

Investigación biotecnológica pecuaria en México: Situación actual, prospección y estrategias de fortalecimiento

Animal biotechnology research in Mexico: Current situation, prospecting and strategies for strengthening research

*José Antonio Espinosa García**, *José Luis Dávalos Flores***
y *Georgel Moctezuma López****

Se presenta el estado del arte y la prospección de la investigación de la biotecnología aplicada a las principales especies de interés económico y su importancia para el desarrollo del sector pecuario mexicano, se complementa el análisis con una discusión de los beneficios y las desventajas de las tecnologías transgénicas aplicadas comercialmente en el sector agropecuario, la importancia de la investigación como un bien público y de los estudios prospectivos. Se aplicó un cuestionario, que se complementó con una entrevista a 77 investigadores, también se realizó un panel Delphi y un foro de estrategias con 15 expertos en biotecnología pecuaria. El análisis de la información permitió definir las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la investigación pecuaria en México, y en base a ese análisis plantear estrategias para su fortalecimiento.

Palabras clave: Prospección, biotecnología, investigación pecuaria, análisis FODA, estrategias de desarrollo, instrumentos de política.

Animal biotechnology research in Mexico: Current situation, prospecting and strategies for strengthening research

* José Antonio Espinosa García, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, México. Correo electrónico: espinosa.jose@inifap.gob.mx.

** José Luis Dávalos Flores, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Correo electrónico: jldf@servidor.unam.mx.

*** Georgel Moctezuma López, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. México. Correo electrónico institucional: moctezuma.georgel@inifap.gob.mx.

The state of the art and prospecting of livestock research biotechnology and its importance for the development of Mexican livestock sector presents the analysis with a discussion of the benefits and disadvantages of transgenic technologies commercially applied in the agro-livestock sector is complemented the importance of research as a public good prospective studies. A questionnaire, supplemented with an interview with 77 researchers was applied a Delphi panel and forum strategies with 15 experts also conducted animal biotechnology. The data analysis allowed us to define the strengths, weaknesses, opportunities and threats of livestock research in Mexico, and based on this analysis propose strategies for strengthening.

Keywords: Research, biotechnology, livestock research, SWOT analysis, development strategies, policy instruments.

Introducción

Biología es definida como una actividad multidisciplinaria, cuyo sustento es el conocimiento de frontera generado en diversas disciplinas: la biología molecular, la ingeniería bioquímica, la microbiología, la genómica y la inmunología, que permite el estudio integral y la manipulación de los sistemas biológicos: microbios, plantas y animales (Bolívar, 2007).

Las tecnologías biotecnológicas tienen aplicación en los sectores de salud, tanto humana como animal, el agropecuario, el industrial y el del medio ambiente (Arias *et. al.*, 2003), y para su desarrollo se requiere de procesos de investigación novedosos y costosos, lo cual pone en desventaja a los países que destinan menos recursos para ciencia y tecnología, como es el caso de México, que en el año 2012, apenas destinó 0.43% del PIB (Conacyt, 2013), teniendo por tanto menores recursos para la investigación en biotecnología.

Diversos estudios (Arias *et. al.*, 2003; Bolívar, 2007; Costa *et. al.*, 2010; Carrer *et. al.*, 2010; Bianco *et. al.*, 2010; Silva y Borém, 2013a) mencionan el papel de la biotecnología para contribuir a resolver los problemas del sector agropecuario, como lo es el cambio climático, el surgimiento de nuevas enfermedades y plagas, el agotamiento de los recursos naturales, principalmente el agua y petróleo, o el reto de generar alimento para los 9,600 millones de habitantes que poblarán el

planeta en el 2050 (Gerber *et. al.*, 2013), aunque también hay estudios que cuestionan estos planteamientos (Novás, 2011), por lo que es necesario disponer de elementos que permitan contar con una visión de prospectiva respecto a los beneficios de la biotecnología.

La biotecnología aplicada al sector pecuario, se puede emplear para aumentar la producción de alimentos, mejorar la eficiencia y sustentabilidad de los sistemas de producción, la calidad de los productos de origen animal y la salud de los animales comerciales. Algunos ejemplos de tecnologías comerciales generados con procesos biotecnológicos son las hormonas de crecimiento bovino, que se emplean para incrementar la producción de leche, vacunas recombinantes para prevenir enfermedades de bovinos, porcinos, ovinos y aves, pruebas genéticas de ADN empleadas para mejoramiento genético (Lehmann *et. al.*, 2010). Sin embargo la mayoría de estas tecnologías no han sido generados en México, por ello Aguilar (2012), señala que hay retos importantes que enfrentar, como lo es conocer cuales son sus prioridades y fortalecer algunos sectores, como el forestal y el pecuario.

Fortalecer la investigación biotecnológica pecuaria es necesario, por la importancia que la actividad ganadera tiene para la economía de México, pues representa el 45% del valor de la producción agropecuaria del país, genera un millón de empleos permanentes remunerados y es la principal actividad del uso del suelo, que se desarrolla en una superficie de 110 millones de ha (SIAP, 2012), pero también por los efectos en la sustentabilidad, ya que es la responsable de generar el 14.5 % de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero inducidas por el ser humano (Gerber, 2013).

Una forma de contribuir a ese fortalecimiento es generar información sobre el estado del arte que guarda la investigación de la biotecnología pecuaria en México y realizar un estudio prospectivo para conocer los temas a atender, y las instituciones y recursos a fortalecer, que permitan el diseño de estrategias, temas que se abordan en este documento. Adicionalmente se exponen las tecnologías biotecnológicas aplicadas en actividades agropecuarias, los recursos destinados a la investigación agropecuaria y las ventajas de los estudios prospectivos, elementos necesarios para la discusión de un área vital para el desarrollo económico de México y el diseño de políticas públicas para

la generación de conocimientos y tecnologías biotecnológicas, que al ser aplicadas a los procesos productivos de las especies productos pecuarios contribuirán a la seguridad alimentaria, a la sustentabilidad y al bienestar de los ganaderos del país.

Biotechnología y el sector agropecuario

La FAO señala que la biotecnología implica la manipulación –con bases científicas- de organismos vivos, especialmente a escala genética, para producir nuevos productos; de igual manera, la biotecnología es toda técnica que usa organismos vivos (o parte de ellos) para crear o desarrollar organismos para usos específicos con un enfoque multidisciplinario e integrado de disciplinas como la bioquímica, la microbiología y la ingeniería (U.S. Congress, Office of Technology Assessment 1991). Dado que el propósito del presente documento es analizar la investigación en biotecnología pecuaria, se presenta un análisis de las tecnologías biotecnológicas agrícolas y pecuarios de mayor aplicación comercial.

Biotechnología agrícola

Aunque el uso de la Biotechnología en el sector agrícola se remonta a más de 2,000 años, con el arte de la elaboración de la cerveza por parte de los sumerios a raíz de la fermentación de la cebada o trigo humedecidos, es a partir del conocimiento y la manipulación del ácido desoxirribonucleico (ADN), que posibilitó la aplicación de la biotecnología para la producción de alimentos de origen vegetal a gran escala, siendo los cultivos transgénicos (OGM), los de mayor uso comercial¹, en el 2013, 18 millones de productores cultivaron 175.2 millones de ha en 27 países, la soya fue el cultivo de mayor superficie, ya que repre-

¹ Reportes del The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA), mencionan que en el 2013 se sembraron en el mundo, 175.2 millones de hectáreas de cultivos biotecnológicos, con una tasa de crecimiento de 3%, respecto al 2012, este valor muestra además un crecimiento considerable, si se compara con las 1.7 millones de hectáreas que se sembraban en 1996. México cultiva 100 mil ha de algodón y soya (James, 2013).

sentó el 47% del área global de cultivos transgénicos, seguido del maíz con el 32%, el algodón con el 15% y la canola con el 5%. Las características agronómicas incorporadas a las variedades transgénicas son principalmente tolerancia a herbicidas, resistencia a insectos o una combinación de ambos, lo cual representa el 59%, 15% y 26% respectivamente del área plantada mundialmente (James, *et. al.*, 2013).

