ocurrencia epidemiológica incorporados por Hoinville (2011) y Thrusfield et al., (2018), aquí se propone una categorización de alerta epidemiológica y tendencias de enfermedades por su impacto en salud porcina, considerando no sólo la etiología de la enfermedad, sino también factores económicos y sociales, que contribuyen con la identificación de patrones de enfermedad.

### **1.7 Consideraciones finales del capítulo**

En este capítulo describe brevemente la importancia de la evaluación en salud animal, las principales aproximaciones en la vigilancia y el monitoreo de salud, el análisis de riesgos, los análisis de costo y los análisis epidemiológicos usados ampliamente. También, se presenta la conceptualización de la evaluación de salud empleada en esta investigación.

Así mismo se expone la necesidad de un criterio integral de ponderación a partir de la ausencia de metodologías que consensen variables epidemiológicas, económicas y sociales, para la evaluación a nivel de explotación local, nacional y regional.

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA  
EN PAÍSES EN DESARROLLO

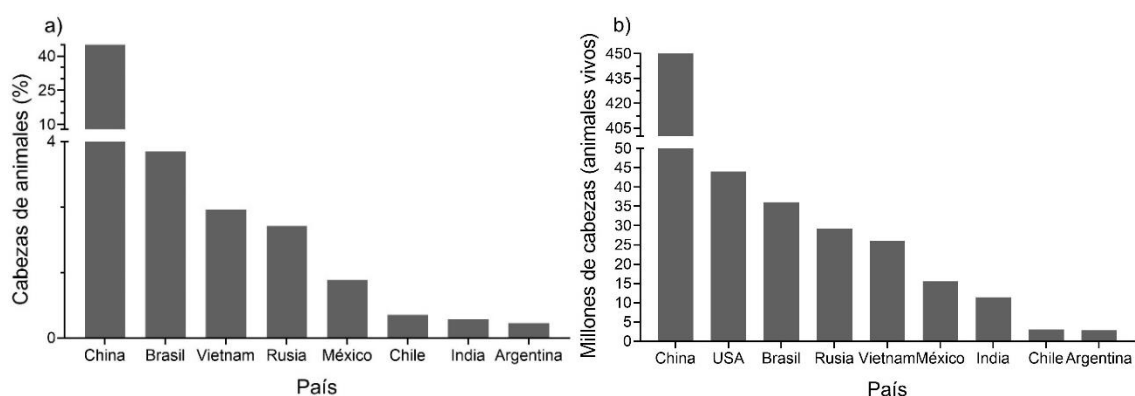


## Capítulo 2. Contexto productivo de la porcicultura

Este capítulo brinda un panorama general de la producción de carne de cerdo. Primero, se presenta un breve análisis del contexto mundial, luego se analizan las principales variables económicas de los países en desarrollo con mayor producción de carne de cerdo, y finalmente se discuten las características de la producción de países latinoamericanos.

### 2.1 Producción mundial de carne de cerdo

Las estadísticas de la FAOSTAT permiten identificar que del año 2000-2016 la producción mundial de carne de cerdo creció 11%, con un estimado de 118 millones de toneladas en 2017 (34). Los principales productores de carne de cerdo son: China, la Unión Europea, Estados Unidos, Brasil, Rusia, Vietnam y Canadá. Entre 2000 y 2018 los países en desarrollo produjeron 62% de la misma; particularmente China produjo 46% del total. En 2018, los principales productores de carne de cerdo de América Latina produjeron alrededor de 6.3 millones de toneladas de carne de cerdo, lo que representa el 6% de la producción mundial. Brasil encabeza la producción latinoamericana (3.8 millones de toneladas), seguido de México (1.4 millones de toneladas), Argentina (0.5 millones de toneladas) y Chile (0.4 millones de toneladas), tal como se puede observar en las Figuras 1a y 1b (34).



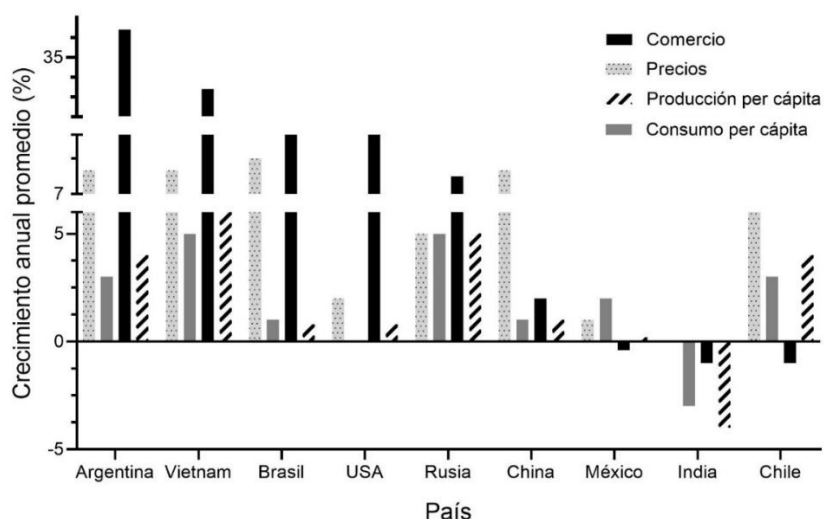
**Figura 1. Distribución porcentual de producción de carne de cerdo (promedio 2000-2018) (a) y existencias de cerdos (millones de cabezas en promedio 2000-2016) (b) en países en desarrollo y Estados Unidos. Datos de la FAOSTAT (2019).**

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

La perspectiva alimentaria de la FAO (2019), reportó que la carne roja de cerdo es la de mayor consumo a nivel mundial, con una estimación de 120.5 millones de toneladas en 2018 y pronósticos de expansión en su demanda de exportaciones a nivel mundial, satisfecha principalmente por Brasil, la Unión Europea y Estados Unidos (56). Con un consumo per cápita mundial de 44 kg por año (56), los países asiáticos y europeos registran el consumo de carne de cerdo más alto en el mundo.

### 2.2 Variables económicas en países en desarrollo y Estados Unidos

Las principales variables económicas en la producción porcina son la producción per cápita, el consumo per cápita, el precio y el comercio. Sus tasas de crecimiento anual promedio en países en desarrollo se presentan en la Figura 2, donde puede observarse que, aunque China y Brasil son los productores más importantes del grupo, no son los que han mostrado el mayor crecimiento por el contrario, estos dos países presentaron una desaceleración en el crecimiento que habían mantenido en las últimas décadas (57,58). A su vez, se evidencia que Vietnam es el país con mayor crecimiento anual en la producción per cápita, seguido de Rusia, y mejores pronósticos (según perspectivas anuales de la FAO hasta antes de los acontecimientos de 2018 y 2019 con respecto a ASF).



**Figura 2. Crecimiento anual promedio de la producción y consumo per cápita, el comercio y los precios de la carne de cerdo en 2000-2017.** Fuente: FAOSTAT, OCDE, Banco Mundial, Oficina Nacional de Estadística de China, Oficina General de Estadística de Vietnam, Russtat.

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

La producción per cápita de cerdo creció un promedio de 2.1% en los países en desarrollo, el crecimiento de China fue de 1% y de 0.8% en Brasil. Dichas tasas de crecimiento estuvieron influenciadas por caídas de 3%, que en China se registró entre 2015-2017, mientras que Brasil entre 2013-2014. La caída de Brasil se debió principalmente a que su producción está dada en función de la demanda internacional (57) y dado que China y Rusia prohibieron la importación de carne proveniente de Brasil, este país sufrió una contracción en sus exportaciones (58). México registró la tasa de crecimiento per cápita más baja, sin embargo, dado que la tasa de crecimiento total (toneladas de 2000-2018) fue mayor al 30%, la USDA-FAS argumentó que el control de enfermedades, mejoras en la inversión, aumento de la productividad (número de cerdos/vientre) relacionado con la mejora genética continua y la expansión del rebaño de reproducción, han resultado en una expansión reciente en la producción nacional de México (59). El crecimiento de Rusia se asocia principalmente a las grandes inversiones y la modernización de la industria (58), pues sus acciones crecieron 102% de 2015 a 2016 y 103% de 2016 a 2017 (Russtat, 2018).

Esta medida en la producción per cápita permite observar principalmente que el crecimiento en la producción porcina en países como China, Brasil, India y México no satisface las demandas nacionales de carne de cerdo, dada la gran disparidad en acceso a proteínas de origen animal y la acelerada tasa de crecimiento poblacional, sin embargo, es posible que una proporción de la demanda de proteínas de origen animal esté satisfecha por la carne de pollo.

Por otro lado, el consumo creció un promedio de 2.1%, impulsando el comercio, que presentó la mayor tasa de crecimiento de las variables observadas, con un promedio del 11.5% durante el periodo. El consumo per cápita en los países de América Latina creció a una tasa del 2% anual, mientras que en Asia fue del 2.2% en el período. En el caso de China, la tendencia en el consumo de carne de cerdo ha sido evidente desde los años anteriores al período estudiado, lo que contrasta en el caso de India, que está por debajo de la tendencia debido a las preferencias religiosas en contra de la carne (3). En la mayoría de los países la preferencia

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

por la carne de cerdo ha aumentado impulsada por el crecimiento en el ingreso y la población urbana (3,57).

Vietnam mostró el mayor crecimiento en producción (6%) y consumo (5%), Argentina en comercio (42%) y Brasil en precios (10%), Mientras que India cayó 4% en promedio de producción per cápita, 3% en consumo y 1% en comercio.

Los precios de la carne en la región crecieron a una tasa del 6.5% anual. México mantuvo el menor crecimiento en el precio (1%), Brasil tuvo el mayor (10%), con un crecimiento muy importante en 2008, que se redujo al final del período. Los precios en China presentaron el mayor crecimiento (9%); particularmente de 2007 a 2008 y 2011, dicho crecimiento estuvo determinado principalmente por cambios en el suministro y brotes de enfermedades domésticas que resultaron en grandes muertes de animales y tasas de sacrificio (60). En tanto, el precio mundial creció en promedio 0.37% entre 2000 y 2015 (58),y, de 2010 a 2017, la carne de cerdo se mantuvo al precio más bajo en relación con ovinos, aves y bovinos (57).

Los niveles de crecimiento en el comercio fueron los más altos de todos los indicadores (12%) en Argentina, Vietnam, Brasil, Estados Unidos y Rusia. Argentina encabezó dicho crecimiento en 42%, seguido de Vietnam en 27%, aunque en la cantidad total, los países con la mejor balanza comercial fueron Brasil y Vietnam.

Es importante mencionar que en el último año (de agosto de 2018 a noviembre de 2019) las tendencias de producción y comercio se han visto influenciadas por las dinámicas epidemiológicas enfrentadas en Asia por ASF, que ha provocado reducciones en el inventario de animales de la región, especialmente en China (31,56,61) y Vietnam (61), motivando cambios en las proyecciones previas, así como en los índices de precios (56). Dicha dinámica está impulsando un crecimiento tanto en la producción como en las exportaciones en Estados Unidos, Brasil, México, India, la Unión Europea y Rusia (56). Se considera que la Unión Europea, los Estados Unidos y Brasil poseen las mejores condiciones para responder a la demanda actual de China y el sudeste asiático (30).

El impacto económico de las enfermedades ha sido notable; tan solo las enfermedades causadas por virus PRRS originan costos en los productores de carne de cerdo de América

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

del Norte por \$600 millones de dólares cada año (62). Por su parte, los brotes de ASF en Asia han provocado pérdidas productivas con gran impacto económico, reduciendo el número de cerdos a dos tercios de la población de China.

### **2.3 Características de la producción porcina en América Latina**

América Latina y el Caribe (ALC) abarcan el 13.7% de la superficie terrestre, que en 2008 concentró al 8.3% de la población mundial y al 7.5% del producto interno bruto mundial (35). Se estima que 80% de las explotaciones porcinas de América Latina son pequeñas o familiares y que el crecimiento experimentado en la actividad pecuaria en esa zona no ha beneficiado a productores locales y regionales, lo que propicia una tendencia a la migración y desaparición de explotaciones familiares y de pequeña escala (35). Aunado a ello, productores provenientes de Estados Unidos y China se han establecido en AL debido a la apertura comercial presentada a partir de 2004, sobre todo en el caso mexicano (Tinoco, 2004; Caram, 2013), y se han beneficiado de políticas públicas establecidas por las naciones receptoras. Lo anterior ha generado cambios en su entorno económico, con variaciones en los ritmos de crecimiento de la producción (SAGARPA, 2009) y reducción en la participación de pequeños productores porcosinos, lo cual es muy evidente en México, donde en 1991 existían 2 millones de unidades de producción (99% con menos de 20 cabezas de animales) (63), mientras que para 2014 la Encuesta Nacional Agropecuaria contabilizó alrededor de 600,000 unidades de producción porcina (64). Adicionalmente, las importaciones de carne de cerdo han incrementado en México cada año, lo que ha convertido a México en el principal destino de carne de cerdo proveniente de Estados Unidos, desde 2014 (USDA, 2016).

En 2016, la carne de cerdo ocupó el primer lugar de las importaciones de carne en México (con 21%) y el tercero de las exportaciones (con 13%). En Brasil ocupó el tercer lugar del total de las exportaciones de carne (9.7%) y 0.038% del total de las importaciones de carne; en Chile ocupó 6.8% de las exportaciones y 9% de las importaciones de carne; en Argentina las exportaciones corresponden a menos del 1% del total de los cárnicos, mientras las importaciones corresponden al 32%, ocupando el primer lugar de las importaciones de carne

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

(OEC, 2017). La Tabla 2 muestra las relaciones comerciales de Argentina, Brasil, Chile y México con los países de exportación e importación de carne de cerdo. Brasil resalta por el valor de las exportaciones, principalmente dirigidas a los países asiáticos. Los principales destinos de exportación son Rusia, Hong Kong y China. Chile tiene más relaciones comerciales con otros países que los otros tres países. Las importaciones de México provienen principalmente de países de América del Norte.

**Tabla 1. Intercambio comercial de carne de cerdo en Argentina, Brasil, Chile y México**

País	Procedencia de las importaciones	Exportaciones	Valor de las exportaciones (USD)
Argentina	Brasil (93%) y Dinamarca (6.6%)	Rusia (97%) y Hong Kong (3%)	\$3.78 millones
Brasil	Chile (100%)	Rusia (38%), Hong Kong (16%), China (14%), Singapur (5.3%), Argentina, Uruguay, Chile, Venezuela y otros	\$1.48 millones de millones
Chile	Brasil (40%), EUA (34%), Canadá (16%), Polonia (9.4%) y otros	Japón (32%), Corea del Sur (26%), China (22%), Rusia (4.5%), Costa Rica, Perú, EUA, Canadá, Colombia y otros	\$400 millones
México	EUA (86%) y Canadá (14%)	Japón (78%), Corea del Sur (12%), EUA (8.5%), Canadá, Hong Kong, China y Singapur	\$531 millones

Fuente: con datos del Observatorio de la complejidad económica del MIT (2017). La tabla muestra datos de carne de cerdo fresca, refrigerada o congelada.

El panorama latinoamericano posee las siguientes características relevantes para la producción porcina: 1) amplia distribución territorial, 2) clima óptimo, 3) oportunidades productivas crecientes, 4) amplias relaciones comerciales y 5) incremento en el control sanitario (1).

Sin embargo, no se conoce el impacto de las enfermedades en sus estratos productivos i.e., no hay estudios que permitan la comparación de su estado de salud ni del impacto de las enfermedades en el sector productivo a pequeña, mediana y gran escala. Otros autores (65,66) han documentado la falta de dichas metodologías en la región, dado que las evaluaciones existentes radican en estudios de caso, identificación de cepas o evaluaciones de pequeñas poblaciones con respecto a un agente patógeno o una enfermedad particular.

## **2.4 Consideraciones finales del capítulo**

Este capítulo brinda un panorama breve de la situación actual en la producción porcina mundial y en países en desarrollo, en lo relacionado a producción, comercio, consumo y precios. Así también, muestra las implicaciones epidemiológicas en las dinámicas de producción y comercio. Además, se particularizan las características productivas de los países latinoamericanos en estudio.

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA  
EN PAÍSES EN DESARROLLO



### **Capítulo 3. Bionanotecnología en la porcicultura**

A partir de análisis bibliométricos y de patentes realizados en este trabajo doctoral, se identificó que la mayor parte de los artículos y patentes enfocados en salud porcina refieren a técnicas biotecnológicas y nanotecnológicas. Por ello, se analizaron las principales aplicaciones útiles para la porcicultura basadas en la bionanotecnología, pudiéndose observar que a pesar del gran cúmulo de desarrollos y aplicaciones científico-tecnológicas en la porcicultura, su estudio presenta áreas de oportunidad. Dentro de los avances científicos y tecnológicos en la porcicultura resaltan las aplicaciones relacionadas con alimentos, genética, medio ambiente y salud. Por ello, este capítulo analiza los principales tópicos y tendencias de la bionanotecnología porcina, con vistas a identificar sus implicaciones en el campo de la salud porcina. La primera parte de este capítulo versa sobre la definición de la bionanotecnología; la segunda analiza el estatus científico y tecnológico en ese campo, y la tercera, discute los aspectos más sobresalientes en el área de la salud porcina.

#### **3.1 Biotecnología, nanotecnología y bionanotecnología**

La biotecnología actualmente posee un enorme dinamismo en la innovación, la economía, la política, la ciencia, la tecnología y la sociedad. La OCDE (2009) considera que la biotecnología incide en diferentes disciplinas y áreas tales como la salud, la alimentación, la medicina, el agua y la agricultura, entre otras. Lo anterior permitirá hacer frente a los problemas más importantes de las economías y sociedades en las próximas décadas (67,68), además de coadyuvar en los países en desarrollo en la mejora de variedades animales productivas, lo que les dará amplia participación en la bioeconomía global (67). Por otra parte, se considera que la biotecnología tiene usos en la práctica veterinaria, sobre todo en lo relacionado con salud y cría de animales, con énfasis en la salud animal, el ácido desoxirribonucleico (ADN) y las vacunas recombinantes (69), además de desarrollos en biología y epidemiología molecular que mejoran los procedimientos de diagnóstico y analizan la ocurrencia, la susceptibilidad y el comportamiento de enfermedades con técnicas moleculares (47). De esta manera, se identificó un gran número de conceptos relacionados con los organismos patógenos, los virus y las enfermedades (2).

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

La biotecnología se define como i) la técnica o conjunto de técnicas que utiliza organismos vivos o parte de ellos para obtener o modificar productos, mejorar plantas o animales o para desarrollar microorganismos con usos determinados, ii) la utilización de técnicas modernas del ADN recombinante la fusión celular y los procedimientos de la bioingeniería (70), y iii) la ciencia que a su vez dan lugar a nuevas tecnologías y materiales, como pruebas genéticas, aplicación de células madre, generando una trayectoria tecnológica (71).

La OCDE (2005) define la biotecnología como la “aplicación de ciencia y tecnología a organismos vivos, como las partes, los productos, los procesos y los modelos para modificar o alterar materiales vivos o no vivos para la producción de conocimiento, bienes y servicios” (72), lo que involucra no sólo las tecnologías, los procedimientos y los cambios, sino que abarca las tecnologías de investigación, métodos y sectores o campos de aplicación, con múltiples aplicaciones. Su impacto puede ser económico, con la reducción de costos productivos o mejoras en las características del producto y de proceso, así como mejoras sociales y de salud, o en el medio ambiente y la biodiversidad.

Por otro lado, la Red Latinoamericana de Nanotecnología y Sociedad (ReLANS) define la nanotecnología como la manipulación de la materia a escala atómica y molecular, en la que se combina artificialmente átomos y moléculas para crear partículas y estructuras que manifiestan funciones nuevas y diferentes a las de la materia en mayor tamaño, lo que incluye materiales de hasta 100 nanómetros (73).

Las implicaciones de la nanotecnología en la producción de animales principalmente radican en la detección y control de organismos patógenos, el desarrollo de fármacos veterinarios y su administración, la mejora de la calidad de la alimentación animal y composición nutricional, mediante productos nanoencapsulados, nanoemulsiones, nanopartículas, nano-poros, nanopartículas antimicrobianas y nanofármacos (74,75).

La OCDE (2005) define nanobiotecnología como la aplicación de herramientas y procesos de nano/microfabricación para construir herramientas para el estudio de biosistemas y aplicaciones en liberación de fármacos, diagnóstico, entre otros.

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

Para fines prácticos, en esta tesis se entiende biotecnología como toda tecnología aplicada a cualquier sistema u organismo vivo, en el que pueden utilizar organismos genéticamente modificados o no genéticamente modificados, para generar o cambiar productos o procesos, lo que incluye modificaciones genéticas, inmunológicas, enzimáticas, químicas, bioquímicas y nanobiotecnológicas, entre otras.