A partir del uso comercial de las variedades transgénicas desde 1996 a la fecha, se menciona que han contribuido a la seguridad alimentaria, la sustentabilidad y el cambio climático. De 1996 a 2011, incrementaron la producción agrícola por un valor de 98.2 billones de dólares, de los cuales 40% fueron debido a la reducción de costos de producción (menor preparación del suelo, menor utilización de herbicidas y menor gasto de mano de obra) y el 60% restante se debió a ganancias por incremento en rendimientos. También contribuyeron a mejorar el medio ambiente, lo que permitió ahorrar 473 millones de kg de unidades de pesticidas. En el 2011 redujeron las emisiones de CO_2 en 23.1 billones de kg; conservaron la biodiversidad, ahorrando 108.7 millones de has y contribuyeron a la disminución de la pobreza, ya que más de 15 millones de pequeños productores utilizan estas variedades (James, 2013).

Estas cifras son espectaculares, sin embargo hay estudios que cuestionan estos resultados (Massieu, 2009; Ferrer, 2009; Bianco, 2010; Novás, 2011), en los que se mencionan que las semillas transgénicas son caras y solo son proporcionadas por las empresas que las generaron, y aunque estas corporaciones indican que sus variedades mejoran los rendimientos por ha, debido principalmente a la ausencia de mermas por ataques de plagas y por la competencia con las malezas, estudios realizados en España y Estados Unidos de América han reportado que estos incrementos no se dan en todas las regiones, ni en todos los sistemas de producción. En Brasil y Argentina, documentaron las ventajas económicas del uso de variedades OGM, principalmente por el ahorro de mano de obra, sin embargo los estudios no mencionaron la necesidad de desarrollar economías de escala, el uso de maquinaria y sobre todo la gran concentración de tierras que se está efectuando en estos países, con su consecuente expulsión de campesinos a las ciudades con los problemas sociales que representa.

También son cuestionados los beneficios ambientales y la reducción de la pobreza, donde se argumenta que ésta no es motivada por falta de alimentos, sino porque la gente no tienen dinero para comprar alimentos y a la fecha no hay estudios que demuestren que los beneficios económicos de los transgénicos se traduzcan en mayores ingresos para los campesinos. Con respecto al medio ambiente, en los estudios realizados no se menciona que los cultivos Biotecnológicos (Bt) utilizan un patógeno natural que mata los insectos (incluyendo a los polinizadores y predadores) y que las plantas inmunes al glifosato, propician resistencia y modifican la fauna y flora natural.

Otro tema que no ha sido estudiado suficientemente es el de las características de los alimentos derivados de los OGM y sus efectos en la salud del consumidor, de tal manera que no hay evidencia científica oficialmente reconocida de éstos. Lo cual es delicado sobre todo por alimentos con propiedades nuevas, o por lo menos se debería mencionar en la etiqueta que son producidos con variedades transgénicas, lo cual no acontece actualmente en ningún país.

Finalmente un comentario adicional, salvo el caso del frijol resistente al virus del mosaico dorado generado por la EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), las variedades OGM que se utilizan comercialmente, se generaron por las grandes corporaciones, Bayer, Monsanto, Syngenta, Dow, Du Pont, Basf (Silva y Borém, 2013b). Sin embargo no por ello, no se realiza investigación nacional, en México se han realizado una gran cantidad de proyectos con OGM, para diversos cultivos y ambientes, como lo muestra el número de artículos científicos que se publicaron durante el periodo 2000-2012, por las dos principales instituciones que han realizado este tipo de proyectos: Cinvestav INIFAP, 625 y 157 respectivamente (Amaro y Robles, 2013), sin embargo no se usa comercialmente ninguna.

Biotechnología aplicada a las especies pecuarias de interés económico

En el ámbito alimentario pecuario, la aplicación de procesos biotecnológicos igualmente se remonta a más de 2000 mil años con la elaboración de los primeros quesos y yogures, aunque es en la primera mitad

del siglo xx, con la utilización de la inseminación artificial en el ganado bovino, cuando inicia la aplicación utilitaria masiva de la biotecnología pecuaria como tal (Dávalos *et. al.*, 2014).

Igual que para la actividad agrícola, la producción pecuaria esta siendo transformada por los avances en la biotecnología, que ha generado una gran variedad de tecnologías entre las que se incluye a la ingeniería genética, modificación genética, transgénicos, técnicas de ADN recombinante, y la clonación. Becker y Cowan (2009) mencionan que los productores están cada vez mas interesados en la aplicación de la biotecnología para mejorar la productividad, la consistencia y calidad de los alimentos pecuarios; para introducir nuevos alimentos, fibras y productos médicos, también mencionan el potencial que representa el uso de animales transgénicos en la salud humana que incluyen la producción de productos biofarmacéuticos y la generación de órganos, tejidos y células para xenotrasplantes. Sin embargo no ha habido un uso comercial mayor como el caso de las Bt agrícolas, dado que existen fuertes críticas de los posibles efectos en la seguridad de los alimentos y la resistencia social a los posibles impactos negativos sobre el bienestar animal y los ecosistemas, planteando la adecuación de la actual estructura regulatoria para evaluar y gestionar los riesgos creados por estas tecnologías (Rexroad Jr. *et. al.*, 2007).

Las tecnologías biotecnológicas aplicadas a las especies pecuarias de interés económico se han enfocado principalmente al mejoramiento genéticos, a la nutrición animal, al manejo reproductivo y al control de enfermedades, a continuación se mencionan los avances.

La biotecnología ha presentado aportes importantes al mejoramiento genético tradicional. La identificación de los alelos asociados a esas características complejas en las poblaciones solo fue posible a partir del desarrollo y localización de marcadores moleculares polifórmicos en el genoma, especialmente los microsatélites y los polimorfismos de base única (SNP), lo cual permitió la construcción de mapas genéticos saturados y consecuentemente un mapeo de locus de un carácter cuantitativo (QTL) (Lehmann *et. al.*, 2011).

También la selección genómica es una herramienta desarrollada para el mejoramiento genético, sin embargo por la gran cantidad de información que se requiere, lo están realizando empresas privadas

extranjeras, limitando su aplicación a instituciones que cuentan con recursos para su adquisición. Por el lado de su aplicación comercial, de acuerdo con el planteamiento de Rothschild y Plastow (2014), mencionan que son tres grupos beneficiados por los avances de la genómica: grandes productores pecuarios, consumidores de los países desarrollados e investigadores biomédicos, pero que esos beneficios aún no llegan a los productores familiares de los países en desarrollo, lo cual representa un reto para los científicos para los próximos 30 años. En México, instituciones como el INIFAP, están desarrollando proyectos de investigación mediante la utilización de la genómica para el mejoramiento genético de bovinos leche y abejas, los productores de pie de cría (en el caso de bovinos) y los productores de abejas reina son los que se beneficiarán de los resultados obtenidos.

El avance de la Biotecnología en los últimos 25 años ha posibilitado el desarrollo organismos genéticamente modificados (GM) (Barre-ra, 2007), la mayoría de estos animales GM están todavía en etapa de investigación, sin embargo un estudio realizado por Farabosco *et. al.* (2013) identificaron que algunos de éstos pudieran estar disponibles pronto para su comercialización, como es el caso de los cerdos con propiedades de mayor crecimiento y a la vez producir mas carne con menos alimento. Los científicos también han puesto atención en la salud del cerdo, incrementando la tasa de sobrevivencia, reduciendo el riesgo de enfermedades infecciosas y fortaleciendo su sistema inmunológico. Los mismos autores mencionan que los ovinos han sido modificados para mejorar la producción de lana y su inmunidad; en el caso de las vacas GM se esta realizando investigación sobre resistencia a encefalopatía espongiiforme bovina. De lo expuesto en este párrafo se deduce que el número de especies pecuarias de interés económico GM, desarrolladas a nivel laboratorio se ha incrementado, pero a la fecha aún no se utilizan comercialmente.

La biotecnología aplicada a la salud animal, ha contribuido con una gran cantidad de información científica sobre los agentes patógenos causantes de las principales enfermedades que afectan el ganado, lo cual ha permitido el desarrollo y mejoramiento de métodos moleculares para su detección y para el perfeccionamiento de vacunas cada vez más específicas y efectivas. Todo esto ofrece amplias perspectivas

para que a través de su incorporación en los programas de sanidad animal se logre la detección, el control y la erradicación de las principales enfermedades del hato nacional.

Un estudio de revisión de los avances recientes de la aplicación de la Biotecnología a la nutrición animal, menciona tres áreas principales: agregación de valor a los cultivos que producen ingredientes usados en la alimentación animal; producción de aditivos alimenticios y manipulación de los microbios del rumen para mejorar la utilización de los alimentos (Varkpeh, 2013). En el caso de México, se han realizado estudios de la incorporación del maíz con mayor contenido de proteína (QPM) en la dieta de cerdos y aves, también se ha incrementado el uso comercial de aminoácidos, enzimas, grasas, prebióticos, en diferentes proporciones de acuerdo a la etapa fisiológica del animal, mejorando la eficiencia nutritiva. También la Biotecnología ha contribuido a mejorar la eficiencia reproductiva de las especies pecuarias, aplicando las tecnologías de reproducción asistida, con mucho mayor éxitos en bovinos, ovinos y caprinos (Dyck *et. al.*, 2014) que en porcinos.

Financiamiento a la investigación agropecuaria en México

Las inversiones en ciencia y tecnología forman parte de la política de desarrollo económico o social de un país (Dueñas *et. al.*, 2012), y pueden constituir un incentivo para generar conocimientos y tecnologías, cuya aplicación se convierte en beneficios para la sociedad, por ello en México se han destinado fondos públicos para apoyar proyectos de investigación básica y aplicada, que incluyen el tema de biotecnología en la mayoría de las convocatorias del Conacyt. Para el caso de la investigación biotecnológica agropecuaria, además de los Fondos Sectoriales Sagarpa-Conacyt, se apoya con recursos de las Fundaciones Produce² y los Fondos Mixtos del Conacyt a nivel estatal. Los proyectos apoya-

² Las Fundaciones Produce (FP) tuvieron como antecedente el programa Alianza para el Campo (creado en 1995), que fue el resultado del esfuerzo conjunto de los Gobiernos Federal y Estatal; orientado a brindar apoyos para el desarrollo y modernización del sector agropecuario como un medio efectivo para incrementar su productividad y rentabilidad en un escenario de economía abierta (Ekboir *et. al.*, 2006).

dos con fondos públicos tienen el propósito de generar conocimientos que beneficien a la sociedad en su conjunto, aunque en México no hay una línea clara que separe los resultados de los recursos privados y públicos, ya que muchos proyectos son financiados con ambos recursos, desarrollados por instituciones de investigación públicas, sin embargo los productos generados con esos proyectos adquieren un carácter privado, bajo el argumento de propiedad intelectual.

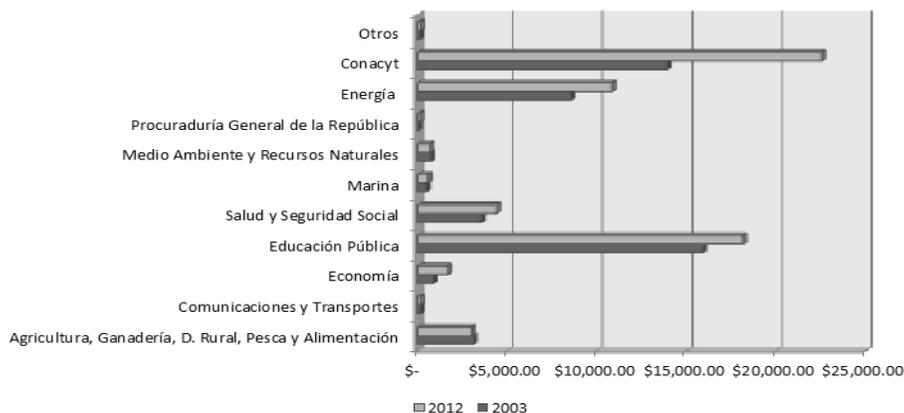
Derivado de los apoyos del Conacyt, se instituyó la Red de Biotecnología para la Agricultura y la Alimentación (BioRed), constituida por cuatro Nodos de líneas temáticas diferenciadas: Nodo Acuícola, Nodo Agrícola, Nodo Alimentos y Nodo Pecuario, la BioRed cuenta con una base de datos que elaboró en el 2003, identificando 133 entidades que potencialmente realizan actividades en el campo de la biotecnología, 110 de ellas, reportan al menos alguno de los siguientes elementos: un investigador/profesor, un grupo de trabajo, algún proyecto, colaboración y/o programa de licenciatura en el campo de la biotecnología. Sin embargo en esta base de datos no se desglosa la información por sector o nodo, de tal manera que no fue posible identificar la situación del los sectores agrícola y pecuario.

Con el fin de dimensionar la importancia de la investigación en biotecnología, en la Gráfica 1 se presenta el Gasto Federal en Ciencia y Tecnología (GFCYT) por sector administrativo, para los años 2003 y 2012, se observa que para el sector agropecuario (que incluye también el desarrollo rural, pesca y alimentación), se destinó en promedio del 2003 al 2012 menos del 6% del gasto total, con una tasa de crecimiento negativa.

El otro sector que pudiera relacionarse con la biotecnología agropecuaria es el de medio ambiente y recursos naturales, cuyos montos son menores que los dedicados al sector agropecuario, con solo el 1.4% en promedio para el mismo periodo. Lo anterior muestra que el sector agropecuario no ha sido una prioridad para la política de investigación del país.

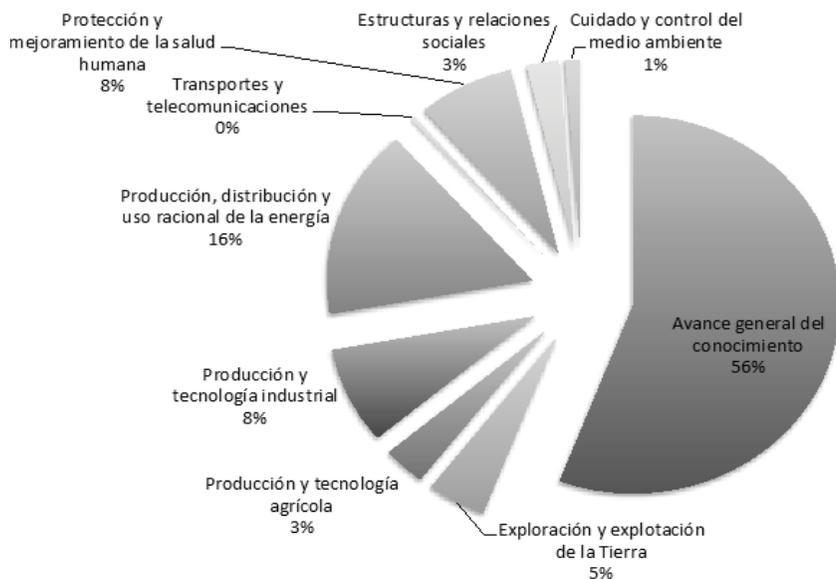
También se puede ver la importancia del sector agropecuario en la Gráfica 2, en donde para el gasto federal para la producción y tecnología agrícola representó solo el 3%, aunque también hay que considerar que los recursos destinados para la investigación en biotecnología

Gráfica 1. Gasto federal en ciencia y tecnología en México en los años 2003 y 2012, por sector administrativo, millones de pesos de 2012



Fuente: elaboración propia a partir de datos del Conacyt (Conacyt, 2013b).