Esta tesis se centra en la aplicación de la biotecnología, la nanotecnología y la bionanotecnología, de acuerdo con sus diferentes aplicaciones en la porcicultura. Cabe mencionar, que todas las aplicaciones bionanotecnológicas aplicadas a cerdos con fines de uso en medicina y el desarrollo de fármacos para humanos no están consideradas, por el contrario, se incluyeron todas las que coadyuvan en la producción de cerdos para producción cárnica.

### **3.2 Antecedentes científico-tecnológicos**

Actualmente existen numerosas aplicaciones comerciales para la cría de cerdos basadas en la bionanotecnología (Tabla 1); la investigación científica y el desarrollo tecnológico representados en patentes están centrados principalmente en salud (virus, vacunas y enfermedades), piensos, medicamentos, genética, aspectos reproductivos y nanotecnología. En su conjunto se orientan a modificaciones en la genética animal, medicamentos, vacunas y anticuerpos, y la mejora en la eficiencia energética, todo lo cual se traduce en un crecimiento saludable de los cerdos y el incremento en los índices productivos como la ganancia de peso y el número de cerdos destetados por camada.

La investigación relacionada con la producción de alimentos y piensos para cerdos busca reducir enfermedades, contribuir con el aumento de peso, la tasa de conversión alimenticia y la mejora de la calidad de la carne; sus principales aplicaciones son para control de *Salmonella* y *E. coli*. Los logros en alimentación porcina documentaron una reducción en la incidencia de diarrea de origen bacteriano, así como mortalidad asociada (76), mejoras en la digestión de nutrientes, la reducción de emisiones ambientales (77), el aumento de

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

peso, la mejora en las características nutricionales y organolépticas, la reducción del estrés post destete y la reducción de la colonización de patógenos intestinales (78).

Los principales desarrollos para la salud porcina se enfocaron en las vacunas y los anticuerpos, principalmente para PRRS, FMD, CSF, *Salmonella* e influenza, que según VanderWaal y Deen fueron los principales tópicos a nivel mundial de publicación científica entre 1966 y 2016 con 21,858 publicaciones relacionadas con organismos patógenos zoonóticos, enfermedades que afectan a la producción y enfermedades reportables. Estas cinco enfermedades están consideradas entre las enfermedades que provocan mayores pérdidas animales, sobre todo en el caso de PRRS, que fue considerada la enfermedad económicamente más significativa (22,79,80). CSF, FMD e influenza son consideradas enfermedades con alto impacto epidemiológico; CSF y FMD son enfermedades de reporte obligatorio ante la OIE, mientras que la influenza y Salmonelosis enfermedades zoonóticas y de afectación a la producción. Por otra parte, la investigación centrada en las vacunas atenuadas de virus y ADN ocuparon una parte muy importante en el control de enfermedades, superando la terapia con antibióticos, incluso en las condiciones locales de las comunidades latinoamericanas, sin afectar el aumento de peso ni la calidad de la carne (81).

Las principales contribuciones en genética se enfocan en la transgénesis; dichos desarrollos tecnológicos han documentado resultados de mejora en la capacidad de convertir el alimento en músculo y, por lo tanto, en la ganancia de peso (82), todo sin riesgo aparente para el consumo humano (83), además de un alto porcentaje de supervivencia embrionaria y una alta tasa de nacimientos, lo que aumenta las posibilidades de la transferencia embrionaria (84).

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA  
EN PAÍSES EN DESARROLLO

**Tabla 2. Clasificación de biotecnologías en la porcicultura y sus beneficios**

<b>Biología</b>	<b>Estrategia</b>	<b>Beneficios y logros</b>
Alimentación	Probióticos	<i>Bacillus L and S*</i> Baja incidencia en diarrea post destete debida a <i>E. coli</i> . Mejora en la ganancia de peso y calidad de canal (76).
		Oligosacáridos Incrementos en la calidad de la carne y composición del canal. Reducción de organismos patógenos intestinales (78).
	Prebióticos	Lactulosa Incremento en la digestibilidad energética en la concentración de lactobacilos fecales, disminución en los recuentos de <i>E. coli</i> y emisión de NH <sub>3</sub> en los cerdos al destete (77).
	Inmuno-moduladores	Polisacáridos Mejora en la calidad de la carne por el incremento de antioxidantes y la función inmune de cerdos finalizados (85).
	Promotores de crecimiento	Somatotropina Aceleración del crecimiento y eficiencia alimentaria (86).
	Enzimas	Glucanasa, Xylanasa Mejora en el crecimiento y la digestibilidad nutricional (87).
Vacunas y anticuerpos		PRRS Mostró protección efectiva, sin signos clínicos de enfermedad y afectación en la ganancia promedio de peso (88).
	Vivos atenuados	CSF Protección a los 7 y 28 días post vacunación (89).
		<i>Salmonella</i> La salmonelosis clínica se resolvió y el desprendimiento de <i>S. Typhimurium</i> disminuyó, con reducción de deposición con <i>Salmonella</i> (90).
	Muertos o inactivados	<i>Salmonella</i> <i>S. Typhimurium</i> no se detectó en muestras fecales, en contraste con el tratamiento antibiótico (91).
		Influenza Inmunidad celular y humoral contra cepas de virus a los genes de la vacuna de ADN (92).
	ADN	Fiebre aftosa Mayores respuestas inmunes humorales, niveles de IgG2 y respuesta de proliferación, que la vacuna inactivada (93).
		<i>Taenia solium</i> Al combinar dos antígenos recombinantes, la transmisión se controló en áreas donde la enfermedad es endémica. (81).
	Recombinantes	CSF Los cerdos no mostraron signos de infección y su crecimiento no se vio afectado, además de encontrar altos niveles de anticuerpos neutralizantes anti-CSFV (94).
	Inmuno-castración	Anti-GnRH Compuestos inferiores para la contaminación del jabalí, escatol y androstenona. Eficiencia alimenticia mejorada sin perjudicar la calidad de la canal o la carne. (95).
Genéticas	Transgénesis	Transferencia nuclear de células somáticas Los descendientes de los clones son similares a la descendencia de los animales criados naturalmente, sin aumentar los riesgos en su consumo. (83).
		Expresión de GH Capacidad reproductiva y la salud normales, con incrementos en la eficiencia alimenticia, los procesos de producción y el rendimiento de carne (82).
	Transferencia embrionaria	Vitrificación embrionaria El medio utilizado logró un alta supervivencia embrionaria, en comparación con los medios más utilizados (96).
Nanotecnología		Nano-biosensor de oro El biosensor óptico nanofotónico es un método factible para la detección de PRRSV (97).
	Nano materiales	Nanocrio-preservación Método de detección eficiente para la identificación preclínica del virus de la diarrea epidémica porcina (98).
		Nano compuestos Mejoró la supervivencia y el desarrollo de ovocitos (99).
		Mesoporos de sílice Útil en empaques cárnicos (100).
		Mesoporos de sílice Aplicación en circovirus porcino tipo 2, vacunas y liberación de fármacos (101).

\**B. licheniformis and B. subtilis*. Fuente: con datos de Web Of Science.

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

Las publicaciones de nanopartículas están enfocadas principalmente en la detección y control de enfermedades, con importantes resultados en vacunas, liberación de fármacos y sensores para detección de virus (97,98,101). Los resultados de otras investigaciones mostraron una respuesta inmune adecuada en la generación de vacunas y métodos de detección más eficientes, sin signos de enfermedad (88). Con aplicaciones en el diagnóstico (97) y tratamiento de enfermedades, células y genes (102), con excelentes efectos protectores cuando se usan nanomateriales como vacunas (103). También, se encontraron avances en la reproducción porcina, con el uso de nanopartículas, entre ellas, se ha documentado menor toxicidad en la nano-crio preservación de ovocitos y una tasa del 100% en el desarrollo de ovocitos porcinos (99). Mientras que para la producción y empaque de subproductos cárnicos se encontraron mejoras en la vida de anaquel por propiedades de nanocompuestos híbridos y nanopartículas de ZnO para el empaque y envasado de carne (100).

### **3.3 Análisis bibliométrico y de patentes de bionanotecnología porcina**

En este trabajo se utilizó el análisis de patentes como un indicador del nivel científico y tecnológico de producción de bionanotecnología porcina para medir la capacidad y actividad inventiva de la región y evidenciar la dinámica del proceso de innovación (104). Sin embargo, aunque las políticas de ciencia y tecnología en los países latinoamericanos no tienen las mismas características que los países desarrollados, las políticas públicas de ciencia, tecnología e innovación comenzaron en los años 50 y se fortalecieron entre 1980 y 2000; este hecho condujo a una alta dependencia de las importaciones tecnológicas en la región debido a la baja inversión en investigación y desarrollo (105). Sin embargo, a pesar de la alta dependencia tecnológica y la baja producción de patentes por residentes nacionales, las tendencias de publicación y patentes muestran prioridades de investigación (2) y tendencias de mercado. Más allá de eso, se ha demostrado que no sólo la investigación nacional agrícola, sino también la transferencia de tecnologías extranjeras promueve el crecimiento productivo del sector agropecuario nacional (106).

Una búsqueda general en bases de datos de patentes permitió observar que, del total de las patentes registradas con aplicaciones porcinas, entre 2005 y 2018, Estados Unidos registró

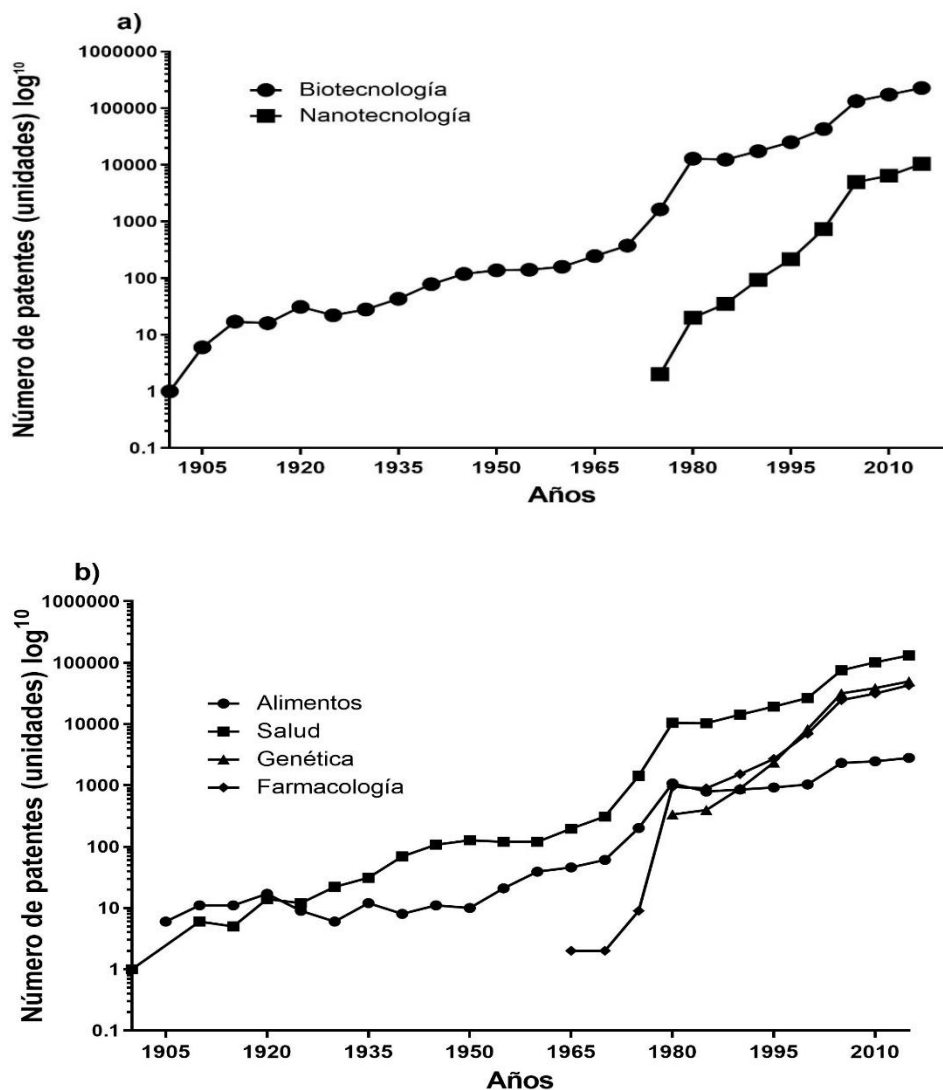
## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

cerca del 50%, y Australia más del 20%. Alrededor del 18% de las patentes a nivel mundial se registraron vía PCT (Tratados de cooperación) en la OMPI, mientras que la Oficina Europea de Patentes registra el 7% de las mismas, China registró el 5% y Japón con el 1%. Del total de las patentes identificadas, 65% pertenece a patentes bionanotecnológicas, mientras que 35% son no biotecnológicas. El tema predominante es la salud porcina, comprendiendo aspectos relacionados con vacunas, virus, patógenos, enfermedades y fármacos.

Con el fin de identificar las dinámicas de investigación científica y el registro de patentes bionanotecnológico en los principales productores porcinos de América Latina, se realizó un análisis en las bases de datos internacionales 'Lens', 'WIPO' y 'Web of Science', en los últimos 19 años (2000 a 2018).

Las primeras patentes de biotecnología porcina se registraron en 1903, en Estados Unidos, en aspectos relacionados con salud (60% del total), seguido de farmacología (18%), otras biotecnologías (11%), genética (9%) y alimentación (2%). Las patentes relacionadas con vacunas, genética, reproducción, clonación y farmacología mostraron un mayor número de registros, mientras que las patentes relativas a alimentos fueron las de menor producción a partir de 1980 (Figs. 3a y 3b). Las patentes sobre nanotecnología porcina se registraron por primera vez en los Estados Unidos en 1975; entre 1990 y 2000 el registro de estas patentes incrementó más de siete veces, pasando de 93 a 734, sin embargo, entre 2000 a 2015 hubo un crecimiento de 1300%. Los datos presentaron un coeficiente de determinación de 70%, lo que exhibe un incremento muy importante en la tendencia de dichas publicaciones (Figura 3a).

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO



**Figura 3. Patentes relacionadas con biotecnología y nanotecnología porcina en los Estados Unidos desde 1900 hasta 2018.** Patentes totales de aplicaciones biotecnológicas y nanotecnológicas en la producción porcina (la búsqueda se realizó con algoritmos de búsqueda, incluidos en anexos) (a); y un total de la patente por tipo de aplicación biotecnológica (b). Los datos se presentan en la suma de cinco años y la escala logarítmica base 10 (fuente: [www.lens.org](http://www.lens.org) y WIPO, 01-01-1900 a 31-07-2018).

En los países latinoamericanos el número de patentes solicitadas y otorgadas fue menor que en Estados Unidos. Brasil fue el primero con registros de patentes de biotecnología porcina (1985), seguido de México (1992), Argentina (1995) y Chile (2005). Brasil y México mostraron un crecimiento desde el año 2000 (Fig. 4a), mientras que Argentina y Chile han

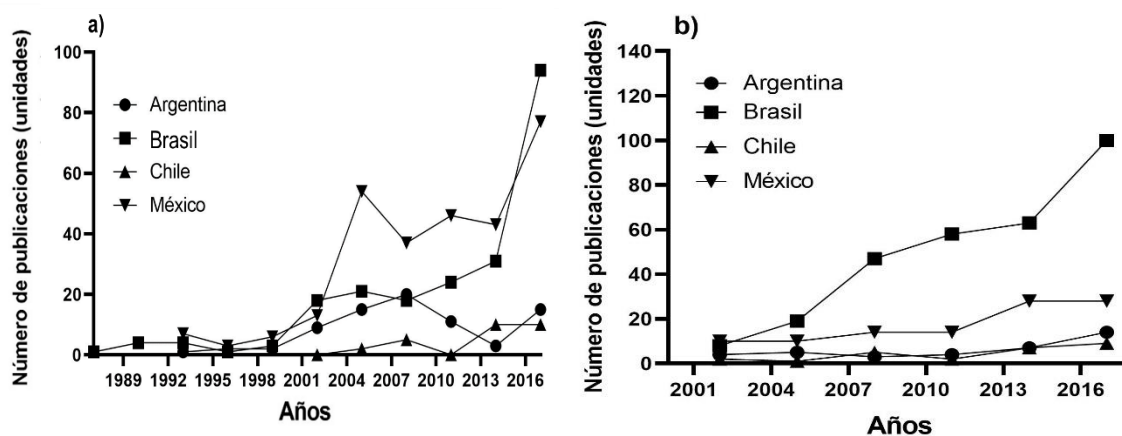


## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

crecido menos. En los cuatro países de América Latina, los principales desarrollos fueron en alimentación y en salud (enfermedades, virus, vacunas y productos farmacéuticos).

México fue el primero en comenzar a registrar patentes de nanotecnología (2000), seguido de Brasil (2001), Argentina (2004) y Chile (2008). Los registros de patentes en torno a nanotecnología fueron pocos; de alguna manera la trayectoria de este campo ha sido incipiente, pero se considera que crecerá en algunas décadas, principalmente porque recién comenzó en aplicaciones animales (73), especialmente en países en desarrollo.

Las publicaciones científicas comenzaron registros en 1998 en Brasil y México, mientras que Chile y Argentina comenzaron en 2000. Brasil claramente lidera las publicaciones científicas en bionanotecnología porcina con 295 artículos (Fig. 4b).



**Figura 4. Patentes (a) y publicaciones científicas (b) de bionanotecnología porcina en Argentina, Brasil, Chile and México 1980 a 2018.** Los datos se presentan en suma de cinco años (fuente: [www.lens.org](http://www.lens.org) y WIPO, 01-01-1980 a 31-07-2018).

### 3.4 Tópicos y tendencias de la bionanotecnología porcina

En el período comprendido entre 2000 y 2018, se identificaron 576 patentes y 439 artículos sobre bionanotecnología porcina en América Latina, que se distribuyeron en alimentos, salud, genética y ambientales. La figura 5a contrasta los temas en patentes e investigación, donde la alimentación ocupa 48% de las patentes, seguida de patentes de salud con 45%. Los tópicos de salud encabezaron las publicaciones científicas (66%), de manera consistente con los hallazgos de VanderWaal & Deen (2018), que identificaron una tendencia creciente en la

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

priorización de aspectos relacionados con los organismos patógenos, mientras que los artículos relacionados con biodegradación y aspectos ambientales constituyen el segundo tópico priorizado (13%), seguido de alimentos (11%).

La Figura 5b muestra los temas principales de las patentes alimentarias y la publicación de investigaciones científicas. Las principales patentes de alimentos se basan en cuestiones nutricionales, seguidas de inmunomoduladores, estimulantes del crecimiento y enzimas, así como probióticos y prebióticos. La fitasa es la enzima más comúnmente implicada en las patentes, dado que se relaciona con reducciones en la contaminación ambiental generadas por las granjas porcinas (46), mientras que las publicaciones científicas están encabezadas por la biodegradación e inocuidad de la carne.

La Figura 5c muestra la frecuencia de las patentes y publicaciones científicas sobre enfermedades, virus y vacunas. Las patentes están dirigidas a circovirus y PRRS, pero en artículos científicos la gastroenteritis es el tema principal, dada su relación con brotes clínicos en humanos y animales (107). Las tendencias mundiales en publicación científica relacionada con salud están encabezadas por la gastroenteritis (entre las que se encuentran *Salmonella*, *E. coli* y *Trichinella*), mientras que las enfermedades respiratorias (influenza y PRRS) ocupan el segundo lugar, en congruencia con los hallazgos de VanderWaal & Deen (2018). Incentivadas por la diseminación de estas enfermedades en la mayoría de las regiones productoras de cerdos del mundo, generando pérdidas significativas para la industria porcina (88).