Gráfica 2. Distribución porcentual del gasto federal en ciencia y tecnología en México por objetivo socioeconómico, promedio 2003-2012



Fuente: elaboración propia a partir de datos del Conacyt (Conacyt, 2013b).

agropecuaria pudieran estar considerados en el objetivo de avance general del conocimiento, que representa el mayor porcentaje.

Un estudio publicado por el ASTI en el 2008, identificó en el año de 2006 había 169 agencias públicas que realizaban actividades de investigación agropecuaria en México, que en conjunto empleaban a 4,067 investigadores equivalentes de tiempo completo (Stads *et. al.*, 2008), de estas instituciones, las que reportan realizar mas proyectos relacionados con la Biotecnología son el Cinvestav, que ejerce el 4.4% del presupuesto, con una tendencia a crecer, la otra institución que reporta realizar investigación en biotecnología es el INIFAP, que ejerce el 3% del gasto total en promedio para el periodo 2003-2012, aunque con una tendencia a disminuir. Otras instituciones públicas que realizan investigación biotecnológica son la UNAM, la UAM, el IPN, el CP, la UACH y algunos centros de investigación del Conacyt.

Por los datos presentados en el Cuadro 1, se observa que el país destinó recursos para realizar investigación en ciencia y tecnología, que si bien no son de la proporción que se destina en otros países³ y en virtud que la biotecnología se ha considerado un área prioritaria, parte de estos recursos han sido para apoyar proyectos biotecnológicos, sin embargo la eficiencia de estos recursos no ha sido la óptima para el país.

Una evaluación de los impactos generados con los proyectos apoyados por el Sistema de Investigación Regional Miguel Hidalgo (SIHGO)⁴ en el 2005, reportó que las instituciones que realizaron proyectos de

³ Al revisar las cifras de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) por sus siglas en inglés) se aprecia que el porcentaje destinado a investigación y desarrollo (i&d) en el país está muy debajo de la media de los países de la OECD, y más aún de los países punteros como Corea, no obstante ser ésta la economía número 15 en el mundo, y la mexicana la número 14, según el Banco Mundial con cifras de 2011. México destinó en el 2011 el 0.43% del PIB a la Investigación y Desarrollo, en cambio Canadá destina el 1.74%, Estados Unidos el 2.76, el promedio de la OECD fue de 2.36, el promedio de la Unión Europea fue de 1.93, Alemania 2.88, China 1.84, Corea 4.03, Brasil 1.23 y Argentina 0.64 (OECD, 2013).

⁴ El Sistema de Investigación Regional Miguel Hidalgo (SIHGO), fue uno de los nueve Sistemas de Investigación Regional del Conacyt, que incluye a los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí. Durante el periodo de 1995 – 2002 el SIHGO financió 312 proyectos de investigación y 5 proyectos de transferencia de tecnología en los estados antes mencionados con un monto aproximado de \$88.7 millones de pesos corrientes (Espinosa *et. al.*, 2005).

Cuadro 1. Instituciones que ejercen el gasto federal en ciencia y tecnología en México, promedio 2003-2012

	<i>Periodo 2003-2012</i>		
	<i>Promedio*</i>	<i>% del total</i>	<i>TMCA</i>
<i>Educación Pública</i>	16130.6	31.5%	1.49
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)	7343.8	14.3%	3.90
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav)	2268.5	4.4%	3.84
Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)	1723.4	3.4%	-0.70
Instituto Politécnico Nacional (IPN)	2182.3	4.3%	-8.74
El Colegio de México, A.C.	569.3	1.1%	1.66
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	112.7	0.2%	12.51
Otros	1963.1	3.8%	-0.47
<i>Energía</i>	8340.5	16.3%	2.69
<i>Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación</i>	2879.0	5.6%	-0.30
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)	1516.5	3.0%	-3.27
Colegio de Posgraduados (CP)	835.5	1.6%	2.14
Universidad Autónoma Chapingo (UACH)	296.0	0.6%	-2.66
Instituto Nacional de la Pesca	178.5	0.3%	8.72
Otros	42.5	0.1%	3.73
<i>Salud y Seguridad Social</i>	3855.0	7.5%	2.32
<i>Conacyt</i>	16864.0	32.9%	5.50
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología	10036.8	19.6%	6.13
Centros de Investigación-Conacyt	6827.1	13.3%	4.52
Otros sectores administrativos	3143.6	6.1%	3.90
Total	51212.7	100.0%	3.08

* Millones de pesos de 2012.

Fuente: elaboración propia a partir de datos del Conacyt (Conacyt, 2013b).

investigación en el área de biotecnología, en el periodo 1995-2002 fue el Cinvestav y el INIFAP, en la evaluación que se realizó, fueron los que mayor monto ejercieron, pero los de menor cumplimiento de las metas y productos comprometidos (Espinosa *et. al.*, 2005). Lo cual induce a pensar que no solo son los recursos los que se requieren para generar conocimientos y tecnologías, también se deben revisar los procesos de gestión de la investigación, identificar con mayor precisión las prioridades de investigación, fortalecer los procesos de transferencia de tecnología y los vínculos entre el sector de investigación y las empresas y sectores productivos.

Estudios prospectivos y su aplicación al futuro de la Biotecnología

Los estudios prospectivos son herramientas importantes para la gestión de la ciencia y la tecnología (CT), y son de mayor utilidad en contextos cambiantes como en los tiempos actuales, de grandes avances tecnológicos, como es el caso de las innovaciones biotecnológicas, el cambio climático, las crisis recurrentes y las presiones de los consumidores por productos inocuos y saludables, crean un marco propicio para el uso de estudios prospectivos, los cuales se basan en el contexto. Si bien existen diversas metodologías para realizar estudios prospectivos, las más utilizadas internacionalmente son las técnicas de la elaboración de escenarios y el método Delphi.

Este último surge como un método de investigación prospectivo cuyo objetivo fundamental es obtener una respuesta grupal fidedigna (y en la medida de lo posible consensuada) a partir de un proceso sistemático de consulta y análisis de información (Moctezuma *et. al.*, 2012). En dicho proceso participará un panel reducido de individuos “expertos”, que actúan en representación de la población relevante para el estudio. Se trata, por tanto, de una metodología de gran potencial prospectivo, analítico y sintético, especialmente adecuada para abordar problemas complejos (Domínguez y Gómez, 2013).

En referencia directa a biotecnología en agricultura, en 2006 se realizó un estudio prospectivo y foro de estrategias para el sistema de

investigación agropecuario mexicano, en el que se aplicó el método Delphi en un panel de expertos en México (Saldaña *et. al.*, 2006), uno de los temas que se estudió fue el de la Biotecnología.

Metodología

El estudio constó de tres partes, con diferentes abordajes metodológicos.

Diagnóstico del estado del arte

Para conocer el estado del arte de la investigación en biotecnología pecuaria se realizó una revisión de los padrones institucionales para identificar las instituciones e investigadores que están realizando investigación biotecnológica pecuaria. También se procedió a la búsqueda de hojas web institucionales de organizaciones de investigación pública y de educación superior, así como a la revisión documental. De igual manera, se recurrió al método de “bola de nieve” que consistió en solicitar a los investigadores entrevistados nos refirieran con otros que ellos supieran estaban llevando a cabo investigación en la misma área (Cea D’Ancona, 1998).