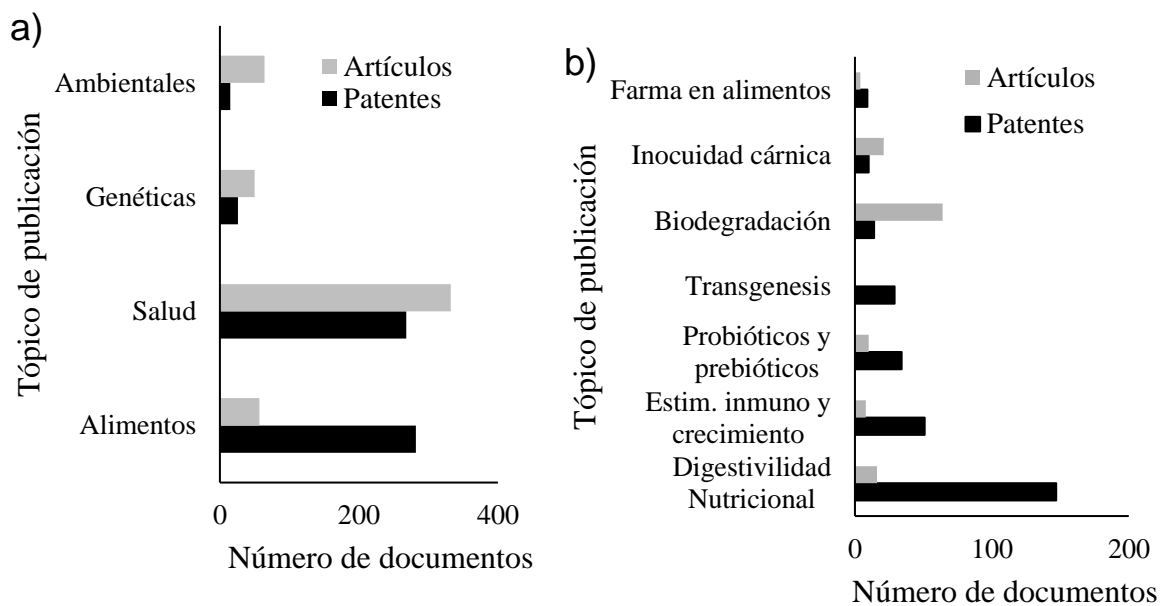
De acuerdo con VanderWaal & Deen estas tendencias temporales en los tópicos de salud están determinadas por la aparición de enfermedades, así como por el cambio en las cepas y la patogenicidad (2). Durante el periodo, Circovirus porcina y PRRS fueron enfermedades de gran importancia económica en todo el mundo. En el caso de PRRS, se observaron incrementos en las pérdidas animales desde su primer reporte en 1987 en Estados Unidos (108), dicho incremento estuvo determinado principalmente por el aumento en la mortalidad perinatal, reducción en el crecimiento, problemas de bioseguridad así como aumentos importantes en los costos de medicamentos y vacunas (109,110). A la vez, se describieron dos subtipos [genotipo europeo (tipo 1) y el norteamericano (tipo 2)] (110) diseminados en

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

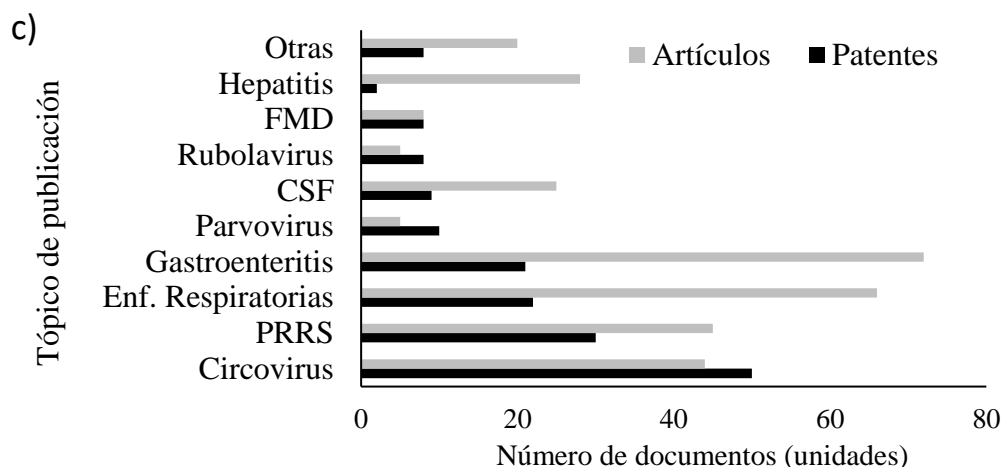
América Latina y otros países, que generaron grandes problemas, como en el caso de Chile, donde se aislaron cepas del tipo 2, además de PRRSV nacional de menor patogenicidad que el tipo 2 (111). En México, se registraron infecciones por el virus tipo 2, desde inicios de 1994, causando importantes pérdidas económicas en el país a partir de dicho año (112–114).

Las tecnologías principalmente registradas en las patentes fueron vacunas de vectores recombinantes y vacunas de ADN. En artículos científicos, se utilizan varias técnicas, como pruebas ELISA, PCR y vacunas DIVA. Ese tipo de pruebas de diagnóstico son requeridas por el movimiento internacional de animales y productos de origen animal y se consideran óptimas para determinar el estado de salud de los cerdos, mientras que las pruebas de ELISA se prescriben principalmente para el diagnóstico de la enfermedad de Aujeszky, fiebre aftosa, peste porcina africana y peste porcina clásica (115).

Adicionalmente, se observaron temas similares en las patentes y la literatura científica. Los temas recurrentes en los documentos de inocuidad de la carne fueron *Taenia solium*, toxoplasma y *Salmonella*, dado que este problema se asocia comúnmente con los cerdos domésticos (115) y en el sistema de producción porcina libre de antimicrobianos al aire libre, un nicho de mercado en crecimiento (116).



## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO



**Figura 5. Patentes de bionanotecnología y publicaciones científicas sobre bionanotecnología en torno a la producción porcina** (a) tópicos de alimentos en patentes y artículos (b), tópicos de enfermedades y organismos patógenos en patentes y artículos (c) en Argentina, Brasil, Chile y México (fuente: [www.lens.org](http://www.lens.org) y datos de WOS, del 1 de enero de 2000 al 31 de julio de 2018).

El análisis anterior permite observar que el tema dominante de publicación y patentes porcinas en América Latina es la salud, lo que pudiera estar relacionado no sólo con la diseminación de enfermedades, la mortalidad asociada a las mismas y las zoonosis, sino también con el costo sanitario generado, que en Latinoamérica ocupa 4.8% del total de los costos de producción (2014), siendo Colombia el país con el mayor costo sanitario de América Latina, seguido de Argentina, Bolivia y México (117).

Las publicaciones encontradas sobre bacterias y virus fueron más evidentes que las relacionadas con enfermedades parasitarias (como cisticercosis y triquinosis), lo que puede deberse a mejoras en la bioseguridad, lo cual, pudo impactar también la reducción de enfermedades de notificación obligatoria ante la OIE, tal como FMD en Argentina y Brasil, y CSF en México (118,119), en los últimos años.

Otro fenómeno observado en los países latinoamericanos fue que la mayor parte de las publicaciones en patentes y artículos estuvo enfocada en enfermedades que afectan la producción y enfermedades reportables ante la OIE, como Circovirus, PRRS, CSF y FMD. Sin embargo, la atención brindada a zoonosis sigue siendo muy importante en ambos sectores de investigación, con enfoque tanto en los animales como en aspectos de seguridad e

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

inocuidad cárnica, centrada principalmente en *Salmonellosis*, *E. coli*, virus de influenza, *T. Solium*, CSF, FMD y virus de hepatitis. Es posible que estos tópicos relacionados con zoonosis sean aspectos prioritarios en las políticas sanitarias de estos países.

Por otro lado, las diferencias regionales entre los países latinoamericanos y otros países en desarrollo se manifestaron principalmente en el estudio de organismos patógenos, como *Salmonella* y *T. Solium*, mientras que en los países asiáticos fue más evidente la generación de conocimiento y tecnología para enfermedades de gran afectación, como PRRS y FMD.

### 3.5 Consideraciones finales del capítulo

Este capítulo permite observar que la salud es un tema de gran importancia en publicaciones científicas, así como en patentes, cuyos principales tópicos son circovirus, PRRS, *Salmonella*, *E. coli*, virus de influenza, *Trichinella* y *T. solium*. Un tema con gran auge en las publicaciones científicas es el tratamiento de aguas residuales y la biorremediación, dado el impacto ambiental producido por las explotaciones porcinas de América Latina. También se observó un incremento de investigaciones centradas en la detección y caracterización epidemiológica de diferentes virus, genotipos y cepas en poblaciones específicas o estudios de caso, sin abordar la situación a nivel de país o región, lo que ha sido observado también en otros estudios en América Latina. Muchas de las publicaciones relacionadas con salud animal se centran en aspectos de inocuidad alimentaria para prevenir zoonosis dada su importancia para el humano.

A pesar del gran cúmulo de patentes y artículos relacionados con la salud porcina, un aspecto importante que queda fuera de este análisis cuantitativo es la evidencia científica del estatus de salud a mayor escala, pues como se mencionó existe un gran cúmulo de estudios de caso o análisis de zonas específicas, con lo cual, no es posible ponderar el estatus y la mejora en las condiciones sanitarias porcinas. De la misma manera, resulta difícil inferir el impacto tecnológico sobre la porcicultura sin contar con metodologías cuantificables que sirvan de base para futuros estudios de modelado.

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

Los dos tópicos principales identificados en este análisis (salud y alimentos) pueden utilizarse como una variable proxy para analizar o modelar el impacto de la tecnología sobre la producción porcina, y dado que el más representativo a nivel regional y mundial es salud, en esta tesis se propone una metodología para comparar la condición de salud a nivel nacional o regional, como base no sólo para futuras inferencias del impacto tecnológico en la salud, sino para evaluaciones de la efectividad en el control sanitario en América Latina, así como para la promoción de políticas sanitarias. En el siguiente capítulo se presenta la propuesta metodológica de un índice para evaluar la salud porcina y realizar comparaciones entre países.

## Capítulo 4. Propuesta metodológica de la tesis

La estrategia metodológica de desarrollo del trabajo de investigación se muestra en la Figura 6. En este esquema se representa el proceso que se siguió para la obtención del índice M $\mu$ L, su validación y la evaluación de posibles tendencias de enfermedad basadas en el índice. El cual, partió de la revisión del estado del arte, aunado a un análisis bibliométrico y de patentes, la recolección y el análisis de datos de la plataforma WAHIS de la OIE, el análisis de la interacción de las variables fundamentales para el establecimiento de un índice y la determinación de los parámetros aceptables y críticos de morbilidad, mortalidad y pérdidas (que fueron considerados como las variables con mayor importancia para el funcionamiento del índice), para terminar con el diseño del índice y su validación.



Figura 6. Esquema del proceso metodológico

#### **4.1 Diseño metodológico**

La metodología planteada en esta tesis consiste en una investigación longitudinal (entre 2005 y 2018) y de comparación del estado de salud porcina validada en veintiún países (19 de los principales países productores de cerdos del mundo y 2 con baja producción), que juntos comprenden aproximadamente el 85% de la producción mundial de carne de cerdo (existencias en 2017).

Así pues, el presente trabajo propone un índice de salud multidimensional que incluye variables epidemiológicas (mortalidad, morbilidad y patógenos), económicas (pérdidas animales) y sociales (tamaño o tipo de unidad epidemiológica y categorizaciones de impacto socioeconómico), con una aportación teórica en la propuesta de criterios de criticidad, para morbilidad y para pérdidas.

Se determinó el estado de salud de Argentina, Brasil, Canadá, China, Chile, Dinamarca, Francia, Alemania, India, Italia, Japón, México, Birmania, Países bajos, Filipinas, Polonia, República de Corea, Federación Rusa, España, USA y Vietnam con el índice propuesto, que fue contrastado con las metodologías más utilizadas en evaluaciones epidemiológicas: estimaciones de incidencia y clústeres espaciotemporales (21) para las cuatro enfermedades porcinas preeminentes presentadas en el período indicado. Además, categorizamos los estados de enfermedad según los resultados del índice.

#### **4.2 Análisis y estructura de datos**

Se consideraron datos de notificaciones inmediatas a la Organización Mundial de Salud Animal (OIE) de eventos significativos en los países antes mencionados, incluyendo las siguientes variables: manifestación de enfermedad (sin impacto animal, infección subclínica y clínica, y enfermedades emergentes), número de brotes, animales susceptibles, casos, muertos (por enfermedad y sacrificio), fecha de notificación y resolución del brote, así como, tipo de unidad epidemiológica;<sup>1</sup> los datos se obtuvieron de la interface WAHIS de la

---

<sup>1</sup> Unidad epidemiológica (traspacio, granjas, villas, matadero y mercado de carne) es la terminología usada por la OIE.



## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

OIE, para el periodo del 01-01-2005 a 31-07-2018. Para el mismo periodo se obtuvieron datos de FAOSTAT, del stock porcino de cada país.

### 4.3 Índice de salud porcina M<sub>μ</sub>L

El método utilizado en este trabajo consta de cuatro partes: 1) analiza el efecto de las enfermedades en los países estudiados con cuatro dimensiones (morbilidad, mortalidad, pérdidas y tipo de enfermedad); 2) evalúa el daño entre las cuatro enfermedades más letales reportadas en el período, con los mismos criterios; 3) compara el análisis multidimensional con las dos metodologías más utilizadas en salud animal: incidencia de enfermedades y análisis espaciotemporales; 4) establece categorías de impacto con base en la evaluación del índice y el comportamiento observado en la epidemiología de los países.

Para elaborar nuestro índice, los datos de salud (brotes, stock y distribución geográfica) fueron divididos en tres periodos: 2005-2008, 2009-2013, y 2014-2018, considerando la mortalidad, la morbilidad, las pérdidas y las características de las enfermedades.

Para simplificar los cálculos y la interpretación del índice propuesto, se dividió cada una de estas variables en categorías bajo (*a*), medio (*b*) y crítico (*c*). Para la mortalidad, está basado en el Atlas Mundial de Enfermedades Ganaderas del Banco Mundial, el foro TAFS, la OIE y la FAO. El umbral para esas categorías es 0.01 y 0.25, considerando que estos parámetros están subestimados para los cerdos, dado que es el tercer animal con mayor proporción de pérdidas (7) y dichos parámetros se utilizaron en relación con poblaciones mundiales de aves, cerdos, vacas, ovejas, cabras, caballos, camellos y búfalos, principalmente, con más de 70 enfermedades. Además, se propusieron dos límites de morbilidad 0.01 para aceptable y 0.02 para crítico, estos dos últimos se obtuvieron de una determinación estadística de rangos aceptable y crítico para morbilidad porcina con veintinueve observaciones de brotes reportados (32) de 21 países entre 2005-2018 (ver anexo 2) . Para fraccionar las pérdidas, la alta morbilidad que produce baja mortalidad definió el límite para bajas pérdidas,  $0.01/0.02 = 0.5$ , mientras que la baja morbilidad que se traduce en alta mortalidad determinó el umbral para pérdidas críticas,  $0.25/0.01 = 25$ .

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

La mortalidad y la morbilidad permiten estimar el daño de las enfermedades en proporción al número de cabezas por país. La notación utilizada para calcular la mortalidad fue:

$$\mu = d/s$$

$d$  representa todos los animales muertos, sacrificados y destruidos de todas las enfermedades notificadas por país en cada período, y  $s$  es el total de las existencias de un país en el mismo período.

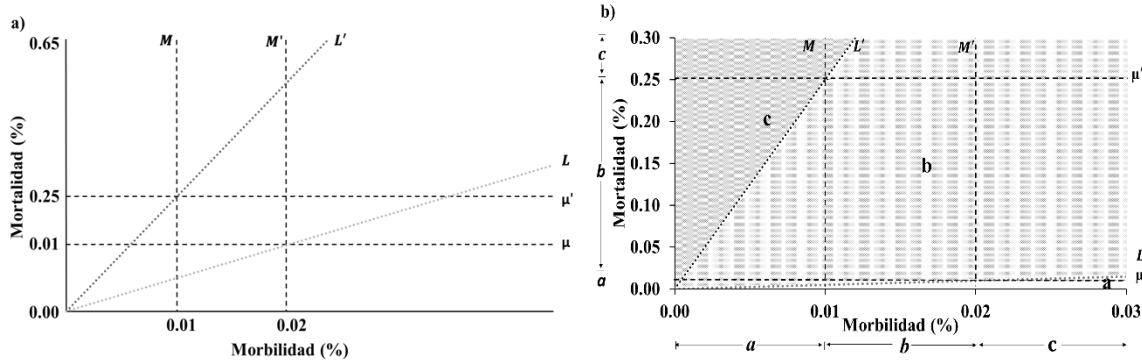
La ecuación utilizada para calcular la morbilidad fue:

$$M = c/s$$

donde,  $c$  denota todos los casos diagnosticados para todas las enfermedades por país en cada período. La proporción de pérdidas ( $L$ ) es un indicador de la letalidad y el potencial de gravedad de las enfermedades en cada país; ese indicador es la pendiente de una línea que pasa por el origen y pasa por un punto en el plano de morbilidad ( $M$ ) y mortalidad ( $\mu$ ), como en la Figura 7a.

Se representaron los tres rangos de afectación: bajo, leve y crítico, para cada variable, como  $a$ ,  $b$  y  $c$ . El estado de salud de una región o país se denotará utilizando la triada ( $M$ ,  $\mu$ ,  $L$ ). Por lo tanto, un país con  $(c, b, a)$  correspondería a un lugar con morbilidad crítica, mortalidad leve y bajas pérdidas. El índice será simplemente la suma de todos los elementos de la tríada:  $a + b + c$ . Solo se necesita establecer el valor para cada nivel  $a$ ,  $b$  y  $c$ , como se observa en la Figura 7b.

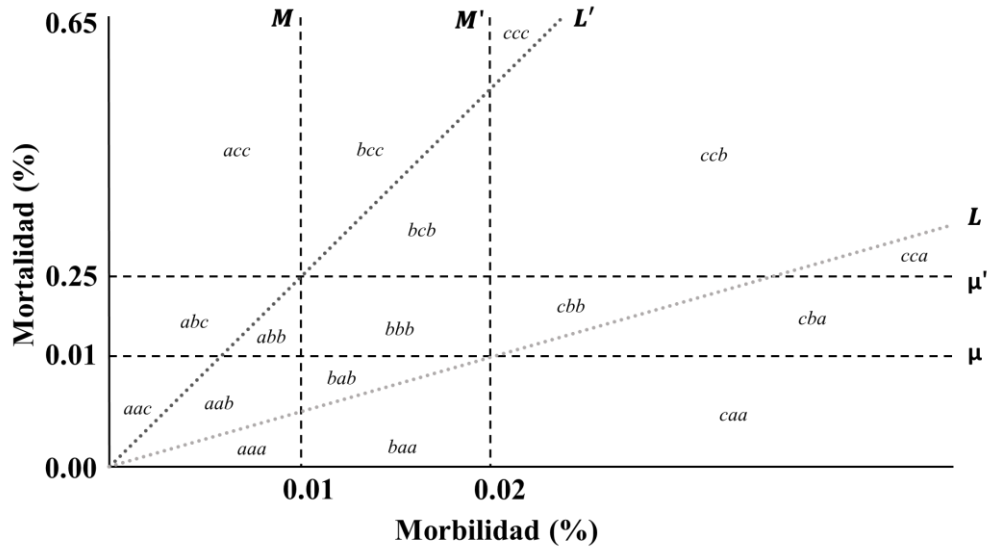
## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO



**Figura 7. Representación gráfica de morbilidad (M), mortalidad ( $\mu$ ) y pérdidas (L) (Figura a), que muestra límites de la triada [aceptable (M,  $\mu$ , L), intermedio y crítico ( $M'$ ,  $\mu'$ ,  $L'$ )] (Figura b). El área blanca, gris claro y gris medio en 1.b, representan los límites aceptables, intermedios y críticos de las pérdidas, respectivamente. Las líneas punteadas indican límites de morbilidad y mortalidad. Las pendientes representan el rango aceptable (L) y crítico ( $L'$ ) de pérdidas.**

Si se observa en la Figura 8, hay 17 combinaciones posibles de los niveles  $a$ ,  $b$  y  $c$  en las tres posiciones de la triada (la figura sólo muestra 14 de ellas, dados los rangos mostrados), en la zona delimitada por morbilidad y mortalidad aceptable sólo encontramos  $a$  para estas dos variables, en el caso de pérdidas, existe la posibilidad de encontrar los tres niveles  $a$ ,  $b$  o  $c$ , resultando tres combinaciones posibles  $aaa$ ,  $aab$  o  $aac$ . En el área comprendida por morbilidad intermedia y mortalidad aceptable, las posibilidades para pérdidas son  $a$  o  $b$ , lo que establece dos combinaciones de la triada,  $baa$  y  $bab$ . La tercera línea posible de combinaciones para morbilidad comenzaría con  $ca$  y dado que la única posibilidad es el nivel de pérdidas aceptables, tendríamos que la única combinación es  $caa$ . Siguiendo ese orden lógico se pueden inferir todas las combinaciones posibles (Tabla 3). Para encontrar los valores de  $a$ ,  $b$  y  $c$ , se simplificaron las cosas al establecer que el índice sólo asumirá los valores 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1.

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO



**Figura 8. Representación gráfica de posibles combinaciones de la triada [morbilidad (M), mortalidad ( $\mu$ ) y pérdidas (L)].** Las líneas punteadas indican límites de morbilidad y mortalidad. Las pendientes representan el rango aceptable ( $L$ ) y crítico ( $L'$ ) de pérdidas.

Si el índice va de 0 a 1, se asigna 0 al más bajo, *aaa*, lo que implica que  $a + a + a = 0$ , es decir,  $a = 0$ . Por lo tanto,  $a + a + b = 0.2$ , no importando en qué orden se coloquen estas letras. Se tiene entonces que  $b = 0.2$ . Para encontrar el valor de  $c$ , se acepta que una triada con 2  $c$ 's y una  $b$  (*ccb* y *bcc*) debe considerarse crítico. Eso significa que  $c$  debe tener un valor no menor a 0.4. Se eligió este límite como su valor,  $c = 0.4$ . Claramente, *ccc* llevaría a 1.2, y simplemente se establece en el valor máximo 1. Este razonamiento llevó a la siguiente tabla.

**Tabla 3. Índice M $\mu$ L con posibles combinaciones, valor cunfitativo e impacto.**

Índice M $\mu$ L	Score	Impacto
Posibles combinaciones		
<i>aaa</i>	0	Nulo
<i>aab, baa</i>	0.2	Bajo
<i>abb, aac, bab, caa</i>	0.4	Bajo-medio
<i>bbb, abc, cba</i>	0.6	Medio-alto
<i>acc, cca, cbb, bcb</i>	0.8	Alto
<i>bcc, ccb, ccc</i>	1	Crítico

Las combinaciones siguen el siguiente patrón: M,  $\mu$ , L (morbilidad, mortalidad y pérdidas). Combinaciones de la triada que generan valores cuantitativos (score) e impacto. Su estado se muestra con a=aceptable, b=intermedio and c=crítico.

#### 4.4 Clasificación de patógenos

Los riesgos informados fueron: virus de pseudorabia, bacillus anthracis, virus de ASF, brucella, virus de CSF, *T. solium*, erisipela, aftosa virus, virus de la influenza, virus de la encefalitis japonesa, nuevo coronavirus entérico, virus de PRRS, virus de gastroenteritis transmisible, virus de estomatitis vesicular, virus de diarrea epidémica porcina y *Trichinella*.

De acuerdo con el manual de gestión de riesgos de la OCDE (2011), la clasificación sanitaria de enfermedades como grado de peligro de la OIE (2019), la manifestación de la enfermedad y el costo de las enfermedades animales de emergencia del Concilio Australiano de Salud Animal (2016), se definieron tres categorías para los patógenos causantes de enfermedades. Se le asignó “+++” a los patógenos que causan enfermedades catastróficas, “++” a comercializables y “+” a enfermedades normales (ver Tabla 4).

**Tabla 4. Clasificación de patógenos porcinos por tipo de riesgo**

Patógeno	Categoría	Ponderación*
Virus de ASF	Catastrófico	+++
Virus de CSF		
Aftosa virus (FMD)		
Virus de la influenza		
<i>Trichinella</i>		
Bacillus anthracis	Comercializable	++
Virus de pseudorabia		
Brucella		
<i>T. solium</i>		
PRRS virus		
Estomatitis vesicular virus		
Gastroenteritis transmisible	Normal	+
Erisipelas		
Novel coronavirus entérica		
PED virus		
Virus de la encefalitis japonesa		

Fuente: con información del Patrón de manejo de riesgo de OCDE (2011), la Clasificación de enfermedades de declaración obligatoria de la OIE (2019), y de las Categorías de Emergencia de Enfermedades Animales del Concilio Australiano de Salud Animal (2016). \*Con “+” se muestra la ponderación del daño de las enfermedades de acuerdo con su categoría.

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

La mayoría de las enfermedades dañinas desde el punto de vista epidemiológico y socioeconómico corresponden a la categoría catastrófica, aquellas con un nivel intermedio de incidencia y proporción de pérdidas se definen como comercializables, mientras que los de menor riesgo son normales, es decir, enfermedades frecuentes, pero no demasiado dañinas, comúnmente manejadas a nivel de granja (OCDE, 2011).

### **4.5 Distribución espaciotemporal de enfermedades**

Se utilizó la distribución espaciotemporal de enfermedades para evaluar la correspondencia entre el índice desarrollado y la diseminación de la enfermedad a nivel regional y nacional en los períodos descritos anteriormente.

Para el análisis de difusión geográfica, se procesó una matriz que contenía datos de brotes de las unidades epidemiológicas afectadas por ASF, CSF, FMD y PRRS, utilizando el software estadístico R, versión 3.1. (<http://cran.r-project.org>) para la visualización, con un mapa proporcionado por GISTools, archivo de forma del mapa mundial ([www.arcgis.com/](http://www.arcgis.com/)) y coordenadas de (<https://www.coordenadas-gps.com/>).

### **4.6 Consideraciones finales al capítulo**

La metodología aquí propuesta es útil para evaluar las diferentes enfermedades presentadas por animales porcinos, y fue validada con datos poblacionales de veintiún países, procedentes de reportes de brotes de enfermedades, presentados por unidades epidemiológicas como pueblos o villas, unidades de traspatio, granjas, mataderos y obradores u otros centros de abastecimiento cárnico, entre 2005 y 2018. Quedó pendiente su validación directa en granjas con datos de primera mano, sin embargo, es muy probable que las evaluaciones en granjas locales o poblaciones de menor tamaño congruentes con los análisis aquí presentados. De igual forma, se espera que los criterios de morbilidad, mortalidad y pérdidas aquí propuestos sean aplicables a dichos niveles productivos, dado que los parámetros utilizados consideraron los niveles aceptables y críticos en cada etapa productiva o tipo de granja (maternidad,

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

engorda y finalización), por lo que se considera que esta metodología es útil para los diferentes estratos y niveles de producción.

Es importante mencionar que esta metodología está acotada para enfermedades infecciosas, de manera que el impacto de la mortalidad y morbilidad pre y post-destete u otros problemas productivos asociados con la morbilidad y mortalidad no están considerados en esta propuesta.

Por otro lado, la limitación temporal del análisis de datos no permite identificar los problemas actuales relacionados con el brote de ASF, sin embargo, se pudo inferir la tendencia de la enfermedad al observar los análisis y la dinámica de las enfermedades catastróficas aquí reportadas.

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA  
EN PAÍSES EN DESARROLLO



## Capítulo 5. Índice de salud porcina M $\mu$ L

Este capítulo presenta la evaluación multidimensional de la salud porcina y su validación con análisis de incidencias de enfermedades y dinámicas de diseminación espaciotemporal. En primer lugar, se presenta un panorama de la situación de salud enfrentada desde 2000, subsecuentemente se analiza la incidencia de enfermedades, se presentan los resultados del análisis multidimensional y su contraste con la diseminación espaciotemporal, finalmente se analizan cuatro categorías de brotes por su impacto epidemiológico, resultado del análisis multidimensional.

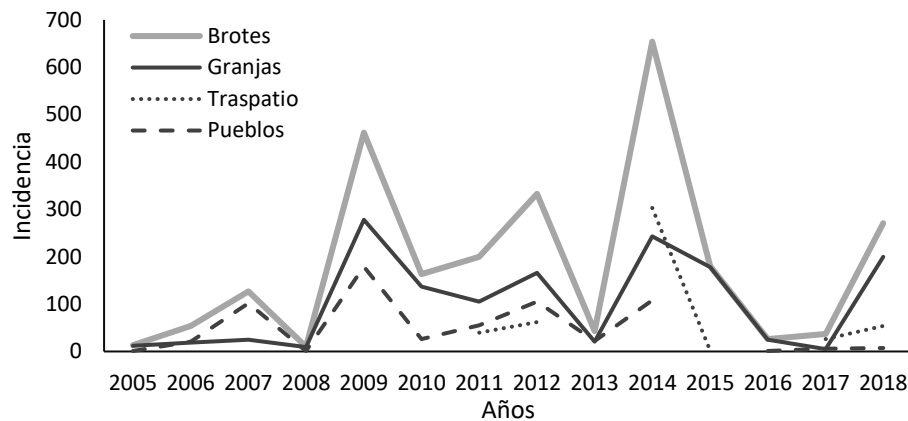
### 5.1 Panorama de salud 2000-2018

Entre 2000 y 2018, Brasil, India, México y Vietnam presentaron reducción de enfermedades. La mayoría de las enfermedades presentadas por Brasil y México se registraron antes de 2003. China tuvo un aumento de enfermedades en 31.4%, Rusia presentó varios brotes, especialmente al final del período, por lo que su crecimiento anual promedio fue de más del 3000%. La población de Argentina se vio afectada por la pandemia de influenza en 2009, mientras que Chile presentó un brote importante de PRRS en 2013 (OIE, 2018).

La mayoría de las enfermedades registradas ante la OIE pertenecen a enfermedades de la vida silvestre. Entre 2000 y 2018 las enfermedades más frecuentes fueron la gastroenteritis transmisible (27%), la peste porcina clásica (26%), el PRRS (17%) y la erisipela porcina (15%). En Argentina hubo más casos de influenza (54.7%), en Brasil la enfermedad más frecuente fue la rinitis atrófica (41%), en Chile fue PRRS (96%), en China fue gastroenteritis transmisible (36.7%), seguido de peste porcina clásica virus (26%), en India fue el virus de la peste porcina clásica (57%), en México el PRRS (70%), en Rusia era la gastroenteritis transmisible (42%) y en Vietnam fue la peste porcina clásica por virus (65%).

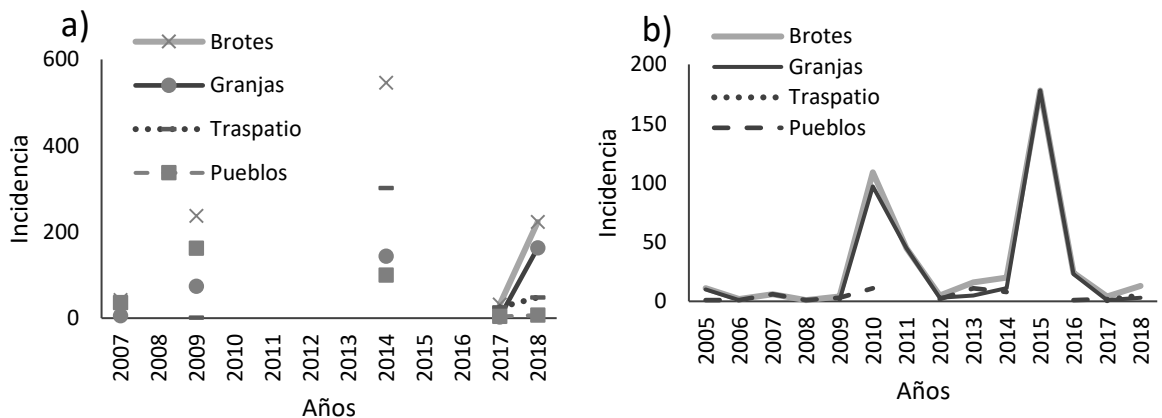
## 5.2 Análisis de incidencia de enfermedades reportadas

Entre 2005-2018, en los 21 países analizados, se notificaron 2.573 unidades epidemiológicas con 16 enfermedades, que produjeron 204 brotes (primer período), 1.201 (segundo período) y 1.168 (tercer período), de los cuales, 1,423 (55%) ocurrieron en granjas de producción comercial, 634 (25%) en pueblos y 506 (20%) en rebaños de traspato (Figura 9). Se procede a resaltar algunos hechos observados en las tablas y figuras correspondientes.

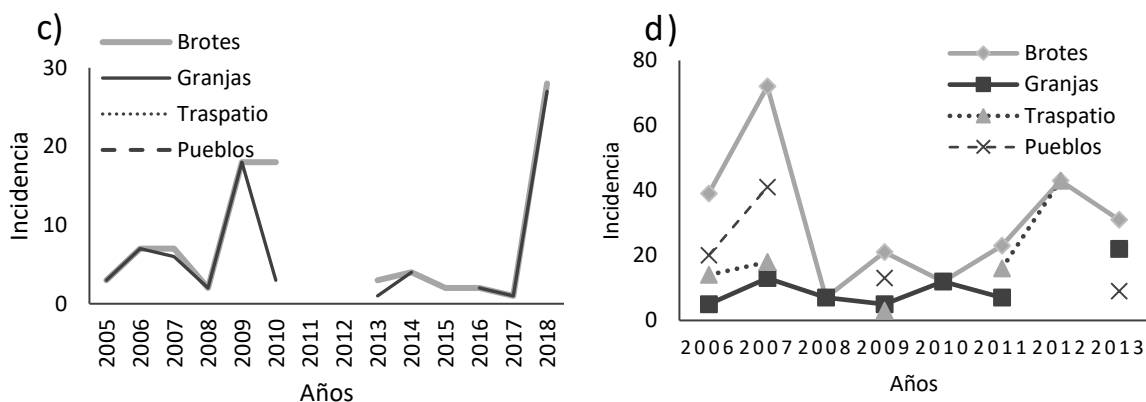


**Figura 9. Incidencia de enfermedades por unidades epidemiológicas de las dieciséis enfermedades reportadas de 2005-2018.**

La figura 10 muestra los brotes de ASF (a), FMD (b), CSF (c) y PRRS (d), así como su incidencia en granjas, unidades de traspato y pueblos. Las granjas comerciales fueron las unidades más afectadas por tres de las enfermedades más catastróficas reportadas en el periodo, con excepción de PRRS, que afectó principalmente pueblos.



## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

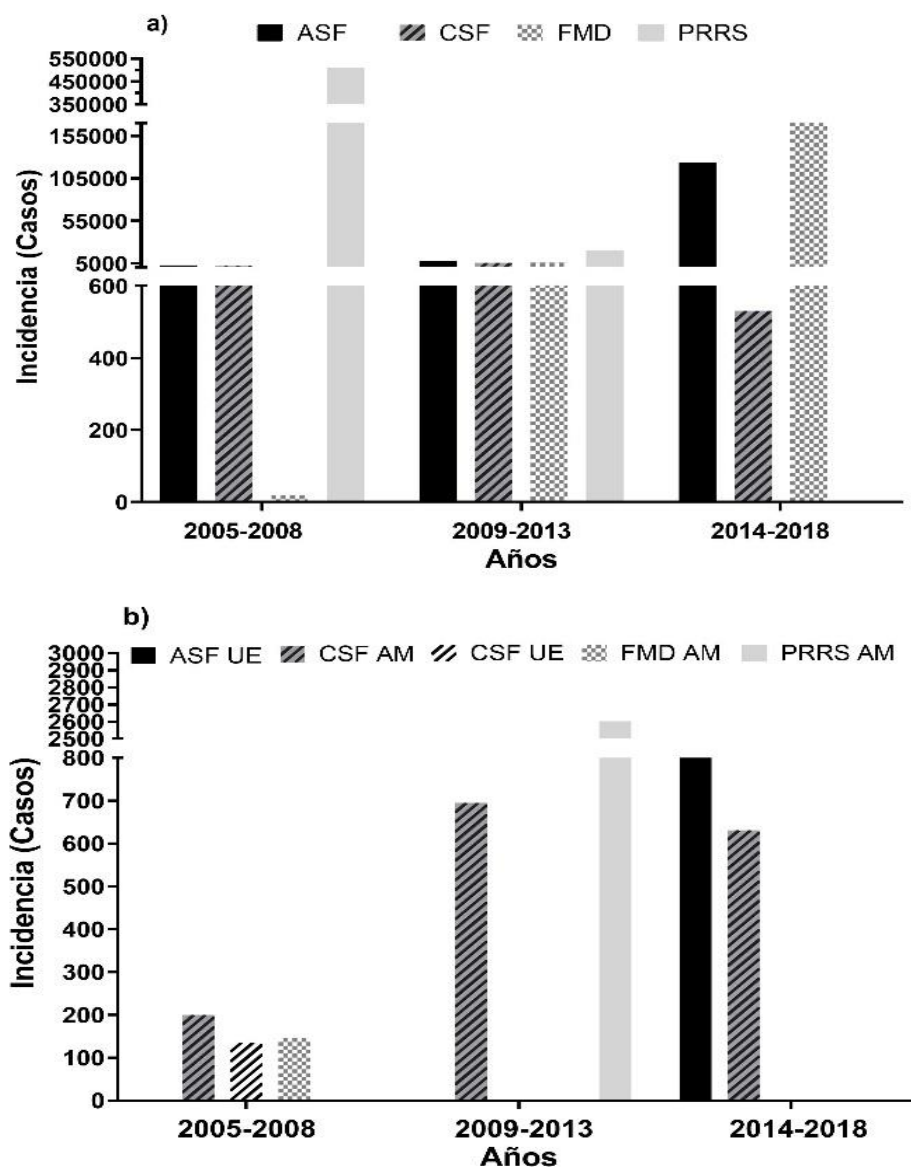


**Figura 10. Incidencia de enfermedades en unidades epidemiológicas afectadas por ASF (a), FMD (b), CSF (c) y PRRS (d).**

La incidencia de las cuatro enfermedades principales incrementó 38.5% del primer al segundo periodo, después decreció 58% en el tercero; cuatro países asiáticos contribuyeron al mayor con ese incremento. La figura 11 presenta una comparación de la incidencia reportada de las principales enfermedades entre los tres continentes. El gráfico muestra que América y Europa tienen una incidencia mucho menor que Asia. Las peores afectaciones en Asia fueron causadas por el PRRS con 512,000 casos en el primer período, aunque finalmente se redujo a 20,200 en el segundo. La FMD fue la más prevalente en el tercer período (173,364), seguida de la ASF (124,000). En América, la única incidencia de enfermedad relevante fue PRRS en el segundo período, mientras que, en Europa, solo la ASF tuvo una alta incidencia informada en el tercer período.

De las 16 enfermedades reportadas en el primer periodo, 6 fueron reportadas en el primer período, 15 en el segundo y sólo 8 en el tercero en los tres continentes (32).

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

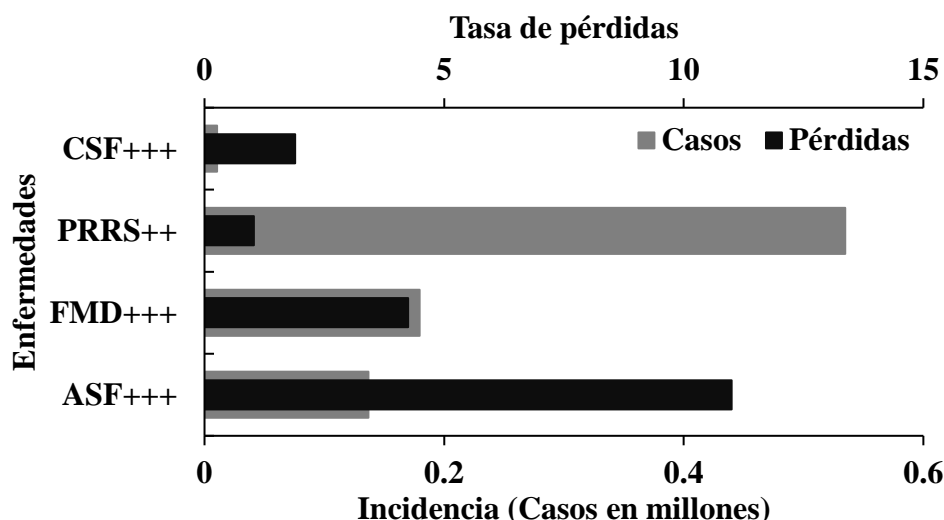


**Figura 11. Incidencia (casos) de las principales enfermedades en los mayores productores porcinos de Asia (a), América y Europa (b), de 2005 a 2018.** ASF=Peste porcina Africana, CSF=Peste Porcina Clásica, FMD=Fiebre Aftosa, PRRS=Síndrome respiratorio y reproductivo porcino, Am= continente americano, UE= países europeos. Con datos de WAHIS-OIE.

Al comparar la incidencia y las pérdidas, se puede observar que se reportaron más casos de PRRS, sin embargo, la tasa de pérdidas provocadas por esa enfermedad fue de menos de dos animales muertos o sacrificados por cada animal enfermo. Por el contrario, ASF provocó pérdidas masivas, con pocos animales diagnosticados por la enfermedad. FMD fue la

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

segunda enfermedad con mayor tasa de pérdidas, mientras CSF tuvo la menor incidencia y una baja proporción de pérdidas (Figura 12).



**Figura 12. Incidencia (casos en millones) y tasa de pérdidas de enfermedades en los mayores países productores a nivel mundial (2005-2018).** ASF=Peste porcina africana, CSF=Peste porcina clásica, FMD=Fiebre aftosa, PRRS=Síndrome respiratorio y reproductivo porcino. Fuente: con datos públicos de la OIE.