La revisión de fuentes secundarias se complementó con la aplicación de un cuestionario con el objetivo de caracterizar el quehacer de la investigación en biotecnología pecuaria en México, su problemática y relación con las necesidades sectoriales nacionales, dicho cuestionario se estructuró, previo pilotaje del mismo, en cuatro secciones: 1) información general del entrevistado, 2) Líneas, proyectos y recursos de investigación, 3) Problemática de la investigación biotecnológica en México y 4) Productos de la investigación. Se aplicó a los investigadores identificados previamente, por lo tanto, la encuesta no es probabilística. El cuestionario se complementó, en la mayoría de los casos de los investigadores identificados, con una entrevista personalizada vía presencial directa, o vía videoconferencia o telefónica, audio grabada, y transcrita estenográficamente para su análisis.

El instrumento constó de preguntas cerradas, las que se analizaron mediante la obtención de frecuencias estadísticas. También incluyó preguntas abiertas, básicamente las inherentes a opinión de la problemática relacionada con la investigación biotecnológica pecuaria, mismas a las que se les dio un tratamiento cualitativo.

Con la información proporcionada referente a los proyectos biotecnológicos desarrollados por los investigadores, así como sus publicaciones relativas al tema, se construyó una base de datos para el análisis cuantitativo de las preguntas cerradas, por medio de frecuencias y promedios, también se realizó un análisis cualitativo de las preguntas abiertas y de las entrevistas realizadas para determinar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA).

Estudio prospectivo

Se aplicó el método Delphi, para ello diseñó un cuestionario y se aplicó a un grupo de científicos expertos en biotecnología pecuaria en un panel presencial, donde emitieron sus valoraciones (calificaciones) con una escala del 1 al 10, en la que 1 significó importancia casi nula y 10 se consideró como extremadamente elevada, este método conlleva un proceso sistemático de obtención de consensos o disensos de los panelistas expertos hasta lograr la mayor aproximación al consenso utilizando medidas estadísticas (medianas, primer cuartil, tercer cuartil y diferencia intercuartílica $q3 - q1$) (Moctezuma *et. al.*, 2012), el consenso se determinó mediante la diferencia intercuartílica de $q3 - q1 \leq 2.5$. Se definieron dos escenarios con una visión de futuro al año 2030, uno tendencial, desarrollo con mínimos avances y retrocesos) y uno optimista (crecimiento económico y desarrollo sostenible).

La convocatoria de los panelistas expertos se hizo con base en tres criterios: 1) haber participado en la etapa de diagnóstico, 2) alta productividad científica en su quehacer de investigación en biotecnología pecuaria, 3) disposición a participar.

El instrumento constó de las siguientes partes:

- Un espacio con los datos generales del panelista.

- Bloque 1 de Orientación de la Investigación en Biotecnología Pecuaria, con preguntas sobre los temas de: Segmentos Socioeconómicos; Tipos de Investigación; y Procesos y productos pecuarios.
- Bloque 2 de Recursos en el que se preguntó sobre aspectos de Soporte, recursos financieros y capacidad científica - técnica, en el momento actual; Soporte, recursos financieros y capacidad científica - técnica, en el momento futuro (año 2030).

El análisis de las respuestas de los expertos se complementó con el cálculo de la necesidad de desarrollo de competencias (Gomes *et al.*, 2002), que es el producto de la mediana en la importancia futura por la mediana del dominio actual, restado a 10, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$N = I * (10 - D)$$

donde:

N= necesidad de desarrollo de competencias (en la variable analizada)

I= importancia futura de la variable

10 - D = diferencia entre dominio máximo (10) y dominio evaluado por el panel de expertos

Foro de estrategias

Al finalizar el panel Delphi se aprovechó la participación de los panelistas expertos para conducir un foro de estrategias y recomendaciones. La dinámica consistió en presentar a los convocados los resultados del diagnóstico y problemática que enfrenta la investigación biotecnológica pecuaria. Posteriormente, y bajo metodologías participativas y el método de lluvia de ideas se llenó una matriz de dos entradas, donde la primera entrada contenía la problemática detectada del diagnóstico, y en la segunda se solicitó a los panelistas exponer de manera abierta su opinión sobre acciones a realizar y los actores-instituciones relevantes para llevarlas a cabo, a efecto de identificar las estrategias para atender la problemática señalada.

Resultados y discusión

Estado del arte de la investigación en biotecnología pecuaria

De un padrón de 147 investigadores identificados, se logró aplicar la encuesta a 77 de ellos, es decir el 52%, que pertenecen a 8 Centros e Institutos, y a 9 instituciones de educación superior, 88% cuenta con doctorado, y el 12% con maestría. El tiempo dedicado a la investigación en biotecnología pecuaria indicado por los investigadores encuestados refleja que se tiene experiencia en el área, el 62% señaló tener más de 10 años, el 18% más de 6 años y sólo el 3% mencionó tener menos de un año investigando sobre este tema.

El 60% de los entrevistados realizó sus estudios de posgrado en México, y el 40% en el extranjero, lo cual indica la capacidad de las instituciones mexicanas para la formación de recursos humanos de alto nivel, aunque resulta deseable la formación en el exterior – de manera particular en campos de mayor desarrollo – a efecto de lograr vinculación con grupos de investigación extranjeros e inclusive acceso a fuentes de financiamiento internacional. El 55% pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), lo cual se puede interpretar en dos sentidos, por un lado representa un estímulo el 45% restante, pero también indica una baja productividad científica de casi la mitad de investigadores, por lo que se tendría que identificar cuál es su causa, dado que son investigadores con experiencia y grado académico de doctor.

El 79% de los encuestados funge como responsable de proyecto(s) en la actualidad, lo que denota capacidad de liderazgo para allegarse recursos y tutelaje en la actividad objeto de análisis del presente estudio. Lo anterior se reafirma con el dato de que 81% de los encuestados tiene proyectos del área biotecnológica pecuaria terminados en los últimos tres años. Los investigadores a cargo de proyectos vigentes cuentan en promedio con 2.92 investigadores colaboradores; y respecto a los proyectos terminados, contaron con una media de dos colaboradores.

Se registraron 144 proyectos vigentes en biotecnología pecuaria, el eje temático predominante es el de salud, tanto para diagnóstico (39%) como para desarrollo de vacunas (15%), le sigue en importancia el de mejoramiento genético y reproducción animal con el 25% de los pro-

yectos y en menor proporción se encuentran los proyectos de alimentación y nutrición animal (11%), calidad e inocuidad de alimentos (5%) y producción animal general (5%). Estos resultados coinciden con las tendencias mundiales de la investigación biotecnológica (Coutinho, 2011), sin embargo, se requiere reenfocar la investigación hacia las áreas de nutrición y procesamiento de alimentos de origen animal, donde se identifican áreas de oportunidad.

De los proyectos vigentes, el INIFAP es la institución con el mayor porcentaje, con el 31%, seguido por la UNAM a través de sus Facultades de Medicina Veterinaria y Zootecnia y de Estudios Superiores de Cuautitlán, con 22%. El 47% restante es realizado en otras universidades públicas y centros de investigación. La misma tendencia se aprecia en los proyectos de biotecnología pecuaria terminados en los últimos tres años.

En relación con la colaboración interinstitucional que se da en los proyectos biotecnológicos vigentes, se observó que 62% de los mismos corresponden a una sola institución, 29% a dos instituciones y solo 9% a tres o más instituciones. Al referirse a los proyectos terminados en los últimos tres años, se observa que 69% correspondieron a una sola institución, y 31% a dos o más. Los datos anteriores representan un área de oportunidad de mejora para fortalecer la relación interinstitucional para el desarrollo de proyectos de biotecnología pecuaria, sobre todo por la complejidad del proceso de investigación de esta área (Gerber *et. al.* 2013; Silva y Borém, 2013a). También los estándares internacionales de financiamiento de investigación privilegian en la actualidad la interacción interinstitucional.

El periodo de vigencia de los proyectos biotecnológicos pecuarios es básicamente de tres años (38%), dos años (25%) y un año (25%); de cuatro años o más, el 12%. Lo anterior ocurre básicamente en función de los términos de referencia definidos por las fuentes de financiamiento. Los investigadores —que tienen definida en muchos casos una línea de trabajo de mayor alcance— recurren a terminar un proyecto con entregables determinados y plantear nuevos proyectos sobre su misma línea, con entregables diferentes.

Los productos generados en los proyectos terminados de investigación, destacan las publicaciones científicas con el 27%, sucedidas

por las tesis de maestría y resúmenes en congresos especializados con 23% cada una. Preocupa —dada la naturaleza del área de investigación— que solo 2% de los productos generados sean patentes, entre las causas mencionadas por los investigadores de este valor son, el desconocimiento de los procesos para patentar, así como la falta de asesoría en las instituciones, patentar es complicado y demanda mucho tiempo del investigador en la “tramitología”, que la patente no es planteada como una meta en los proyectos y la escasa vinculación entre investigadores y el sector productivo que daría utilidad a la patente, entre otras.

Lo anterior representa una importante área de oportunidad para las instituciones, pues no obstante que muchas de ellas cuentan con oficinas dedicadas a atender la gestión jurídica administrativa de las patentes, resulta evidente que ha hecho falta labor de difusión, comunicación y promoción para la generación de patentes. Las propuestas de solución planteadas por los investigadores para atender la escasa generación de patentes son: contar con grupos de asesores y departamentos institucionales exclusivos con personal especializado para llevar a cabo dicha gestión; realizar cursos o pláticas de orientación al respecto; motivar el planteamiento de la generación de patentes desde la planeación de los proyectos de investigación; contar con mayor financiamiento para la investigación, que contemple partidas presupuestales para la gestión de patentes; fomentar las redes de vinculación; capacitar y promover en los investigadores interesados los esquemas de comercialización de los productos de investigación y patentes de uso; promover la simplificación -a nivel del estado mexicano- de los esquemas de gestión de patentes, entre otras menciones.

Los 144 proyectos biotecnológicos pecuarios vigentes en 2013 registraron en total un monto de financiamiento por \$96,660,500.00, es decir, una media de \$671,253.47 por proyecto; lo anterior puede resultar adecuado, si es recurso destinado para operar y no para adquirir infraestructura de equipamiento, por lo costosa de ésta. Respecto a las fuentes de financiamiento, destacan los fondos de Conacyt con el 21% de los proyectos, y luego los recursos presupuestales propios institucionales, para el caso del INIFAP y la UNAM. El sector productivo comienza a involucrarse en el financiamiento del 12% de los pro-

yectos. Para el caso del financiamiento de los proyectos terminados, igualmente destaca el Conacyt con 32% de los montos suministrados, sucedido por las Fundaciones Produce. La infraestructura referida por los investigadores en biotecnología pecuaria fue equipo de cómputo en 94% de los casos, equipo especializado en 94%, acceso a bioterio o animales de granja en 70% y laboratorio de dedicación exclusiva para biotecnología, en 68%.

La mayoría de los investigadores entrevistados (52%) está totalmente de acuerdo o de acuerdo en que la investigación biotecnológica pecuaria nacional está enfocada a atender necesidades reales de la sociedad; un 33% se refiere neutral al respecto, y sólo un 15% no coincide con la aseveración; el 53% opina que no existen recursos humanos suficientes para realizar este tipo de investigación y algunos opinaron inclusive que el personal formado que egresa de posgrados en el área no tiene posibilidades reales de colocarse en el mercado laboral, ya que no se está dando un crecimiento en las plantillas de investigadores o de nuevas instituciones en el sector, ni de reemplazo generacional en las existentes.

Llama la atención la opinión de los investigadores respecto al acceso a financiamiento para el desarrollo de su quehacer investigativo, donde 67% considera que es insuficiente, aunque en este caso existe la cifra dura del porcentaje del PIB destinado a I&D en México ya señalado anteriormente (Conacyt, 2013a). La opinión de los investigadores en cuanto a su vinculación directa con los usuarios de la investigación biotecnológica pecuaria es dividida, igualmente sucede con el tiempo que pueden dedicar para realizar investigación biotecnológica pecuaria, donde la explicación está en función de la adscripción de los investigadores: aquellos que laboran en instituciones de educación superior deben atender actividad docente, aunque también se menciona la necesidad de involucrarse en actividades de servicios y administración, ante la carencia de personal de apoyo, ello abre un área de oportunidad a las instituciones a efecto de optimizar sus aparatos de gestión y servicios.

La opinión cualitativa de los investigadores encuestados respecto a la problemática general que afronta la investigación biotecnológica pecuaria nacional por atender es —en orden decreciente de mencio-

nes durante las entrevistas— la falta de apoyos económicos; la falta de estructuras de colaboración y de servicios de apoyo para el quehacer investigativo; la necesidad de una mayor vinculación investigador–productor-empresario, y entre instituciones mismas de investigación; la necesidad de mayor y mejor infraestructura y recursos presupuestales para su mantenimiento; la falta de personal capacitado y la falta de plazas de nueva creación para investigación; la necesidad de vincular la investigación biotecnológica pecuaria con las necesidades y realidad del campo; necesidad de difundir en la sociedad con mayor énfasis e información objetiva y clara qué es la biotecnología y los organismos genéticamente modificados (OGM); falta de visión en las dirigencias institucionales, y de los políticos; falta de actualización de los investigadores en varios casos para modernizarse con nuevas herramientas biotecnológicas; necesidad de mejorar los programas de posgrado de formación de recursos humanos para la investigación; y la falta de información e involucramiento de los investigadores con la problemática “real” que afrontan los procesos productivos de los productores pecuarios.

Las propuestas de solución planteadas por los investigadores para atender la problemática señalada en el párrafo anterior van justamente en el sentido de plantear los esquemas inversos al problema, por ejemplo, canalizar mayores recursos económicos a la investigación biotecnológica pecuaria, establecer los mecanismos de vinculación pertinentes, etc. Es evidente que algunas de las acciones demandan del largo plazo, o escapan a las posibilidades socioeconómicas inmediatas. Pero existen otras que es posible atender mediante un ejercicio eficiente de gestión, voluntad y vinculación.

De los resultados del diagnóstico se puede derivar el siguiente análisis FODA de la investigación biotecnológica pecuaria.

Fortalezas

- Existe riqueza de recurso humano, experiencia y formación, que se refleja en los 144 proyectos vigentes registrados en 2013 con más de 96 millones de pesos.
- Hay infraestructura básica para el desarrollo de la misma, aunque más consolidada en algunas instituciones con respecto a otras.

Oportunidades

- Existen áreas por atender en la investigación biotecnológica pecuaria: genómica, bioinformática y nanotecnología como disciplinas; y manejos de residuos pecuarios, aumento de la eficiencia energética de los sistemas pecuarios, mejoramiento de razas adaptadas a ambientes hostiles por el cambio climático, monitoreo de seguridad y calidad de alimentos de origen animal, desarrollo de medicamentos veterinarios, entre otras, como temas.
- Existe interés de los investigadores por acceder a mecanismos que les permitan generar patentes.

Debilidades

- Falta mayor financiamiento e infraestructura para la investigación, particularmente en las instituciones de provincia.
- Falta mayor apoyo operativo y administrativo para el quehacer del investigador.
- Falta mayor vinculación con otros grupos de investigación, con la industria y con la realidad del sector productivo primario en campo.
- Falta incorporar a los relevos de los actuales investigadores.
- Escasa visión y cultura empresarial del investigador.