### 5.3 Análisis multidimensional

Con respecto a las evaluaciones del índice, la Tabla 5 muestra la evaluación multidimensional de enfermedades con cuatro variables o dimensiones (morbilidad, mortalidad, pérdidas, tipos y número de enfermedades de afectación en el periodo). Obsérvese que cuando se considera únicamente la morbilidad, pareciera que la mayoría de los países no tuvieron daños significativos, pero considerando la morbilidad, la mortalidad, las pérdidas, así como el número y la categoría de enfermedades, las inferencias son diferentes.

En Asia, el índice M<sub>μ</sub>L fue medio-alto en el primer período, ya que sus principales países productores están clasificados en esta categoría. Japón y la República de Corea tuvieron un valor de índice más alto en el segundo período, mientras que Rusia se mantuvo como media-alta, y China bajó a media-baja. Los principales cambios para el tercer período fueron un incremento en Rusia que alcanzó categorías críticas. La mera morbilidad coincidiría con esta evaluación en el primer período, pero en el segundo período, notamos algunas diferencias,

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

China, por ejemplo, mantiene una incidencia crítica pero baja mortalidad, lo que hace que el índice sea medio-bajo. China también tuvo una baja incidencia, pero la mortalidad y las pérdidas fueron medias, en general arrojaron un índice medio bajo, coincidiendo con el valor asignado en el segundo período; sin embargo, la condición es diferente, el estado en el tercer período anticipa un estado catastrófico en 2019. Un análisis similar podría aplicarse a Rusia en el mismo período. América tuvo solo un evento notable con estado medio-alto en Chile en el segundo período, debido al PRRS; México se vio afectado por una alta tasa de pérdidas (CSF) y una morbilidad extremadamente baja en el mismo período. Europa solo exhibió un evento relevante en el segundo período, Alemania, con una situación como México y Polonia con baja morbilidad, pero pérdidas y mortalidad intermedias.

**Tabla 5. Índice de salud porcina en los principales productores porcinos en periodos de estudio**

	2005-2008			2009-2013			2014-2018		
	M $\mu$ L	*	Score	M $\mu$ L	*	Score	M $\mu$ L	*	Score
<b>Argentina</b>	aaa		0	baa	+++ (1)	0.2	aab	+++ (2)	0.2
<b>Brasil</b>	aab	+++ (2)	0.2	aab	+++ (1)	0.2	aab	+++ (1)	0.2
<b>Canadá</b>	aaa		0	aab	+++ (1)	0.2	aaa		0
<b>Chile</b>	aaa		0	bbb	++ (1)	0.6	aaa		0
<b>China</b>	cbb	++ (1)	0.8	caa	+++ (3)	0.4	abb	+++ (2)	0.4
<b>Dinamarca</b>	aaa		0	aaa	+++ (1)	0	aaa		0
<b>Francia</b>	aaa		0	aab	++ (1)	0.2	aab	++ (1)	0.2
<b>Alemania</b>	aab	+++ (1)	0.2	aac	++ (1)	0.4	aaa		0
<b>India</b>	aaa		0	aab	++ (1)	0.2	aaa		0
<b>Italia</b>	aaa		0	aaa	+++ (1)	0	aaa		0
<b>Japón</b>	aaa		0	acc	+++ (2)	0.8	aab	+++ (2)	0.2
<b>México</b>	aaa		0	aac	+++ (2)	0.4	aaa		0
<b>Birmania</b>	aaa		0	aaa	++ (1)	0	aaa		0
<b>Países Bajos</b>	aaa		0	aaa		0	aaa		0
<b>Filipinas</b>	aaa		0	aaa		0	aaa		0
<b>Polonia</b>	aaa		0	aaa		0	abb	+++ (1)	0.4
<b>R. de Corea</b>	aaa		0	acc	+++ (3)	0.8	ccb	+++ (2)	1
<b>Rusia</b>	abb	+++ (3)	0.4	bbb	+++ (4)	0.6	ccb	+++ (3)	1
<b>España</b>	aaa		0	aaa		0	aaa		0
<b>USA</b>	aaa		0	aaa	+ (1)	0	aaa		0
<b>Vietnam</b>	cba	++ (1)	0.6	aab	+++ (1)	0.2	aaa		0

La tabla muestra la evaluación de las dieciséis enfermedades reportadas en los 21 países de estudio. Score o valor cuantitativo 0.0=nulo, 0.2=bajo, 0.4=bajo-medio, 0.6=medio-alto, 0.8=alto, and 1.0=crítico. \*Ponderación de las cuatro enfermedades con mayor afectación por periodo, de acuerdo con la clasificación de enfermedades. En paréntesis se muestra el número de enfermedades catastróficas, comercializables y normales, según corresponde.

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

Según el índice, localizamos un país con estatus medio-alto y uno con estatus alto en el primer período. Si las variables se consideraran de forma independiente, en el caso de Vietnam solo con morbilidad, se podría inferir que el estado es crítico a pesar de tener pérdidas aceptables como China. Por el contrario, el índice muestra que la morbilidad alta y una mortalidad intermedia, con una enfermedad de magnitud comercializable, resulta en un estado medio-alto. El segundo período tuvo enormes efectos; siete países se encontraron por encima de 0.4. El índice muestra un efecto más concreto en la República de Corea: si solo se observara morbilidad, se podría considerar que el efecto fue menor, sin embargo, observando la mortalidad y las pérdidas críticas causadas por tres enfermedades catastróficas, el resultado es un estatus alto. En el tercer período, Rusia alcanzó un estado crítico, dada su alta morbilidad, alta mortalidad y tres enfermedades catastróficas. En contraste, Japón redujo la mortalidad, junto con su baja morbilidad, logró un rango intermedio de pérdidas, lo que dio una evaluación de bajo impacto. Las cuatro dimensiones consideradas permiten ver que la región con el impacto más significativo fue Asia, seguida de América y Europa, mientras que los países más afectados a lo largo del periodo fueron Rusia, República de Corea y China, tanto por enfermedades catastróficas como por pérdidas.

Además del análisis de países, el índice M $\mu$ L permite hacer comparaciones entre enfermedades (Tabla 6). En el primer periodo, PRRS fue la enfermedad con mayor impacto según el índice (0.8), dado que presentó una morbilidad crítica, pero con una mortalidad intermedia, y pérdidas intermedias, lo que resulta en un efecto alto. En el segundo periodo la enfermedad más devastadora fue ASF, llegando a tasas críticas de morbilidad (0.03) y mortalidad (0.4), seguida por FMD, que causó la mortalidad intermedia (0.018), con altas pérdidas, sin embargo, tanto la morbilidad como la mortalidad de ASF fueron devastadoras, causando un impacto crítico (> 500,000). En el tercer periodo únicamente las pérdidas de ASF tuvieron estatus medio-alto.

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA  
EN PAÍSES EN DESARROLLO

**Tabla 6. Evaluación de las enfermedades de mayor afectación con el índice M $\mu$ L**

	2005-2008		2009-2013		2014-2018	
	M $\mu$ L	Score	M $\mu$ L	Score	M $\mu$ L	Score
<b>ASF</b>	bbb	0.6	ccb	1	bbb	0.6
<b>FMD</b>	aab	0.2	abc	0.6	aaa	0
<b>PRRS</b>	cbb	0.8	aab	0.2	aaa	0
<b>CSF</b>	aab	0.2	aaa	0	aab	0.2

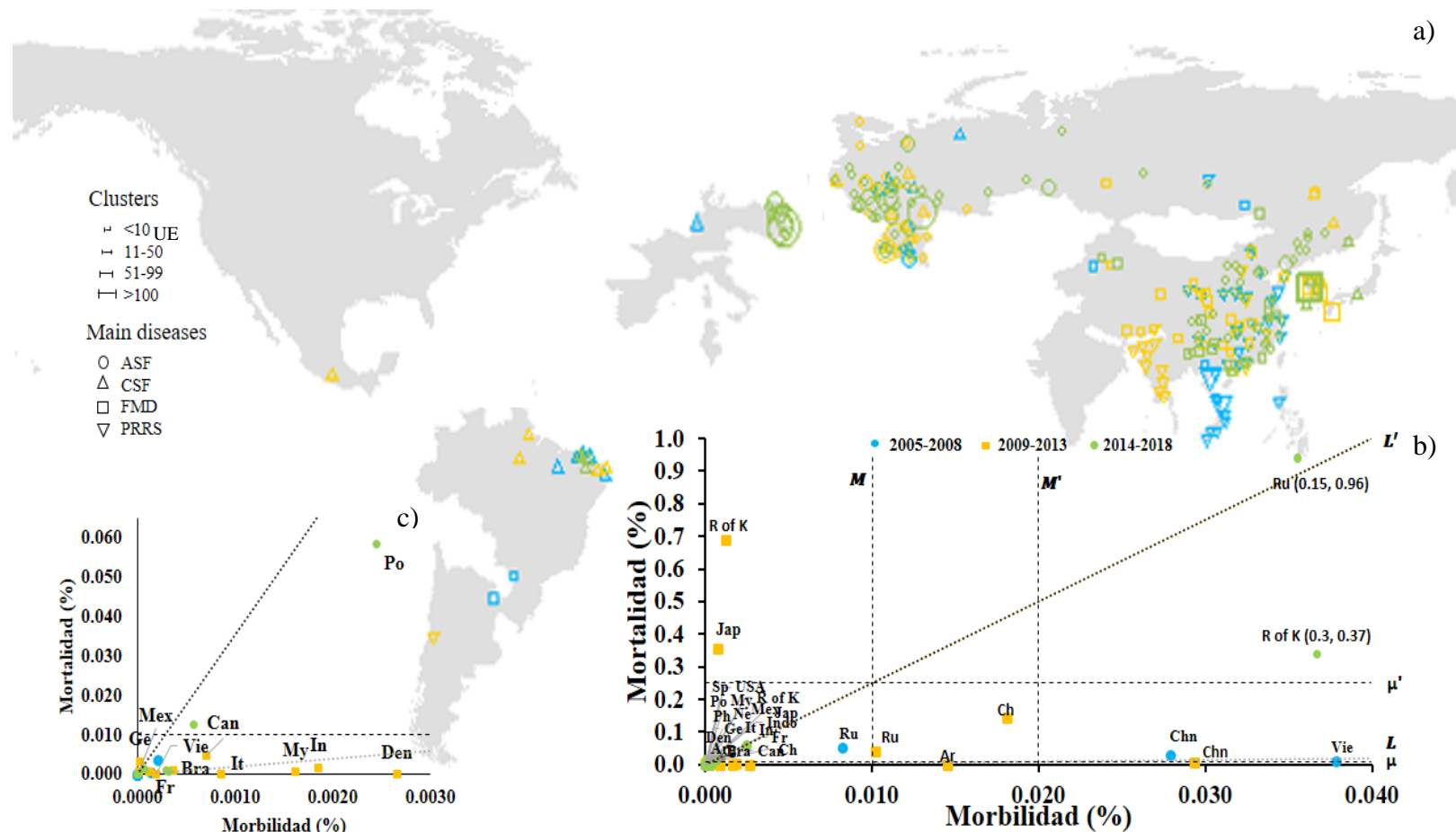
La tabla muestra la evaluación de las cuatro principales enfermedades en los 21 países de estudio. Score o valor cuantitativo: 0.0=nulo, 0.2=bajo, 0.4=bajo-medio, 0.6=medio-alto, 0.8=alto, and 1.0=crítico.

#### 5.4 Análisis espaciotemporal de las cuatro principales enfermedades reportadas

El análisis espaciotemporal muestra que la FMD y la ASF están ampliamente distribuidas (Figura 13a). China exhibió muchos pero pequeños grupos, mientras que Rusia (M $\mu$ L = 0.6) y la República de Corea (M $\mu$ L = 0.8) tenían grupos más grandes; ambos países alcanzaron súper brotes de más de 100 unidades epidemiológicas, República de Corea con 3 enfermedades catastróficas y Rusia con 4. CSF fue la enfermedad menos extendida con pequeños grupos. En Estados Unidos, el CSF fue la enfermedad más extendida, en México (M $\mu$ L = 0.4) y Brasil (M $\mu$ L = 0.2), con pequeños grupos. La ASF tuvo una dispersión sustancial en Polonia (M $\mu$ L = 0.4, con una enfermedad catastrófica), y algunos grupos de más de 100 UE. El PRRS tuvo la mayor propagación en el primer período, afectando ampliamente al sudeste de China y Vietnam, con pequeños grupos en Rusia y China (Figuras 13b y c).

La comparación entre el análisis espaciotemporal y la evaluación multidimensional permite observar una alta congruencia de las enfermedades de mayor impacto con los países que presentaron niveles más críticos (Rusia, República de Corea, China y Japón).





**Figura 13. Distribución espaciotemporal de las cuatro enfermedades porcinas con mayor afectación en 2005-2008, 2009-2013 y 2014-2018 (a), análisis multidimensional de salud porcina en los mayores productores mundiales (b) y acercamiento de datos <math><0.003, 0.065</math> (c).** Se muestra la ubicación de la mortalidad en la República de Corea y Rusia en el 2º periodo, dadas sus altas tasas de morbilidad(a). Los símbolos negros corresponden al 1º periodo, los que se presentan en gris oscuro al 2º periodo y en gris claro los del 3º periodo. Por fines de ubicación Rusia se presenta entre los países asiáticos. Datos obtenidos de fuentes públicas. Ar=Argentina, Br=Brasil, Can=Canadá, Ch=Chile, Chn=China, Den=Dinamarca, Fr=Francia, Ge=Alemania, In=India, It=Italia, Jap=Japón, Mex=México, My=Birmania, Ne=Países Bajos, Ph=Filipinas, Po=Polonia, R of K=República de Corea, Ru=Federación Rusa, Sp=España, USA=Estados Unidos y Vie=Vietnam, UE=Unidades epidemiológicas

## 5.5 Categorización de ocurrencia epidemiológica y tendencias de enfermedades

Adicionalmente, del análisis cuantitativo y la epidemiología observada en cada país, se derivaron cuatro categorías de alerta basadas en la afectación epidemiológica, económica y social. La primera corresponde a estados de salud seguros, la segunda a estados de prevención, la tercera a alerta y la cuarta a alarma generalizada (Tabla 7).

**Tabla 7. Categorías de alerta epidemiológica y tendencias de enfermedades por su impacto en salud porcina**

<b>Tipo de alerta</b>	<b>Combinaciones</b>	<b>Características</b>
Segura	aaa, aab, aac, abc, acc	Enfermedades con baja virulencia y presencia constante. Con brotes esporádicos de medio impacto, enfocados en una región específica, con buen control de enfermedades y buena bioseguridad, su efecto económico no excede la capacidad del productor.
Preventiva	abb, baa, bab, bcb	Enfermedades con virulencia moderada y amplia diseminación, principalmente con brotes comercializables de morbilidad media a alta con bajas pérdidas, a nivel regional o nacional. Su control regular y bioseguridad han fallado en la erradicación de algunas enfermedades. Su daño económico involucra la capacidad agrícola, la política nacional y las herramientas de mercado.
Alerta	bbb, caa, cba	Enfermedades con alta virulencia, emergentes y concomitantes. Los brotes pueden comenzar en un área específica y llegar a una población más amplia en un país o más allá. Las medidas de control y bioseguridad estándar no son suficientes para contener el brote. Las aseguradoras privadas y el gobierno pueden absorber las afectaciones económicas.
Alarma	bcc, cbb, cca, ccb, ccc	Epizootias con alta virulencia e impacto catastrófico. Puede provocar brotes poco frecuentes, pero de escala internacional. Comúnmente, esas enfermedades superan el control y las medidas de bioseguridad, provocando alarma en el consumidor e interrupción en los mercados. Las afectaciones significativas desde el punto de vista económico y social son respondidas por el gobierno, pero generan grandes pérdidas en el entorno regional, impactando gravemente a los pequeños productores.

## **5.6 Consideraciones finales al capítulo**

Este capítulo propone un índice de salud porcino para evaluar el estado de un país, región o granja por medio de parámetros cualitativos y cuantitativos, entre los que se encuentran las variables epidemiológicas que incluyen mortalidad, morbilidad y patógenos; las económicas que incluyen las pérdidas animales y las sociales, que consideran el tamaño o tipo de unidad epidemiológica, además de las categorizaciones de impacto animal.

Esta propuesta permitió analizar el efecto de las enfermedades por país, comparar el daño de las cuatro enfermedades más letales reportadas en el periodo, así como establecer categorías y tendencias de impacto de las enfermedades con base en la evaluación del índice.

Adicionalmente esta metodología fue validada con datos de los veintiún mayores productores a nivel mundial y comparada con las metodologías más usadas en epidemiología descriptiva, lo que permitió demostrar su eficiencia como métrica de evaluación de dinámicas de enfermedad.

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA  
EN PAÍSES EN DESARROLLO

## 6. Discusión

El índice  $M_{\mu L}$  es resultado del análisis multidimensional y multivariable comparativo de la salud de los cerdos y es un indicador para evaluar el impacto de la enfermedad en una población o región, comprender las medidas, patrones y tendencias de control de la enfermedad. Esta metodología incluye diversos componentes de un brote (morbilidad, mortalidad, pérdidas y categorías de enfermedades), y propone dos umbrales de morbilidad (para grados aceptables y críticos), que permiten estimar la alerta sanitaria y los estados críticos a nivel de granja, nacional y regional. Lo anterior otorga simplicidad a un conglomerado de datos para una fácil comparación, a la vez que permite la estandarización de tasas para pequeñas y grandes poblaciones animales, haciéndolo aplicable en análisis temporales y de distribución espaciotemporal.

El índice ofrece una evaluación más precisa del daño al ponderar tres variables sobre la proporción de la población al considerar la evaluación de la enfermedad a nivel regional, como el caso de la fiebre aftosa (con un índice  $abc$  en segundo período), en la que la población susceptible considerada es mucho mayor, dado que incluye la población de China, Rusia, la República de Corea y Japón (que fueron afectados con diversos brotes de FMD) resultando en un impacto medio-alto. No obstante, al observar solo la población susceptible en la República de Corea y Japón, el impacto es alto. Esto exhibe que la relativización de la enfermedad está directamente relacionada con la población que presentó los casos, lo que da un reflejo de la población susceptible, como es el caso de la mortalidad y, en consecuencia, de las pérdidas, es decir, la morbilidad o la mortalidad consideran el stock de animales que están siendo afectados por el daño, por lo tanto, la magnitud del daño es diferente a pesar del hecho de que la ponderación se lleve a cabo en una población grande o pequeña, sin embargo, la tasa de pérdida es la misma, sin depender del tamaño de la población. Lo que permite observar una medida intrínseca de la enfermedad.

Dicho de otra forma, al calcular el índice de enfermedad a nivel mundial, el daño se consideró en proporción al tamaño de la población afectada, incluido solo el *stock* del período específico y el país, lo que permite que solo se ponderen los daños ubicados en un área

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

susceptible. Podemos observar que FMD tuvo el mayor daño en República de Corea y Japón, sin embargo, dado que la población de China y Rusia se vieron afectados por esta enfermedad, la ponderación del daño fue intermedia (*abc*) ya que era una gran población susceptible. Por el contrario, la ASF solo estaba presente en Rusia, y al ser una población más pequeña que en los brotes de FMD, el daño manifestado por la ASF fue de mayor impacto (*ccb*).

Al comparar la incidencia de enfermedades a nivel mundial con el índice M $\mu$ L, se mostró alta congruencia en el impacto de PRRS y CSF. Por el contrario, al observar únicamente el número de muertos, el mayor daño fue provocado por FMD (segundo período), pero considerando la tríada FMD refleja un impacto medio-alto, mientras que, ASF tuvo un efecto más devastador, con un impacto crítico, consistente con otros hallazgos (120). El impacto medio-alto de la FMD (*abc*) en el segundo período, fue producido por una incidencia aceptable, pero causó la mayoría de las pérdidas, mientras que para la ASF fue crítica (*ccb*). Solo el efecto de República de Corea y Japón por FMD fue alto, con importantes afectaciones en República de Corea (24), con más de 3.3 millones de cerdos sacrificados (2010-2011) según informes del gobierno (121). Esto muestra que la magnitud del daño es diferente cuando se considera la tríada que cuando se analizan las variables epidemiológicas individuales.

Lo anterior es útil para inferir la efectividad de las medidas de control para contener los brotes en poblaciones susceptibles. En los brotes de FMD, observamos que en República de Corea y Japón se tomaron medidas drásticas para contener los brotes, al ver clústeres grandes y situados en zonas geográficas específicas, con grandes pérdidas, lo que pudo impedir una mayor diseminación, mientras que, en Rusia, la diseminación de la ASF fue mayor y constante, con muchos clústeres de varios tamaños. Con respecto a esto, los datos de la OIE evidenciaron que muchos de estos brotes afectaron inicialmente a las poblaciones silvestres (no contabilizadas en el *stock* de cerdos en este trabajo), con el consiguiente impacto en las aldeas, producciones familiares a nivel de traspatio y las granjas comerciales. Según lo discutido por la FAO (2018) los problemas de vigilancia de los animales salvajes motivaron la propagación de la enfermedad.