Amenazas

- Existe un ambiente de incertidumbre respecto a la política de apoyo a la investigación en su conjunto, pero es mayor la relacionada con el sector agropecuario, además de la falta de claridad en definir temas prioritarios: ¿investigación?, ¿transferencia tecnológica?, ¿capacitación?

Prospectiva de la investigación biotecnológica pecuaria

El panel Delphi se realizó el 13 de noviembre de 2013 en la Ciudad de México con 15 participantes, todos con grado de doctor y dedicados

el 100% a la investigación de la biotecnología pecuaria, con un promedio de 25 años de experiencia laboral, con un mínimo de 7 años y un máximo de 48 años, el 25% fueron investigadoras. Los 15 expertos provenían de siete instituciones, seis de ellas universidades y una dedicada a la investigación, la UNAM fue la que aportó el mayor número, seguido del INIFAP, si bien participaron investigadores de 9 estados, seis radican en el Distrito Federal.

Se obtuvo un nivel de consenso de un 75.31%, de un total de 239 variables, el apartado con mayor consenso fue el del tipo de investigación, y el de menor nivel consenso fue el de procesos y productos pecuarios, el porcentaje de consenso alcanzado, coincide con los reportados para estudios similares (Moctezuma *et. al*, 2012, Domínguez y Gómez, 2013). A continuación se presentan los principales resultados obtenidos.

Los tres segmentos económicos-sociales, identificados como de mayor importancia que actualmente son beneficiarios de la investigación en biotecnología pecuaria fueron: 1) la Industria farmacéutica que atiende al sector pecuario; 2) Industria para la alimentación animal y 3) la Industria de insumos y productos para la reproducción y mejoramiento animal. Se observa que el segmento industrial fue el más importante actualmente, tal vez por ser los que cuentan con mayores recursos monetarios para utilizar las herramientas de la biotecnología pecuaria. Caso contrario, los segmentos que fueron calificados con las medianas más bajas y que significan los de menor importancia fueron: 1) Productores pecuarios de subsistencia, 2) Organismos no gubernamentales (ONGS) y 3) Pequeños productores pecuarios familiares vinculados a cadenas productivas.

Al momento de cambiar la visión y llevarla al futuro (año 2030) y bajo un escenario tendencial, la percepción de los expertos no cambia substancialmente, ya que los segmentos más favorecidos por sus calificaciones, siguen siendo los tres segmentos de la industria, solo agregaron a los medianos y grandes productores pecuarios.

El segmento industrial es del cual actualmente, se tiene un mayor conocimiento acerca de sus demandas, ya que obtuvieron calificaciones con medianas de 8 y 7, la primera en la farmacéutica y la segunda para la de insumos y productos para reproducción y

mejoramiento animal, junto con la de alimentación animal. Derivado de los resultados de conocimiento actual de la demanda y la importancia futura, se identificaron los segmentos socioeconómicos que requieren mayor investigación para conocer sus demandas relacionadas con la investigación biotecnológica pecuaria, los cuales fueron: 1) Otras áreas de investigación (generación de conocimiento básico), 2) Medianos y grandes productores pecuarios y 3) Pequeños productores pecuarios familiares vinculados a cadenas productivas.

Respecto al tipo de investigación a desarrollar, destaca en la actualidad que para el sector público la investigación aplicada en biotecnología pecuaria, es la que recibe mayor atención con un 30% y después sigue la adaptativa con el 25% y la que menor atención recibe, según los expertos fue la investigación básica y estratégica. Por otro lado, el sector privado, se orienta hacia la investigación aplicada y adaptativa, con un 30% cada una y la de menor atención la básica con 10%. Al cambiar la focalización hacia el futuro (año 2030), para el sector público prevalece la opinión de que la prioridad será la investigación aplicada con un 36.5%, sucedida por la básica que alcanzó un valor de 30%. Para el sector privado, también prevalece la visión de que la investigación aplicada será la que más se atienda con un 40% y después la investigación adaptativa con el 20% y la que menor esfuerzo de atención recibirá será la investigación básica.

La investigación pecuaria en biotecnología también se orienta hacia el desarrollo de procesos y productos que son utilizados para las actividades ganaderas, de acuerdo con la opinión de los expertos, actualmente los más importantes son: 1) desarrollo de vacunas, 2) desarrollo de medicamentos veterinarios, 3) Métodos para el diagnóstico de enfermedades animales y 4) Mejoramiento genético. No sorprende el hecho de que los expertos confieran menor relevancia a temas como el de terapias génicas en medicina veterinaria que todavía no son demandadas, ni la amenaza de bioterrorismo en México; pero llama la atención que aún no se considere el desarrollo de productos orientados hacia las necesidades específicas de los consumidores, como ocurre actualmente en otros países, y el importante tema ambiental del tratamiento y reciclaje de residuos pecuarios.

Al pasar al tema del dominio de conocimiento que se tiene de los procesos biotecnológicos en la actualidad, los expertos no lograron ponerse de acuerdo en 13 de los 17 procesos motivo de estudio, los cuatro procesos con consenso fueron: 1) monitoreo de seguridad y calidad en el procesamiento de alimentos de origen pecuario; 2) control biológico de plagas y enfermedades; 3) animales con crecimiento acelerado y 4) aumento de la eficiencia energética en los sistemas productivos.

Al analizar los recursos para la investigación biotecnológica pecuaria, se dividieron en tres tipos: *a)* soporte técnico-operacional en donde se incluye la disponibilidad de laboratorios, equipos e infraestructura, *b)* recursos financieros que se destinan a la ejecución de las actividades de investigación en biotecnología pecuaria, así como al mantenimiento del nivel de conocimiento científico-técnico y *c)* capacidad técnica-científica que se conceptualizó como la disponibilidad de profesionistas calificados para la realización de los procesos de investigación en las organizaciones de ciencia y tecnología. Se calificaron bajo dos escenarios, uno tendencial y uno optimista

En ambos escenarios, el proceso de tratamiento y reciclaje de residuos pecuarios fue el que mayor cambio requiere se dé en cuanto al soporte técnico - operacional otorgado, y siguió en orden de importancia en el escenario optimista el monitoreo de seguridad y calidad en el procesamiento de alimentos de origen pecuario, mientras que en el escenario tendencial lo fue el de métodos para el diagnóstico de enfermedades animales.

En el escenario optimista quedaron empatados en primer lugar cuatro procesos que requieren de mayor captación de recursos financieros en la opinión de los expertos, y que fueron el aumento de la resistencia a las plagas y enfermedades, mejoramiento genético, aumento de la eficiencia de procesos fisiológicos en animales (eficiencia nutricional, capacidad adaptativa, etc.) para el incremento de la producción y el aumento de la eficiencia energética en los sistemas productivos. En tanto que, para el escenario tendencial, el proceso que alcanzó el primer lugar fue el de aumento de la resistencia a las plagas y enfermedades.

El proceso que de acuerdo con los expertos presenta una mayor necesidad de cambio en la capacidad técnica - científica es hacia tera-

pias génicas, y empatados en segundo lugar los procesos de desarrollo de medicamentos veterinarios, monitoreo de seguridad y calidad en el procesamiento de alimentos de origen pecuario, aumento de la eficiencia energética en los sistemas productivos y tratamiento y reciclaje de residuos pecuarios.

Recomendaciones

Poner atención a temas clave en el ámbito de la ganadería nacional, así como a los derivados de los compromisos nacionales contraídos con los programas internacionales. Ej. el tema ambiental, la internacionalización de los costos ambientales, la captura de carbono, el agotamiento de los combustibles fósiles, la escases hídrica; los alimentos funcionales; movilización de ganado y enfermedades emergentes.

Definir estrategias de vinculación entre la industria, el Conacyt (y otras fuentes de financiamiento) y los investigadores biotecnólogos pecuarios que permitan integrar cadenas de grupos y proyectos.

Definir una visión y planeación estratégica de mediano y largo plazo de hacia dónde va la biotecnología pecuaria, para enlazar sus alcances con los del plan de desarrollo nacional.

Analizar y dar seguimiento a los proyectos terminados, promoviendo una autoevaluación crítica de su impacto.

Generar mecanismos ágiles para la gestión de patentes producto de la investigación biotecnológica pecuaria.

Crear una hoja web del Nodo Pecuario de la Red Biotecnología (Bio-RED) actualizable y útil para los usuarios.

Realizar una campaña de difusión dirigida a la sociedad para conocer las bondades y beneficios que ofrece la biotecnología pecuaria.

Bibliografía

Aguilar Cristóbal (2012). "México, ciencia y biotecnología, una breve descripción del 2012". *BioTecnología*. Vol. 16 No. 4. México.

- Amaro Marcela, Robles Eduardo (2013). "Producción de conocimiento científico y patrones de colaboración en la biotecnología mexicana". *Entreciencias diálogos en la sociedad del conocimiento*. vol. 1 núm 2. México.
- Arias Carlos, Arriaga Elena, Barrera Hugo, Bolívar Francisco, Bosch Pedro, De La Torre María, et. al. (2004). *Recomendaciones para el desarrollo y consolidación de la biotecnología en México*. México, D.F. Conacyt-AMC.
- Barrera Hugo (2007). "Manipulación genética de animales transgénesis y clonación". En: *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*. 2ª edición. México, D.F. El Colegio Nacional.
- Becker Geoffrey Cowan Tadlock (2009). Biotechnology in animal agriculture: status and current issues. *Congressional Research Service Reports*. Paper 32. University of Nebraska, Estados Unidos.
- Bianco Mariela, Chiappe Marta, Carámbula Matías (2010). "Agrobiotecnologías en Uruguay: Posicionamiento de Actores en Torno a un Debate Incierto". *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. Volumen 7, Número 3, México.
- Bolívar Francisco G. (2007). *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*. 2ª edición. México, D.F. El Colegio Nacional.
- Carrer Helaine, Barbosa André, Alves Daniel (2010). "Biotecnología na Agricultura". *Estudos avançados*. Vol. 24, No. 70. Brasil.
- Cea D'Ancona, Ma. de los Ángeles (1998). *Metodología cuantitativa: estrategias y técnicas de investigación social*. Madrid, España. Editorial Síntesis.
- Conacyt-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2013a). *Informe de labores 2012*. México, D.F. Conact.
- Conacyt-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2013b). *Indicadores de actividades científicas y tecnológicas*. México, D.F. Conact.
- Costa Jaime, Novillo Concepción, Ojembarrena Alberto, Tribó Francesc (2010). "Variedades modificadas genéticamente (MG), para una agricultura más eficiente y sostenible". *Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible*. No. 4, Abril. España.
- Dávalos José L., Moctezuma Georgel, Espinosa José A. (2014). *Estado del Arte Sobre la Investigación en Biotecnología Pecuaria en México*. Libro Técnico. México, D.F. Biored-Conacyt-

- Domínguez Marcos, Gómez Fátima (2013). “Pagos agroambientales y productores agrarios: un análisis Delphi de las percepciones y demandas de los ganaderos beneficiarios de los programas de ayudas”. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*. No. 236. España.
- Dueñas Marco, Rojas Diana, Morales Ma. Eugenia (2012). “Propuesta Metodológica para Realizar Mapas de Conocimiento”. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, vol. xx, núm. 1. Colombia.
- Dyck M., Zhou C., Tsoi S., Grant J., Dixon W., Foxcroft G. (2014). Reproductive technologies and the porcine embryonic transcriptome. *Animal Reproduction Science*. Num. 149. Estados Unidos.
- Ekboir Javier, Dutrénit Gabriela, Martínez Griselda, Torres Arturo, Vera Alexandre (2006). *Las Fundaciones Produce a diez años de su creación: pensando en el futuro. Division Discussion Paper 10*. Washington, DC. ISNAR.
- Espinosa José A, Reyes Luis, Bustos Diana, Tapia Alfredo, Loredó Catarina, Lara Ereida (2006). *Sistema de Investigación Regional Miguel Hidalgo, productos generados y su impacto. Libro Técnico 5*. Querétaro, Qro. INIFAP.
- Farabosco F., Löhmus M., Rydhmer L., Sundström L. (2013). Genetically modified farm animals and fish in agriculture: *A review. Livestock Science*. Núm. 153. Estados Unidos.
- Ferrer Argelia (2009). “Percepción Pública de la Biotecnología Agrícola en la Ciudad de Mérida, Venezuela”. *Agroalimentaria*. N° 28. Venezuela.
- Gerber Pierre, Steinfeld Henning, Henderson Benjamin, Mottet Anne, Opio Carolyn, Dijkman Jeroen, et. al. (2013). *Hacer frente al cambio climático a través de la ganadería – Evaluación global de las emisiones y las oportunidades de mitigación*. Roma, Italia. FAO.
- Grange Luciana, Nagy Olivia Marcia, Patera Andressa Caroline, Kehl Angelica Luana (2013). “Biotecnología, Biossegurança e Bioética”. En: *Manejo de Cultivos Transgénicos*. Palotina PR, Brasil. UFPR.
- James Clive (2013). *Situación global de los cultivos transgénicos/GM comercializados: 2013*. ISAAA Brief. No. 46. Ithaca, NY. ISAAA.
- Lehmann Luiz, Fernandes Millor, Jorge Erika (2011). “Biotecnología animal”. *Estudos avançados*. Volumen 24, Número 70. Brasil.

- Massieu Yolanda (2009). “Cultivos y alimentos transgénicos en México, El debate, los actores y las fuerzas sociopolíticas”. *Argumentos UAM-X, Nueva Época*, Volumen 22, núm. 59. México.
- Moctezuma Georgel, Espinosa José A., Tapia Alfredo, Pérez Magaly (2012). “Estudio Prospectivo Medioambiental con Orientación Estratégica de la Investigación Forestal en Seis Países Latinoamericanos”. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. Vol. 3, núm. 12. México.
- Novás Anton (2011). “Aportaciones para un debate sobre los alimentos transgénicos”. *Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible*. No. 7, octubre. España.
- Rexroad Jr. C., Green R., Wall R. 2007. Regulation of animal biotechnology: Research needs. *Theriogenology*, Núm. 68S. Estados Unidos.
- SIAP-Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2012). Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta, Bases de Datos 1990-2012. Disponible: <http://www.siap.gob.mx/optestadisticacon2012parcialsiacon-zip/>. Consultada el 2 de abril de 2014.
- Silva Wellington, Borém Aluizo (2013a). “Biotecnología: Novo Paradigma do Agronegócio Brasileiro”. *Revista de Economia e Agronegócio*, vol.11, núm 1. Brasil.
- Silva Wellington, Borém Aluizo (2013b). “Perspectivas sobre as variedades transgênicas”. En: *Manejo de Cultivos Transgenicos*. Palotina PR, Brasil. UFPR.
- Stads Gert, Moctezuma Georgel, Espinosa José A., Cuevas Venancio, Jolalpa José L. (2008). *Indicadores de Ciencia y Tecnología, México. ASTI Cuaderno de país No. 41*. Washington, D.C. Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias.
- U.S. Congress, Office of Technology Assessment 1991. *Biotechnology in a global economy*. OTA-BA-494. Washington DC. U.S. Government Printing Office.
- Varkpeh Roland (2013). Recent advances in the application of Biotechnology in animal nutrition. Thesis of M. Agric. Animal Science Degree. University of Ghana. Ghana.