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

La diseminación espaciotemporal y los súper brotes mostraron congruencia con el índice  $M\mu L$ , observándose que Asia tuvo una amplia propagación de enfermedades, con grandes afectaciones en Rusia debido a la ASF (desde 2007) en los tres períodos ( $M\mu L = 0.6 / 0.6 / 1$ ), y lenta pero generalizada (122). China tuvo una difusión constante con un impacto medio en los tres períodos. Como se ha documentado, República de Corea tuvo grandes grupos de fiebre aftosa en el segundo y tercer períodos, con una epidemia masiva entre 2010-2011, y aún nociva en 2014 (121), consistente con estados de alto riesgo en el índice  $M\mu L$ . El continente americano tuvo poca diseminación de enfermedades, mientras que Europa tuvo dos súper brotes, debido a la ASF en Polonia.

Finalmente, la triada permitió evaluar las tendencias geográficas, derivando cuatro categorías de alarma. La primera corresponde a zona segura, con brotes ocasionales de impacto nulo o bajo, países como Vietnam, Italia, Birmania, India y Dinamarca (en el segundo periodo) tuvieron esos estados. Los estatus preventivos manifiestan una trayectoria persistente y la baja mortalidad, con brotes esporádicos. En el primer y segundo período, China tuvo esa categoría, mientras que el CSF y PRRS mostraron un estado estable, característico de la endemidad (22,123,124) por reducción en su gravedad o en su virulencia en los últimos años. Los estados de alerta tienen una morbilidad y mortalidad variables, pueden comenzar en un área específica con pocos casos y extenderse rápidamente a otras áreas que alcanzan una alta letalidad. Países como Rusia y Chile tuvieron esa categoría de alerta. Otros hallazgos, consideran que estas manifestaciones de alerta están relacionadas con la temporalidad, el tamaño de la población y la alta densidad, lo que ha influido en la supervivencia viral del CSF (125) en brotes analizados, así como en la propagación del PRRS (22) que han conducido en ocasiones a formas impredecibles de virus. Por otra parte, las enfermedades altamente contagiosas producen casos generalizados que causan problemas económicos y sociales de impacto nacional o regional; Japón y la República de Corea y Rusia tuvieron ese nivel de alarma crítica. ASF tuvo esa categoría en Asia, dadas las interrupciones en los mercados en China durante 2006, 2007 y 2011 por PRRS, en República de Corea durante 2010 y 2014 por FMD y nuevamente se están presentando en China, Vietnam y otros países asiáticos por ASF durante 2018 y 2019. A pesar de que PRRS es considerada como una

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

enfermedad comercializable, presentó cepas altamente virulentas en China, en el periodo mencionado.

Por otro lado, se redujo el efecto de las enfermedades del PRRS, el CSF y la FMD en los tres continentes, debido a las mejoras en la bioseguridad, la vacunación y el diagnóstico efectivo (22); su categoría de impacto corresponde estados seguros (tercer período), en este particular, otros estudios han demostrado que CSF entre 2006-2009 produjo la mayoría de las pérdidas en unidades ganaderas (7), y en años recientes disminuyó su gravedad (124); mientras que el PRRS redujo su número de brotes (22). FMD disminuyó, posiblemente, debido a cepas menos virulentas (126).

China tuvo un cambio de enfermedades del segundo al tercer periodo, debido al cambio de enfermedades, registró PRRS, CSF y FMD en el segundo periodo, mientras que en el tercero los principales reportes estuvieron enfocados en ASF.



## 7. Conclusiones

En este trabajo diseñó un indicador para evaluar la salud porcina en un país, región o granja. Con lo que se ponderó el estado de salud porcina y las dinámicas de enfermedad de los veintiún países con mayor número de cerdos domésticos a nivel mundial. Se logró desarrollar una metodología multidimensional que integra variables epidemiológicas, económicas y sociales, para evaluaciones temporales, espaciales y patológicas, con una visión transdisciplinaria.

La metodología propuesta permitió evaluar de manera multidimensional el estado de salud porcina a nivel nacional y regional, con ayuda de variables epidemiológicas, económicas y sociales. Se realizaron comparaciones entre países, y también entre enfermedades, considerando la población susceptible de daño, además de inferir tendencias de alerta de acuerdo con las combinaciones de la triada propuesta. Dadas las comparaciones con las metodologías basadas en epidemiología descriptiva, se pudo observar no sólo congruencia con el índice propuesto, sino mayor efectividad para evaluar el daño en poblaciones nacionales y regionales.

El método presentado aquí proporciona un análisis temporal entre 2005-2018 de enfermedades porcinas que ofrecen una medida del impacto de los brotes a escala nacional, además. Los niveles de criticidad para la morbilidad y las pérdidas dan un criterio simplificado, que facilita la realización de evaluaciones con grandes o pequeños datos, según sea el caso. Esta evaluación podría ser útil para encaminar tareas específicas que puedan disminuir la gravedad de las enfermedades al proporcionar una evaluación cualitativa y cuantitativa de la afectación y sus características, lo que ayudaría a tener líneas de política en materia de prevención de epidemias y pandemias, así como en los procesos de toma de

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

decisiones y planificación en la política de salud de los cerdos, así como en la generación de programas estratégicos de vigilancia, monitoreo y control de enfermedades porcinas.

La medición del daño de las enfermedades puede coadyuvar en la generación de políticas públicas de salud, así como en la reducción de los gastos generados por las enfermedades. En el caso de las cuatro enfermedades más letales reportadas en el periodo (ASF, CSF, FMD y PRRS), dichos costos fueron millonarios en países como Estados Unidos y algunos de la Unión Europea, según los reportes y análisis de costos realizados en esos países. Sin embargo, la pérdida económica más importante está dada por la mortalidad de animales como resultado de los brotes de enfermedad, lo que afecta enormemente en las economías regionales, sobre todo en el caso de los productores de menor escala, que generalmente son los más susceptibles a la transmisión de enfermedades, a la despoblación de sus granjas, lo que en algunos brotes de enfermedades catastróficas ha generado descapitalización de productores, incrementando la desigualdad y la inseguridad alimentaria.

## **8. Perspectivas**

El presente trabajo es, hasta donde sabemos, el primer estudio que caracteriza tópicos y tendencias de la producción bionanotecnológica en la porcicultura, es también pionero en la propuesta de una metodología de comparación del estado de salud en poblaciones porcinas a pequeña y gran escala, con carácter multidimensional y espaciotemporal.

Los análisis aquí establecidos abren las puertas para realizar evaluaciones de salud en granjas locales y en otro tipo de ganado, pero también, coadyuvan en el planteamiento de políticas de salud animal, así como el diseño de planes y programas de vigilancia epidemiológica. Por lo que, se propone como una herramienta de implementación nacional para la evaluación sanitaria.

Entre las perspectivas generadas por este trabajo, se encuentra la realización de análisis bionanotecnológicos con técnicas más novedosas como Crispr Cas, y el mapeo de una cadena de valor bionanotecnológica porcina en México y países de América Latina.

Entre otras líneas de investigación futura se encuentran el diseño de un monitor de salud animal y comportamiento productivo, en México u otros países de América Latina, que compile, analice y brinde información del estado sanitario semanal por tipo de granja o explotación. Así como la generación de una plataforma de información sanitaria, alimentada con datos proporcionados por los productores. Lo que brindaría conocimiento de las dinámicas epidemiológicas, los patrones cíclicos de las enfermedades, la identificación de sepas y la integración de indicadores de producción, entre los que se encuentran los parámetros de conversión de alimentos y requerimientos nutricionales específicos por grupo etario. Con utilidad en la prevención de brotes animales, y detección oportuna de enfermedades con alto riesgo de brotes epidémicos, así como, en el establecimiento de parámetros de evaluación del control de las enfermedades. A mayor escala, un monitor con estas características contribuiría en el fortalecimiento de pequeños y medianos productores de México o América Latina, pero también, en el seguimiento de alimentos desde la granja, hasta su llegada al consumidor final, lo que se traduciría en mejoras en la inocuidad cárnica.

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA  
EN PAÍSES EN DESARROLLO

## 9. Anexos

### 9.1 Metodológicos

#### 9.1.1 Metodología de análisis bibliométrico y de patentes

Las principales áreas de patentamiento y publicación en biotecnología y nanotecnología porcina se identificaron en todo el mundo a partir de la literatura y las búsquedas de patentes (Lens, Wipo y Web of Science) sobre cinco temas [alimentación, salud (enfermedades, virus, vacunas y antígenos), farmacología, genética (reproducción, genética y clonación) y nanotecnología]. Las palabras clave de cada área se definieron como criterios de inclusión y exclusión, a partir de ello, se generaron ocho algoritmos (127,128) para patentes porcinas (ver Tabla A1), y seis algoritmos para publicaciones científicas (ver Tabla A2).

**Tabla A 1. Algoritmos para las búsquedas de patentes**

Aplicación	Algoritmos
	((Animal feed AND porcine OR swine OR suino) OR (Alimento OR Alimentação) OR (Probiotic OR Prebiotic OR immunomodulator OR transgen) NOT (vaccine OR Tissue OR Bovine OR cow OR fish OR computer system OR tabaco))*
	((Vaccinations AND (porcine OR swine OR piglet OR porcino OR cerdo OR puerco OR porco OR suino)) OR (virus OR bacterias OR recombinant proteins OR antigens OR antibodies OR vacunas OR proteínas recombinantes OR antígenos OR anticuerpos OR vacinações)) NOT (human OR Avian OR cow OR rumian OR newcastle OR crustaceans)**
Biotecnología	((Porcine OR swine OR hog OR piglet OR porcino OR cerdo OR puerco OR porco OR suino) AND (Pharmaceutical OR drug OR antibiotic OR treatment OR biocides OR Biozide OR Fármaco OR antibiótico OR farmacéutica OR tratamiento OR biocidas OR Droga OR farmacêutica OR tratamento))***
	((porcine OR swine OR porcino OR cerdo OR puerco OR porco OR suino) AND (biotechnology OR biotecnología OR phenotype OR polymorphic OR cloning OR fertilización invitro OR ogm OR fenotipo OR marcadores moleculares OR polimorfismo OR transgen OR clonación OR in vitro fecundação OR clonagem))****
	((porcine OR porcino OR cerdo OR puerco OR porco OR suino) AND (cloning OR transgen OR clonación OR clonagem OR embrio OR bioprocesos))****
	((porcine OR porcino OR cerdo OR puerco OR porco OR suino) AND (phenotype OR polymorphic OR fenotipo OR marcadores moleculares OR polimorfismo))****
	((porcine OR porcino OR cerdo OR puerco OR porco OR suino) AND (cisgénesis OR intragénesis OR secuenciación OR síntesis de proteínas OR bioprocesos OR sequencing))****

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

Nanotecnología ((nano\* OR puntos cuánticos OR dendrímeros OR fulereno OR buckyballs OR bucky OR pontos quânticos OR dendrímeros OR Bucky OR Quantenpunkte OR Dendrimere OR Fulleren OR micron OR micra) AND animal OR porcine)

\*El algoritmo corresponde a patentes de alimentos, \*\* El algoritmo corresponde a patentes de vacunas, \*\*\* El algoritmo corresponde a patentes de farmacología, \*\*\*\* El algoritmo corresponde a patentes de genética y reproducción

Para observar las dinámicas de patentes en los Estados Unidos se refinaron las búsquedas con la herramienta de análisis de "Lens" para publicación temporal y solicitantes. Las búsquedas fueron realizadas para Argentina, Brasil, Chile y México, en el período comprendido entre el 01-01-2000 y el 31-07-2018. En este punto, se compararon los resultados de las bases de datos "Lens" y "OMPI". Para el análisis bibliométrico, las consultas se realizaron utilizando la colección principal y los algoritmos.

**Tabla A 2. Algoritmos para las búsquedas bibliométricas**

Aplicación	Algoritmos
Biotecnología	((Animal feed AND porcine OR suino OR Schweine OR Schweinefleisch) OR (Alimento OR Alimentação OR forrajes OR forragem OR Lebensmittel OR Futter) NOT (cloning OR vaccine OR Tissue OR Bovine OR cow OR fish OR computer system OR tabaco))* ((Vaccine AND (porcine OR swine OR piglet)) OR (virus OR bacterias OR recombinant proteins OR antigens OR antibodies))* ((Porcine OR swine OR hog OR piglet OR porcino OR cerdo OR puerco OR porco OR suino) AND (Pharmaceutical OR drug OR antibiotic OR treatment OR biocides OR Biozide OR Fármaco OR antibiótico OR farmacéutica OR tratamiento OR biocidas OR Droga OR farmacêutica OR biocidas OR tratamento))*** ((porcine OR swine) AND (biotechnology OR biotecnología OR phenotype OR polymorphic OR cloning OR fertilización invitro OR ogm OR fenotipo OR marcadores moleculares OR polimorfismo OR transgen OR clonación OR in vitro fecundação OR clonagem, OR fenotipo))**** ((porcine OR swine) AND (cisgénesis OR intragénesis OR secuenciación OR síntesis de proteínas OR bioprocesos OR sequencing))****
Nanotecnología	((nano* AND animal OR porcine))

\* El algoritmo corresponde a alimentación, \*\* el algoritmo corresponde a vacunas, \*\*\* el algoritmo corresponde a farmacología, \*\*\*\* el algoritmo corresponde a otras biotecnologías

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA  
EN PAÍSES EN DESARROLLO

**9.1.2 Criterios de inclusión y exclusión**

Los criterios de inclusión se definieron en función de las áreas bionanotecnológicas más dinámicas en las patentes y publicaciones científicas (incluidas en la Tabla A3), así como en las técnicas, actividades y productos biotecnológicos definidos por la OCDE (OCDE 2005). Se consideraron las clasificaciones de patentes de biotecnología en los campos mencionados, incluyendo IPC, USPC y CPC (OCDE 2005; OEP; USPTO; TO 2016). Las solicitudes de patentes y las patentes otorgadas se incorporaron en este estudio.

Los criterios de exclusión se basaron en fechas, jurisdicciones y clasificaciones de patentes que no incluyen bionanotecnologías porcinas (OCDE 2005; OEP; USPTO; TO 2016).

**Tabla A 3. Clasificaciones de pantes incluidas y excluidas**

Aplicación/ inclusión	Incluidas			Excluidas
BIOTECNOLOGÍA	A23K10/00,	A23K10/12,	A23K10/30,	A23K50/10,
Alimento	A23K10/37,	A23K10/18,	A23K20/00,	A23K50/75,
	A23K20/10,	A23K20/158,	A23K20/163,	A23K50/40,
	A23K20/20,	A23K20/147,	A23K20/158,	A23K50/20,
	A23K20/16,	A23K20/189,	A23K50/00,	A23K50/80,
	A23K50/30,	A23K40/20,	A23V2002/00,	A23V2250/5074,
	Y02P60/877			A61K2300/00,
				A61Q19/00,
				A01K5/02,
				Y02P60/873,
				Y02A40/818,
				A01K5/0114
Vacunas	A01H4/00,	A01K67/00,	A61K31/00,	A61P35/00,
	A61K35/66,	A61K39/12,	A61K2039/505,	A23V2002/00
	A61K2300/00,	A61K2039/552,	A61K38/00,	
	A61K38/36,	A61K39/00,	A61K39/395,	
	A61K41/00,	A61K45/06,	A61K47/00,	
	A61K47/48,	A61K48/00,	C12Q1/68,	
	C12N15/09,	C07K2317/76,	C07K2317/9,	
	C07K2317/24,	C07K14/005,	C12N15/00,	
	C12N1/00, C12N5/00, C12N7/00, C12N15/09,			
	C12N5/10, C07K16/28			
Farmacología	A61K2039/5252,	A61K2039/5245,	A61P35/00	
	A61K2039/5256, A61K39/12, A61K48/00,			
	C12N2750/10034, C12N2750/10022			
Nanobiotecnología	A61K9/0019,	A61K9/51,	A61K9/16,	A61Q19/00,
	A61K47/10, A61K47/26, A61K47/48,			A61K2800/412,
				A61K2800/413,

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

A61K9/10, A61K9/145, A61K31/337, A61K8/00,  
A61K31/436, A61K47/183, A61K47/30, A61K9/19,  
A61K47/34, A61K47/42, A61K45/06, A61P35/00,  
A61K39/395, A61K38/00, A61K2039/505, C01P2004/64,  
B82B1/00, B82B3/00, B82Y30/00, B82Y40/00, Y10T428/2982,  
B82Y10/00, B82Y5/00, C01B31/02, H01L2924,  
C08J5/005, C12N15/09, Y10T428/25, H01L21  
C12Q1/68

---

### 9.1.3 Recolección y análisis de datos

Las búsquedas se realizaron manualmente y se descargaron en archivos .txt y .csv. Se identificaron las palabras clave alusivas a cada tecnología, de acuerdo con los antecedentes de cada campo, buscando bionanotecnología e implicaciones porcinas. Finalmente, se compararon los resultados de patentes y publicaciones científicas para visualizar los temas principales.

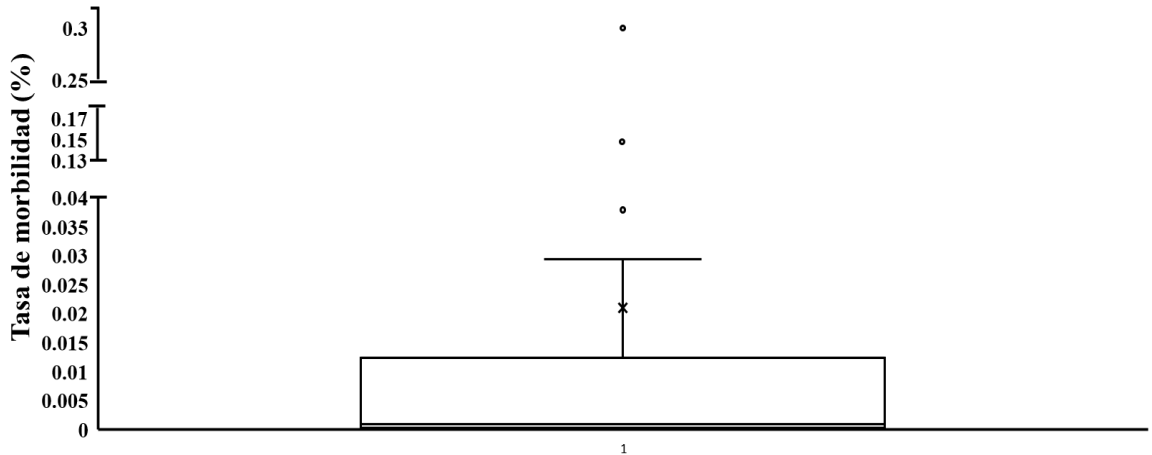
## 9.2 Criterio estadístico de determinación de rangos aceptable y crítico para morbilidad porcina

Partiendo de los datos de brotes reportados por los 21 países analizados, se calcularon tasas de morbilidad en cada uno de los periodos (2005-2008, 2009-2013 y 2014-2018), considerando la suma de todos los casos de las enfermedades reportados entre la población de cada uno de los países. El número total de datos observados, sin considerar los ceros (ausencia de reportes) fue de 29.

La Figura A1 permite observar que la mayor cantidad de datos se ubicó por debajo de 0.01, con presencia de dos grupos de valores extremos (*outliers*), uno cercano al 0.15 y otro en 0.3, con una mediana desplazada hacia la parte inferior de la caja (0.00085), mientras que el bigote superior es más largo que el inferior, de manera que tres cuartas partes de los datos se encuentran en el primer rango inter cuartil, con rangos muy cercanos unos de los otros.

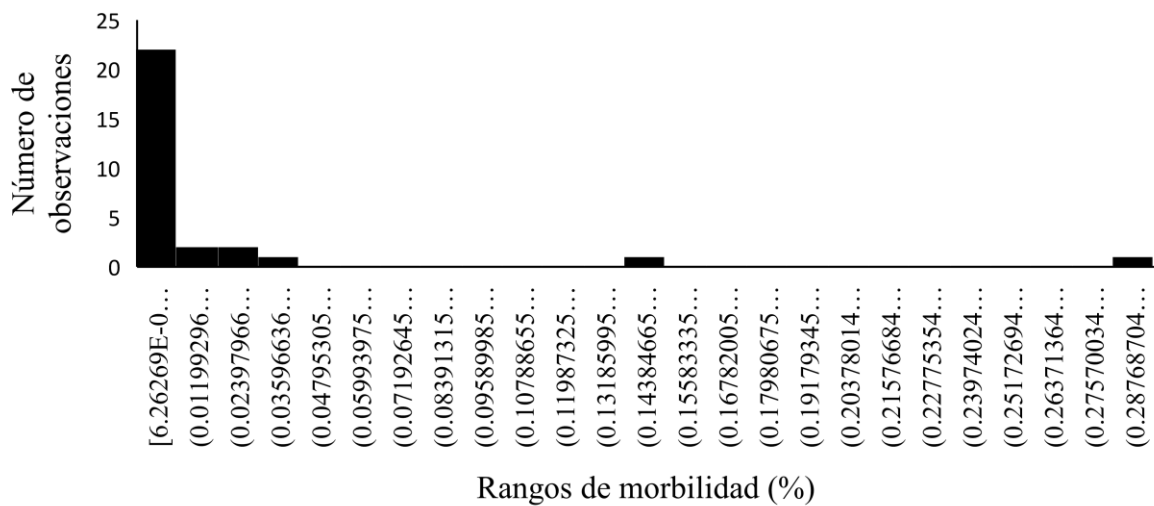


ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA  
EN PAÍSES EN DESARROLLO



**Figura A 1. “Drop box” de morbilidad observados en países de estudio**

Si observamos la Figura A2, la mayor frecuencia de repetición de datos se ubicó a la izquierda de la distribución, con una larga cola hacia la derecha.



**Figura A 2. Histograma de frecuencias de rangos de morbilidad observados en países de estudio.**

Tanto el diagrama de caja y bigotes, como el histograma, muestran que tres cuartas partes de las tasas de morbilidad se encuentran en rangos menores a 0.01, 10% y se ubican entre 0.01-0.02, mientras que 17% se ubican por arriba de 0.02.

Estos datos permiten inferir que el rango aceptable de la morbilidad se ubica por debajo de 0.01, dada la mayor proporción de datos, mientras que los rangos extremos, pueden

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

relacionarse con niveles críticos; cinco datos estuvieron por arriba de 0.02, mientras que tres datos se ubicaron entre dichos rangos, lo que nos hace deducir tres niveles, aceptable (0.01), intermedio (0.01-0.02) y crítico (>0.02).

### 9.3 Contribuciones Académicas

Durante el periodo de trabajo doctoral se participó en las siguientes publicaciones, congresos y actividades de política alimentaria.

#### 9.3.1 Artículos

1. **Zavala-Cortés** et al. *Bionanotechnology development of the swine sector from developing countries, the Latin American case*. Enviado a la revista *Scientometrics*. 2020.
2. **Zavala-Cortés** et al. *An index for multidimensional assessment of swine health*. Por enviar. 2020.

#### 9.3.2 Congresos

1. Participación en el *Primer Simposio de Egresados DCTS*, con la ponencia: “*Una aproximación transdisciplinaria sobre la salud porcina*” Cinvestav, México, 2019.

#### 9.3.3 Actividades de política alimentaria

2. Logística en la *Consulta Regional Sistemas alimentarios, obesidad y género: Retos emergentes para América Latina*, de La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Instituto Nacional de Salud Pública de México y el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI).

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

3. Logística del *Foro Sistemas alimentarios y derecho a la alimentación adecuada: Desafíos para la inclusión en México*, de La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Instituto Nacional de Salud Pública de México y el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI).

### 9.3.4 Capítulos de libro

1. Gutiérrez-Ramírez Rodrigo, Fernández-Luqueño Fabián, Medina-Pérez Gabriela, Pérez-Hernández Hermes, López-Valdez Fernando, Vázquez-Núñez Edgar, Loera-Serna Sandra, Salas-Herrera Gerardo, **Zavala-Cortés Aidé**, Vianey Urdapilleta Inchauregi. 2018. Chapter 8. *Agronanobiotechnologies to improve the water quality in irrigation systems*. In: *Agricultural Nanobiotechnology, Modern Agriculture for a Sustainable Future*. Fernando López-Valdez y Fabián Fernández-Luqueño (Eds.). Springer. ISBN 978-3-319-96718-9. 141-157 pp.
2. Medina-Pérez Gabriela, Fernández-Luqueño Fabián, Campos-Montiel Rafael G., López-Valdez Fernando, Vazquez-Núñez Edgar, Pérez-Hernández Hermes, Loera-Serna Sandra, Salas-Herrera Gerardo, **Zavala-Cortés Aidé**. 2018. Chapter 9. *Effect of nanoparticles on plants, earthworms, and microorganisms*. In: *Agricultural Nanobiotechnology, Modern Agriculture for a Sustainable Future*. Fernando López-Valdez y Fabián Fernández-Luqueño (Eds.). Springer. ISBN 978-3-319-96718-9. 161-181 pp.
3. **Zavala-Cortés Aidé**, 2020, “Una aproximación transdisciplinaria sobre la salud porcina”, que se publicará como parte de las memorias del Primer Simposio de Egresados DCTS.

ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA  
EN PAÍSES EN DESARROLLO

## Referencias bibliográficas

1. OIE. Terrestrial Animal Health Code [Internet]. 28ª edició. Vol. 1, World Organisation for animal health. Paris, France; 2019. 10 p. Available from: <https://www.oie.int/es/normas/codigo-terrestre/>
2. VanderWaal K, Deen J. Global trends in infectious diseases of swine. 2018;2018.
3. Delgado C, Rosegrant M, Steinfeld H, Ehui S, Courbois C. Live stock to 2020 The Next Food Revolution [Internet]. Internatio. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome; and International Livestock Research Institute: Washington, DC; 1999. 83 p. Available from: <http://www.fao.org/ag/againfo/resources/documents/lvst2020/20201.pdf>
4. Delgado C, Narrod C, Tiongco M. Determinants and Implications of the Growing Scale of Livestock Farms in Four Fast-Growing Developing Countries. Ssrn. 2008.
5. FAOSTAT. Food and agriculture data [Internet]. FAO statistics. 2019. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
6. Dehove A, Commault J, Petitclerc M, Teissier M, Macé J. Economic analysis and costing of animal health: A literature review of methods and importance. OIE Rev Sci Tech. 2012;31(2):591–617.
7. World Bank, TAFS forum, OIE, FAO. World Livestock Disease Atlas. A Quantitative Analysis of Global Animal Health Data (2006-2009) [Internet]. The International Bank for Reconstruction and Development. 2011. Available from: <http://www.oie.int/doc/ged/D11291.pdf>
8. OIE. Zoning and compartmentalisation. In: Terrestrial Animal Health Code 2012 [Internet]. Paris; 2012. 464 p. Available from: <https://www.oie.int/doc/ged/D12376.PDF>
9. Bisdorff B, Schauer B, Taylor N. Active animal health surveillance in European Union Member States : gaps and opportunities. Epidemiol Infect. 2017;(145):802–17.
10. European Parliament, Council on Animal Health. Impact assessment accompanying the document ‘ Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on animal health ’ [Internet]. Brussels; 2013. Report No.: 161. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19097363>
11. Hoinville L. Animal health surveillance terminology final report from Pre-ICAHS workshop. In: International Conference on Animal Health Surveillance [Internet]. Animal Health and Veterinary Laboratories Agency; 2011. p. 1–26. Available from: <https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140707220340/http://www.defra.gov.uk/ahvla-en/disease-control/surveillance/icahs-workshop/>
12. Zepeda C. El Análisis De Riesgos: Instrumento De Ayuda En La Toma De Decisiones Para Controlar Y Prevenir Las Enfermedades Animales. 2002;265–71.
13. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Ley Federal De Sanidad Animal [Internet]. 2012 p. 1–55. Available from: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFSA\\_160218.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFSA_160218.pdf)
14. Mourits M, Oude LA. Chapter 9 Multi-Criteria Decision Making To Evaluate Quarantine Disease Control Strategies. Soc Sci [Internet]. 2006;(Mcdm):131–44. Available from: [http://library.wur.nl/frontis/plant\\_health/09\\_mourits.pdf](http://library.wur.nl/frontis/plant_health/09_mourits.pdf)
15. Allepuz A, Casal J, Pujols J, Jové R, Selga I, Porcar J, et al. Descriptive epidemiology of the outbreak of classical swine fever in Catalonia (Spain), 2001/02. Vet Rec. 2007;160(12):398–403.
16. Tousignant SJ, Perez AM, Lowe JF, Yeske PE, Morrison RB. Temporal and spatial dynamics of PRRSV infection in the United States. Am J Vet Res. 2015;76(1):70–6.

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

17. Mg-Nguyen D, Noh J, Breen K, Stevenson MA, Handali S, Traub RJ. The epidemiology of porcine *Taenia solium* cysticercosis in communities of the Central Highlands in Vietnam. *Parasit Vectors* [Internet]. 2018;11(1):360. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29929529>
18. Lange M, Kramer-Schadt S, Blome S, Beer M, Thulke HH. Disease severity declines over time after a wild boar population has been affected by classical swine fever-Legend or actual epidemiological process? *Prev Vet Med*. 2012;106(2):185–95.
19. Elhaig MM, Elsheery MN. Molecular investigation of foot-and-mouth disease virus in domestic bovids from Gharbia, Egypt. *Trop Anim Health Prod*. 2014;46(8):1455–62.
20. Sukmak M.; Thanantong N.; Poolperm P.; Boonsoongnern A.; Ratanavanichrojn N.; Jirawattanapong P.; Woonwong Y.; Soda N.; Kaminsonsakul T.; Phuttapatimok S.; Wajjwalku W. The retrospective identification and molecular epidemiology of porcine circovirus type 3 (PCV3) in swine in Thailand from 2006 to 2017. *Transbound Emerg Dis* [Internet]. 2019;66(1):611–6. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30387296>
21. Arruda AG, Alkhamis MA, VanderWaal K, Morrison RB, Perez AM. Estimation of Time-Dependent Reproduction Numbers for Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome across Different Regions and Production Systems of the US. *Front Vet Sci* [Internet]. 2017;4(46):1–9. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2017.00046/full>
22. Vilalta C, Arruda AG, Tousignant SJP, Valdes-Donoso P, Muellner P, Muellner U, et al. A Review of Quantitative Tools Used to Assess the Epidemiology of Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome in U.S. Swine Farms Using Dr. Morrison’s Swine Health Monitoring Program Data. *Front Vet Sci*. 2017;4(June):1–7.
23. VanderWaal K, Perez A, Torremorrell M, Morrison RM, Craft M. Role of animal movement and indirect contact among farms in transmission of porcine epidemic diarrhea virus. *Epidemics* [Internet]. 2018;24(November 2017):67–75. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2018.04.001>
24. Jung-hyang S. How far can African swine fever spread? *J Vet Sci*. 2019;20(4):1–5.
25. Naciones Unidas. *Perspectivas de la Población Mundial 2019*. 2019 Jun 17;4. Available from: [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_PressRelease\\_ES.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_PressRelease_ES.pdf)
26. FAO. *El futuro de la alimentación y la agricultura. Tendencias y desafíos*. *El Futur la Agric y la Aliment* [Internet]. 2017;44. Available from: <http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf>
27. FAO. *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050*. *Fao* [Internet]. 2009;4. Available from: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/I>
28. FAO. *The state of food and agriculture*. Electronic. Rome, Italy: FAO; 2009. 180 p.
29. Uddin Khan S, Atanasova KR, Krueger WS, Ramirez A, Gray GC. Epidemiology, geographical distribution, and economic consequences of swine zoonoses: A narrative review. *Emerg Microbes Infect* [Internet]. 2013;2(000):0. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/emi.2013.87>
30. McCracken C, Pan C, Sherrad J. Rising African Swine Fever Losses to Lift All Protein Boats. *RaboResearch* [Internet]. 2019;(April):2–4. Available from: [https://research.rabobank.com/far/en/sectors/animal-protein/rising-african-swine-fever-losses-to-lift-all-protein.html?qsl\\_reqcnt=2](https://research.rabobank.com/far/en/sectors/animal-protein/rising-african-swine-fever-losses-to-lift-all-protein.html?qsl_reqcnt=2)
31. FAO. Un año después, Asia ha perdido casi 5 millones de cerdos por el brote de peste porcina. La FAO insta a los países asiáticos a mantener estrictas medidas de control [Internet]. 2019 Aug; Available from: <http://www.fao.org/news/story/es/item/1204594/icode/>
32. OIE. *WAHIS Interface* [Internet]. Exceptional epidemiological events. 2019 [cited 2019 Jul 20]. Available from:

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

- [https://www.oie.int/wahis\\_2/public/wahid.php/Countryinformation/Countryreports](https://www.oie.int/wahis_2/public/wahid.php/Countryinformation/Countryreports)
33. Zhong R, Tang A. Una enfermedad porcina en China afecta a los mercados de carne del mundo. Una enfermedad porcina en China afecta a los mercados de carne del mundo [Internet]. 2019 Apr 26; Available from: [https://www.nytimes.com/es/2019/04/26/peste-porcina-africana-china/?ref=collection%2Fsectioncollection%2Fnyt-es&action=click&contentCollection=peste-porcina-africana&region=stream&module=stream\\_unit&version=latest&contentPlacement=1&pgtype=collection](https://www.nytimes.com/es/2019/04/26/peste-porcina-africana-china/?ref=collection%2Fsectioncollection%2Fnyt-es&action=click&contentCollection=peste-porcina-africana&region=stream&module=stream_unit&version=latest&contentPlacement=1&pgtype=collection)
  34. FAOSTAT. Food and agriculture data. FAO statistics. 2019.
  35. Salcedo, Salomón; Guzmán L. Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de Política [Internet]. 1st ed. Salcedo, Salomón; Guzmán L, editor. Santiago, Chile: FAO; 2014. 486 p. Available from: [www.fao.org/policy-support/resources/resources-details/es/c/897110/](http://www.fao.org/policy-support/resources/resources-details/es/c/897110/)
  36. Perry B, Mcdermott J, Randolph T. Can epidemiology and economics make a meaningful contribution to national animal-disease control ? 2001;48.
  37. Gilbert M, Conchedda G, Van Boeckel TP, Cinardi G, Linard C, Nicolas G, et al. Income disparities and the global distribution of intensively farmed chicken and pigs. PLoS One [Internet]. 2015;10(7):1–14. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0133381>
  38. FAO. Gridded livestock of the world [Internet]. Wint GRW, Robinson TP, editors. Vol. 66. Rome: FAO; 2007. 131 p. Available from: <http://www.fao.org/3/a-a1259e.pdf>
  39. Morilla A. Las enfermedades virales emergentes de los cerdos. Ciencias Vet. 2003;197–227.
  40. Poonsuk K, Arunorat J, Iampraphat N, Teankum K, Thanawongnuwech R. PRRSV genetic variation after the 2010 HP-PRRSV introduction in Thailand. Thai J Vet Med. 2016;46(3):455–72.
  41. Stärk KD, Regula G, Hernandez J, Knopf L, Fuchs K, Morris RS, et al. Concepts for risk-based surveillance in the field of veterinary medicine and veterinary public health: Review of current approaches. BMC Health Serv Res [Internet]. 2006;6(20):1–8. Available from: <https://bmchealthservres.biomedcentral.com/articles/10.1186/1472-6963-6-20>
  42. Hoinville L, Alban L, Drewe JA, Gibbens JC, Gustafson L, Häsler B, et al. Proposed terms and concepts for describing and evaluating animal-health surveillance systems. Prev Vet Med [Internet]. 2013;Oct 1(112):1–12. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23906392>
  43. Bennett R. The ‘ Direct Costs ’ of Livestock Disease : The Development of a System of Models for the Analysis of 30 Endemic Livestock Diseases in Great Britain. 2003;54(1):55–71.
  44. Bennett RM. The use of ‘ economic ’ quantitative modelling techniques in livestock health and disease-control decision making : a review. 1992;13:63–76.
  45. Reist M, Jemmi T, Stärk KDC. Policy-driven development of cost-effective, risk-based surveillance strategies. Prev Vet Med [Internet]. 2012;105(3):176–84. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2011.12.014>
  46. Vilalta C, Arruda AG, Tousignant SJP, Valdes-Donoso P, Muellner P, Muellner U, et al. A review of quantitative tools used to assess the epidemiology of porcine reproductive and respiratory syndrome in U.S. swine farms using Dr. Morrison’s Swine Health Monitoring Program Data. Front Vet Sci. 2017;4(JUN):1–7.
  47. Thrusfield M, Christley R, Brown H, Diggle PJ, French N, Howe K. Veterinary Epidemiology. Fourth. Hoboken, New Jersey: Wiley Blackwell; 2018.
  48. Holtkamp DJ, Kliebenstein JB, Neumann EJ, Zimmerman JJ, Rotto HF, Yoder TK, et al. Assessment of the economic impact of porcine reproductive and respiratory syndrome virus on United States pork producers. J Swine Heal Prod. 2013;21(2):72–84.
  49. Okello WO, Okello AL, Inthavong P, Tiemann T, Phengsivalouk A, Devleeschauwer B, et

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

- al. Improved methods to capture the total societal benefits of zoonotic disease control: Demonstrating the cost-effectiveness of an integrated control programme for *Taenia solium*, soil transmitted helminths and classical swine fever in northern Lao PDR. *PLoS Negl Trop Dis* [Internet]. 2018;12(9):1–22. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6185856/>
50. T.J.D. Knight-Jones, Rushton J. The economic impacts of foot and mouth disease – What are they, how big are they and where do they occur? *Prev Vet Med* [Internet]. 2013;Nov 1(112):161–73. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3989032/>
51. Fasina FO, Lazarus DD, Spencer BT, Makinde AA, Bastos ADS. Cost Implications of African Swine Fever in Smallholder Farrow-to-Finish Units: Economic Benefits of Disease Prevention Through Biosecurity. *Transbound Emerg Dis* [Internet]. 2012;59(3):244–55. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21929615>
52. Trench C, Narrod C, Roy D, Tiongco M. Responding to health risks along the value chain. In 2020 Conference. In: Research IFP, Institute, editors. 2020 Conference Brief 5. Washington, DC; 2011.
53. Council AAH. Government and livestock industry cost sharing deed in respect of emergency animal disease responses [Internet]. Australia; 2016. Available from: [https://www.animalhealthaustralia.com.au/wp-content/uploads/2015/09/Deed\\_Version-1602\\_070916\\_FINAL.pdf](https://www.animalhealthaustralia.com.au/wp-content/uploads/2015/09/Deed_Version-1602_070916_FINAL.pdf)
54. Yoon H, Yoon SS, Kim YJ, Moon OK, Wee SH, Joo YS, et al. Epidemiology of the foot-and-mouth disease serotype O epidemic of November 2010 to April 2011 in the Republic of Korea. *Transbound Emerg Dis*. 2015;62(3):252–63.
55. Probst C, Gethmann J, Amler S, Globig A, Knoll B, Conraths FJ. The potential role of scavengers in spreading African swine fever among wild boar. *Sci Rep* [Internet]. 2019;9(1):1–13. Available from: [www.nature.com/scientificreports](http://www.nature.com/scientificreports)
56. FAO. Food Outlook- Biannual Report on global Food Markets [Internet]. Rome: FAO; 2019. 1–119 p. Available from: <http://www.fao.org/docrep/013/al969e/al969e00.pdf>
57. FAO. Food Outlook Biannual Report On Global Food Markets [Internet]. 2017. 152 p. Available from: <http://www.fao.org/3/a-i7343e.pdf>
58. FAO. Food Outlook. Biannual Report on Global Food Markets. Food Agric Organ United Nations [Internet]. 2018; Available from: <http://www.fao.org/3/CA0239EN/ca0239en.pdf>
59. USDA-FAS. Mexico Livestock and Products Semi-annual [Internet]. 2016. Available from: [https://gain.fas.usda.gov/Recent GAIN Publications/Livestock and Products Semi-annual\\_Mexico City\\_Mexico\\_4-6-2016.pdf](https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Livestock%20and%20Products%20Semi-annual_Mexico_City_Mexico_4-6-2016.pdf)
60. USDA-FAS. China, Peoples Republic of Livestock and Products The Story Behind China's Rising Pork Prices 2007. 2007.
61. FAO. ASF situation in Asia update. Emergency Prevention System for Animal Health (EMPRES-AH) [Internet]. 2019 Oct 31; Available from: [http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/en/empres/ASF/situation\\_update.html](http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/en/empres/ASF/situation_update.html)
62. Prather RS. Pig genomics for biomedicine. *Nat Biotechnol* [Internet]. 2013 Feb 7;31:122. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/nbt.2490>
63. SAGARPA. Situación Actual Y Perspectiva De La Producción De Carne De Porcino En México 1990 -1998 [Internet]. México; 2001. Available from: [www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx).
64. INEGI, SAGARPA. Encuesta Nacional Agropecuaria 2014. Información relevante. [Internet]. México; 2015. Available from: [http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especiales2015\\_08\\_8.pdf](http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especiales2015_08_8.pdf)
65. Borges SRT, Souza LC de, Silva RC da, Almeida E de. Avaliação dos níveis de biosseguridade das granjas de reprodutores suínos certificadas do estado de São Paulo, Brasil. *Vet e Zootec*. 2011;18:417–31.
66. Zanella JRC, Morés N, Barcellos DESN de, Zanella JRC, Morés N, Barcellos DESN de.



## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

- Principais ameaças sanitárias endêmicas da cadeia produtiva de suínos no Brasil. *Pesqui Agropecuária Bras* [Internet]. 2016 May [cited 2018 Aug 10];51(5):443–53. Available from: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2016000500443&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2016000500443&lng=pt&tlng=pt)
67. Organisation for Economic Co-operation and Development., OECD International Futures Programme. The bioeconomy to 2030 : designing a policy agenda. [Internet]. Organization for Economic Co-operation and Development; 2009 [cited 2018 Jul 2]. Available from: [https://www.google.com.mx/search?ei=o8s6W\\_qMBlK6tQWK7rFw&q=the+bioeconomy+to+2030+designing+a+policy+agenda+oecd+2009&oq=The+Bioeconomy+to+2030+DESIGNING+A+POLICY+AGENDA&gs\\_l=psy-ab.1.2.0j0i22i30k1l3.118466.121164.0.126141.47.17.0.0.0.188.1673.0j14.14.0....0...1.1.64.psy-ab..45.1.140...0.NK83GKq9U7o](https://www.google.com.mx/search?ei=o8s6W_qMBlK6tQWK7rFw&q=the+bioeconomy+to+2030+designing+a+policy+agenda+oecd+2009&oq=The+Bioeconomy+to+2030+DESIGNING+A+POLICY+AGENDA&gs_l=psy-ab.1.2.0j0i22i30k1l3.118466.121164.0.126141.47.17.0.0.0.188.1673.0j14.14.0....0...1.1.64.psy-ab..45.1.140...0.NK83GKq9U7o)
  68. Nieto Gómez LE, Giraldo Díaz R. Tendencias of Biotechnology, Innovation and a Development in Colombia. *Luna Azul*. 2015;41:348–64.
  69. Saeed A, Abubakar M, Kanwal S. The Role of Biotechnology in Improvement of LivestockAnimal Health and Biotechnology [Internet]. 1st ed. Abubakar M, Ali S, Oguz K, editors. *The Role of Biotechnology in Improvement of Livestock: Animal Health and Biotechnology*. London: Springer; 2015. 147 p. Available from: <https://www.springer.com/gp/book/9783662467886>
  70. Albornoz, M.; Vismara, F.; Luchilo, L.; Carullo, J. C.; Ferraro, R.; Barrere R. *Manual de Indicadores de Biotecnología*. Biotech. Mexico; 2005.
  71. Birch, Kean; Tyfield D. Theorizing the Bioeconomy: Biovale, Biocapital, Bioeconomics or What? *Sci Technol Hum Values*. 2013;38(3):299–327.
  72. OECD. A framework for biotechnology statistics. *Organ Econ co-operation Dev* [Internet]. 2005;52. Available from: <https://www.oecd.org/sti/sci-tech/34935605.pdf>
  73. Foladori, Guillermo; Invernizzi N. Nanotechnology: a solution in search of problems. *Comer Exter*. 2006;56(4):326–34.
  74. FAO, WHO. Expert meeting on the application of nanotechnologies in the food and agriculture sectors: potential food safety implications [Internet]. Rome, Italy: FAO; 2010. 129 p. Available from: <http://www.fao.org/3/i1434e/i1434e00.pdf>
  75. Valeria Amenta, Aschberger K, Arena M, Bouwmeester H, Moniz FB, Brandhoff P, et al. Regulatory aspects of nanotechnology in the agri/feed/food sector in EU and non-EU countries. *Regul Toxicol Pharmacol* [Internet]. 2015;73(1):463–76. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273230015300088>
  76. Alexopoulos, C.; Georgoulakis, I.E.; Tzivara, A.; Kyriakis, C.S.; Govaris, A.; Kyriakis SC. Field evaluation of the effect of a probiotic-containing *Bacillus licheniformis* and *Bacillus subtilis* spores on the health status, performance, and carcass quality of grower and finisher pigs. *J Vet Med*. 2004;51(6):306–12.
  77. Cho, J. H.; Kim IH. Effects of lactulose supplementation on growth performance, nutrient digestibility, blood profiles, faecal microbial shedding, faecal score and faecal noxious gas emission in weanling pigs. *J Appl Anim Res*. 2015;43(3):330–5.
  78. Junqueira, Rodrigues Daniela; Lemos, Fábio Enrique Budiño; Prezzi, Joel ALberto; Monferdini, Renato Pacheco; Pozar, Ivani Otsuk; Morales JE de. Carcass traits and short-chain fatty acid profile in cecal digesta of piglets fed alfalfa hay and fructooligosacharides. *Rev Bras Zootec*. 2017;46(4):331–9.
  79. Helm E, Curry S, De Mille C, Schweer W, Burrough E, Zuber E, et al. Impact of porcine reproductive and respiratory syndrome virus on muscle metabolism of growing pigs1. *J Anim Sci* [Internet]. 2019;97(8):3213–27. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31212312>
  80. Philippe R, Bellehumeur C, Nagarajan M, Longtin D, Ferland A, Müller P, et al. Porcine

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

- reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) in pig meat. *Can J Vet Res* [Internet]. 2017;81(3):162–70. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5508380/>
81. Jayashi, Cesar M.; Kyngdon, Craig T.; Gauci, Charles G.; Gonzalez, Armando E.; Lightowlers MW. Successful immunization of naturally reared pigs against porcine cysticercosis with a recombinant oncosphere antigen vaccine. *Vet Parasitol.* 2012;188:261–7.
  82. Ju, Huiming; Zhang, Jiaqing; Bai, Lijing; Mu, Yulian; Du, Yutao; Yang, Wenxian; Li, Yong; Sheng, Anzhi; LI K. The transgenic cloned pig population with integrated and controllable GH expression that has higher feed efficiency and meat production. *Sci Reports Nat.* 2015;5:1–14.
  83. Mir, B.; Zaunbrecher, G.; Archer, G.S.; Friend, T.H.; Piedrahita JA. Progeny of somatic cell nuclear transfer (SCNT) pig clones are phenotypically similar to non-cloned pigs. *Cloning Stem Cells.* 2005;7(2):119–25.
  84. Gil, M. A.; Martinez, C. A.; Nohalez, A.; Parrilla, I.; Roca, J.; Cuello, C.; Martinez EA. In vitro production of porcine embryos: present applications in reproductive biotechnology. In: *Reprod ESDARSAA*, editor. Joint Meeting of the 20th Annual Conference of the European Society-for-Domestic-Animal-Reproduction (ESDAR) / 13th Conference of the Spanish-Association-for-Animal-Reproduction (AERA). Lisboa, Portugal; 2016. p. 48–9.
  85. Ma, Xianyong; Tian, Zhimei; Xiong, Yunxia; Qiu, Yueqin; Deng, Dun; Wang L. Effect of Yeast Polysaccharide on Meat Quality of Finishing Pigs. *J Anim Sci.* 2017;95(4):184.
  86. Dozier, W. A., III; Cromwell, G. L.; Lindemann MD. Effects of porcine somatotropin administration on the responses to dietary lysine and a near-ideal blend of amino acids for growing pigs. *J Anim Sci.* 2012;90(8):2663–70.
  87. Tsai, T.; Dove, C. R.; Cline, P. M.; Owusu-Asiedu, A.; Walsh, M. C.; Azain M. The effect of adding xylanase or beta-glucanase to diets with corn distillers dried grains with solubles (CDDGS) on growth performance and nutrient digestibility in nursery pigs. *Livest Sci.* 2017;197:46–52.
  88. Yu, Xiuling; Zhou, Zhi; Cao, Zhen; Wu, Jiajun; Zhang, Zhongqiu; Xu, Baiwan; Wang, Chuanbin; Hu, Dongmei; Deng, Xiaoyu; Han, Wei; Gu, Xiaoxue; Zhang, Shuo; Li, Xiaoxia; Wang, Baoyue; Zhai, Xinyan; Tian K. Assessment of the Safety and Efficacy of an Attenuated Live Vaccine Based on Highly Pathogenic Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus. *Clin Vaccine Immunol* [Internet]. 2015;22(5):493–502. Available from: <http://cvi.asm.org/>
  89. Holinka, L. G.; Fernandez-Sainz, I.; Sanford, B.; O'Donnell, V.; Gladue, D. P.; Carlson, J.; Lu, Z.; Risatti, G. R.; Borca M V. Development of an improved live attenuated antigenic marker CSF vaccine strain candidate with an increased genetic stability. *Virology.* 2014;471:13–8.
  90. Davies, R.; Gosling, R. J.; Wales, A. D.; Smith RP. Use of an attenuated live *Salmonella* Typhimurium vaccine on three breeding pig units: A longitudinal observational field study. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis.* 2016;46:7–15.
  91. Roesler, U.; Heller, P.; Waldmann, K.H.; Truyen, U.; Hensel A. Immunization of sows in an integrated pig-breeding herd using a homologous inactivated *Salmonella* vaccine decreases the prevalence of *Salmonella* typhimurium infection in the offspring. *J Vet Med Ser B-Infectious Dis Vet Public Heal.* 2006;50(3):224–8.
  92. Borggren, Marie; Nielsen, Jens; Karlsson, Ingrid; Dalgaard, Tina S.; Trebbien, Ramona; Williams, James A.; Fomsgaard A. A polyvalent influenza DNA vaccine applied by needle-free intradermal delivery induces cross-reactive humoral and cellular immune responses in pigs. *Vaccine.* 2016;34(32):3634–40.
  93. Reddy, K. Siva; Rao, D. Muralidhar; Badrinaryana, Natarajan; Suryanaryana, Veluvarthy V.

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

- S.; Reddy GR. Enhancement of DNA vaccine (P12A3C-pcDNA) efficacy against foot-and-mouth disease by coadministration of interleukin-18-expressing (IL18 pcDNA) plasmid in guinea-pigs. *Fems Immunol Med Microbiol.* 2010;60(3).
94. Madera, Rachel; Gong, Wenjie; Wang, Lihua; Burakova, Yulia; Lleellish, Karen; Galliher-Beckley, Amy; Nietfeld, Jerome; Henningson, Jamie; Jia, Kaimin; Li, Ping; Bai, Jianfa; Schlup, John; McVey, Scott; Tu, Changchun; Shi J. Pigs immunized with a novel E2 subunit vaccine are protected from subgenotype heterologous classical swine fever virus challenge. *BMC Vet Res.* 2016;12:197.
95. Morales, J.; Gispert, M.; Hortos, M.; Perez, J.; Suarez, P.; Pineiro C. Evaluation of production performance and carcass quality characteristics of boars immunised against gonadotropin-releasing hormone (GnRH) compared with physically castrated male, entire male and female pigs. *Spanish J Agric Res [Internet].* 2010;8(3):599–606. Available from: [www.inia.es/sjar](http://www.inia.es/sjar)
96. Cuello, Cristina; Martinez, Cristina A.; Nohalez, Alicia; Parrilla, Inmaculada; Roca, Jordi; Gil, Maria A.; Martinez EA. Effective vitrification and warming of porcine embryos using a pH-stable, chemically defined medium. *Sci Reports Nat.* 2016;6.
97. Stringer, Cody; Schommer, Susan; Hoehn, Daniel; A.Grant S. Development of an optical biosensor using gold nanoparticles and quantum dots for the detection of Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus. *Sensors Actuators B Chem.* 2008;134(2):427–31.
98. Xing, Na; Guan, Xiaoxiao; An, Bin; Cui, Beibei; Wang, Zengguo; Wang, Xiaoya; Zhang, Xiujuan; Du, Qian; Zhao, Xiaomin; Huang, Yong; Tong D. Ultrasensitive Detection of Porcine Epidemic Diarrhea Virus from Fecal Samples Using Functionalized Nanoparticles. *PLoS One.* 2016;11(12):e0167325.
99. Li, Weijie; Zhou, Xinli; Liu, Baolin; Dai, Jianjun; Song, Ping; Teng Y. Effect Of Nanoparticles On The Survival And Development Of Vitrified Porcine Gv Oocytes. *Cryoletters [Internet].* 2016;37(6):401–5. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28072426>
100. Kotharangannagari VK, Krishnan K. Biodegradable hybrid nanocomposites of starch/lysine and ZnO nanoparticles with shape memory properties. *Mater Des [Internet].* 2016 Nov 5 [cited 2018 Jul 31];109:590–5. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127516309376>
101. Guo, Hui-Chen; Feng, Xiao-Ming; Sun, Shi-Qi; Wei, Yan-Quan; Sun, De-Hui; Liu, Xiang-Tao; Liu, Zai-Xin; Luo, Jian-Xiong; Yin H. Immunization of mice by Hollow Mesoporous Silica Nanoparticles as carriers of Porcine Circovirus Type 2 ORF2 Protein. *Virology J [Internet].* 2012;9(1):108. Available from: <http://www.virologyj.com/content/9/1/108>
102. Adya, Ashok; Canetta E. Nanotechnology and its applications to animal Biotechnology. In: Verma, Ashish; Singh A, editor. *Animal Biotechnology Models in Discovery and translation.* 1st ed. India: Elsevier; 2014. p. 247–62.
103. Du, Luping; Li, Bin; Xu, Xiangwei; Sun, Bing; Pang, Fengjiao; Wen, Libin; Huang, Kehe; He K. Adsorption of a porcine reproductive and respiratory syndrome virus DNA vaccine candidate onto biodegradable nanoparticles improves immunogenicity in mice. *Arch Virol.* 2015;160(6):1543–7.
104. OECD. *OECD Patent Statistics Manual.* 2009;
105. Dutrenit G. Políticas de Ciencia Tecnología e innovación para el desarrollo de la experiencia latinoamericana. Foro Consu. Crespi G, Dutrenit G, editors. Mexico: Springer International Publishing; 2013. 296 p.
106. Fernandez-Cornejo J, Shumway CR. research and productivity in mexican agriculture. *Am J Agric Res.* 1997;79(3):738–53.
107. Alegria-Moran R, Rivera D, Toledo V, Moreno-Switt AI, Hamilton-West C. First detection

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

- and characterization of *Salmonella* spp. in poultry and swine raised in backyard production systems in central Chile. *Epidemiol Infect* [Internet]. 2017 Nov 20 [cited 2018 Aug 10];145(15):3180–90. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28927474>
108. OIE. Síndrome disgenésico y respiratorio porcino [Internet]. Fichas de información general sobre enfermedades animales. París; Available from: <https://www.oie.int/doc/ged/D13987.PDF>
  109. Polson D, Holck T, Chittick W. A field-based performance comparison of the new IDEXX Herd Check PRRS 2XR ELISA with the original Herd Check PRRS ELISA. In: *Proceeding of the American Association of Swine Veterinarians Congress*. Orlando, USA; 2003. p. 267–72.
  110. Sattler T, Wodak E, Revilla-Fernandez S, Schmoll F. Comparison of different commercial ELISAs for detection of antibodies against porcine respiratory and reproductive syndrome virus in serum. *BMC Vet Res* [Internet]. 2014;10(300):1–6. Available from: <http://iomedcentral.com/1746-6148/10/300>
  111. Ruiz A, Neira V, Lecocq C, Quezada M. Estudio de la excreción y transmisión del aislado chileno del virus del síndrome respiratorio y reproductivo porcino ( PRRS ) en animales inoculados experimentalmente y centinelas en contacto mediante RT-nPCR y ELISA # Excretion and transmission study of . 2009;228:221–8.
  112. Morilla A, González-Vega D, Diosdado F, Estrada E. SEROEPIDEMIOLOGY OF PRRS IN MÉXICO. In: *4th International Symposium on Emerging and Re-emerging Pig Diseases*. Rome; 2003. p. 59.
  113. Moreno R. C, Moreno M. E, Ciprián C. A, Lara P. J, Quezada F, Tortora J, et al. Experimental Triad of the effect of Fumonisin B and the PRRS virus in Swine. *J Anim Vet Adv*. 2010;9(9):1301–10.
  114. Jordán-Craviotto A, Segura-Correa JC, Alzina-López A, Rodríguez-Buenfil JC, Villegas-Pérez S. REVALENCE AND RISK FACTORS ASSOCIATED WITH THE PRRS VIRUS IN SEMEN OF BOARS IN PIG FARMS OF YUCATAN. *Trop Subtrop Agroecosystems*. 2010;12:XXX–XXXX.
  115. OIE. Manual of diagnostics tests and vaccines for terrestrial animals. Seventh. Vol. 1, World Organisation for animal health. OIE Biological Standards Commission and adopted by the World Assembly of Delegates of the OIE; 2012. 856 p.
  116. Gebreyes, W.A.; , P.B.; Funk, J.A.; McKean, J.; Patchanee P. Seroprevalence of *Trichinella*, *Toxoplasma*, and *Salmonella* in antimicrobial-free and conventional swine production systems. *Foodborne Pathog Dis*. 2008;2:199–203.
  117. PIC. Análisis de la Industria Porcina en Latinoamérica [Internet]. España; 2015. Available from: [http://www.piclatam.com/news/galeria/upload/documentos/tQEYFq\\_Benchmark Latam, Febrero 2015.pdf](http://www.piclatam.com/news/galeria/upload/documentos/tQEYFq_Benchmark Latam, Febrero 2015.pdf)
  118. World Organisation for Animal Health (OIE). List of Member Countries free of classical swine fever [Internet]. Resolución N°29. 2018 [cited 2018 Aug 15]. p. 2. Available from: <http://www.oie.int/es/sanidad-animal-en-el-mundo/estatus-sanitario-oficial/peste-porcina-clasica/lista-de-los-paises-miembros-libres-de-ppc/>
  119. World Organisation for Animal Health (OIE). Recognition of the Foot and Mouth Disease Status of Members [Internet]. Resolución N°22. 2018 [cited 2018 Aug 15]. p. 4. Available from: [http://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Animal\\_Health\\_in\\_the\\_World/docs/pdf/Resolutions/2018/A22\\_RESO\\_2018\\_FMD.pdf](http://www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Animal_Health_in_the_World/docs/pdf/Resolutions/2018/A22_RESO_2018_FMD.pdf)
  120. J.M., Sánchez-Vizcaíno; L. Mur; J.C. G-VL, Carrasco. An Update on the Epidemiology and Pathology of African Swine Fever. *J Comp Pathol* [Internet]. 2015;152(1):9–21. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002199751400142X>
  121. Qia. FMD situation & Control Strategy in Korea Contents [Internet]. Park Sungdae D.V.M.

## ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LA EVALUACIÓN EN SALUD PORCINA EN PAÍSES EN DESARROLLO

2014. Available from: <http://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/pdf/korea.pdf>
122. Perez, Sol; Brihn, Auguste; Perez A. Swine Disease Global Surveillance Report. Swine Information Center of University of Minnesota. 2019.
  123. EFSA. Control and eradication of Classic Swine Fever in wild boar [Internet]. Vol. 7, EFSA Journal. Eusopean food safety authority; 2009. p. 932. Available from: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/j.efsa.2009.932>
  124. Lange M, Kramer-schadt S, Blome S, Beer M, Thulke H. Disease severity declines over time after a wild boar population has been affected by classical swine fever — Legend or actual epidemiological process ? *Prev Vet Med* [Internet]. 2012;106(2):185–95. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2012.01.024>
  125. Artois M, Depner KR, Guberti V, Hars J, Rossi S. Classical swine fever ( hog cholera ) in wild boar. *Sci Tech Rev Int Off Epizoot.* 2002;21(2):287–303.
  126. Stenfeldt C, Segundo FDS, de los Santos T, Rodriguez LL, Arzt J. The pathogenesis of foot-and-mouth disease in pigs. *Front Vet Sci.* 2016;3(MAY):1–12.
  127. Ortiz, Ivette; Escorsa E. Guía de Buenas Prácticas para la Búsqueda de Información en Patentes [Internet]. Chile; 2010. Available from: [pipra.fia.cl/media/7647/manual\\_patentes.pdf](http://pipra.fia.cl/media/7647/manual_patentes.pdf)
  128. OECD. Glossary of patent terminology. *Econ Anal Stat Div Dir Sci Technol Ind* [Internet]. 2006;8. Available from: [www.oecd.org/sti/sci-tech/37569498.pdf](http://www.oecd.org/sti/sci-tech/37569498.pdf)