

Comparación de la respuesta a la prueba de la tuberculina en dos sitios de aplicación en bovinos con tuberculosis

Carlos Garro¹, Miguel Cobos Roldán², Fernando Delgado¹, Sergio Garbaccio¹

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro de Investigaciones en Ciencias Veterinarias y Agronómicas (CICVyA), Instituto de Patobiología Veterinaria, UDD INTA-CONICET, Nicolás Repetto y De los Reseros s/n, Hurlingham, Castelar, Buenos Aires, Argentina. ²Asesor privado.

garro.carlos@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

El diagnóstico de tuberculosis bovina (TB) se realiza a través de la prueba de la tuberculina (PT). En Argentina, el diagnóstico operativo de rutina se aplica en el pliegue ano caudal (PAC) interno utilizando PPD bovina (derivado proteico purificado de *M. bovis*). Sin embargo, en otros países de la región, la PT de rutina se aplica en el PAC externo. Nuestro objetivo fue describir la relación de tamaño entre el PAC interno y el PAC externo (inyectados con PPD bovina y sus opuestos) y comparar la proporción de positivos entre ambos pliegues en animales naturalmente infectados con TB. Previo a la inyección de PPD bovina se realizó una inspección clínica de los pliegues en busca de signos de inflamación inespecíficos. Los pliegues inyectados con PPD bovina mostraron a las 72 h posteriores una correlación positiva en el tamaño de la reacción. No hubo diferencias significativas ($p > 0,1$) en la probabilidad de detección de positivos entre el PAC interno y el PAC externo para los dos criterios de interpretación utilizados (≥ 3 mm y ≥ 5 mm). No se registraron signos de inflamación inespecíficos en los pliegues. Las potenciales implicancias prácticas del PAC externo como sitio de inyección de PPD bovina y en la interpretación de los resultados son discutidas.

La tuberculosis bovina (TB) es una enfermedad infectocontagiosa zoonótica, producida principalmente por *Mycobacterium bovis* (*M. bovis*) que conlleva a importantes pérdidas económicas. La piedra angular del control de TB es la detección de los animales infectados y su remoción del rodeo antes de que contagien la enfermedad a otros individuos susceptibles.

La prueba de la tuberculina (PT) es la herramienta de referencia para el diagnóstico de TB y la más ampliamente utilizada a nivel mundial (Torres, 2000a; OIE, 2013; Courcier *et al.*, 2021). Se basa

en la detección de una respuesta de hipersensibilidad a la aplicación de tuberculina, un extracto obtenido del cultivo en medio sintético de *M. bovis* (Torres, 2000b). La legislación vigente en Argentina (Resolución SENASA 128/2012) indica la aplicación intradérmica utilizando una tuberculina estándar producida con *M. bovis*, denominada PPD bovina (PPD es la sigla en inglés de derivado proteico purificado). La reacción a la PPD bovina en animales infectados consiste en una respuesta inflamatoria localizada producida por activación de células linfocíticas y monocitos que

emigran desde la sangre circulante al sitio de inoculación (Buddle *et al.*, 2011). La respuesta a la PT en bovinos es interpretada a las 72 h posinoculación a través de la palpación y medición de la induración.

La PT simple utilizando PPD bovina puede ser aplicada en el PAC (de uso en Estados Unidos, Nueva Zelanda, Australia y países latinoamericanos) o en la piel del cuello (de uso en Europa) (Buddle *et al.*, 2011; Bezos *et al.*, 2014). Este último sitio de aplicación es de mayor sensibilidad diagnóstica (Huitema, 1970; OIE, 2013; Casal *et al.*, 2015). En

Argentina la prueba operativa de rutina se indica en el PAC interno (Resolución SENASA 128/2012, Art 17), mientras que otros programas que utilizan la misma prueba aplican la PPD bovina en el PAC externo (Sag, 2009; SAGARPA, 2013; Oirsa, 2015). Esta particularidad se originó por antiguas observaciones de lesiones inflamatorias en los PAC externos que podrían interferir con el diagnóstico de TB (Pedro Torres¹, comunicación personal). Estas lesiones podrían ser producidas por ectoparásitos, como los ácaros de la sarna, que pueden afectar la zona caudal del bovino. La sarna fue endémica en la región central de Argentina hasta la década de 1990 del siglo pasado, pero el uso de drogas endectocidas ha limitado su ocurrencia a brotes esporádicos (Anziani *et al.*, 2015).

Nuestro objetivo fue describir los tamaños del PAC interno y el PAC externo inyectados con PPD bovina (72 h posinoculación) y los pliegues opuestos y comparar la probabilidad de detección de positivos entre ambos pliegues en bovinos naturalmente infectados con TB.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales evaluados

Fueron evaluados 136 bovinos de un rodeo lechero sanitario compuesto por 230 animales infectados naturalmente con TB. Todos los animales eran adultos (entre 1 y 4 lactancias) de la raza Holando Argentino, alimentados con una dieta de base pastoril con suplementación. La PT previa a este estudio, en los animales evaluados, había sido aplicada con ≥ 60 días de anterioridad. Previo a la inyección de PPD bovina se realizó una inspección clínica de los pliegues para

registrar signos de inflamación inespecíficos y/o compatibles con la infestación por ácaros de la sarna (dermatitis, prurito, excoriaciones, costras y/o exudados).

Aplicación y medición de la PT

A cada animal se les inyectó PPD bovina en forma intradérmica y simultánea en dos sitios: el PAC interno izquierdo y el PAC externo derecho, en la región media de su longitud. Para el PAC interno se utilizó una jeringa automática Fix TBC® de 3 cc con aguja calibre 6, cánula de 5 mm y bisel corto. Para el PAC externo se utilizó una jeringa automática Mclintock® de 2 cc con aguja schimmel. La maniobra de inyección de PPD bovina en el PAC interno se realizó con la ayuda de un asistente que elevaba la cola del animal, exponiendo en forma natural el pliegue. La maniobra de inyección de PPD bovina en el PAC externo consistió en sujetar la cola desde su base manteniendo su posición anatómica y exponiendo el pliegue con el dedo medio para inyectar con la mano contraria. En ambos casos, se insertaba la aguja en un ángulo pequeño (10-15 grados) evidenciando la formación de la pápula luego de inyectar PPD bovina. Para todas las pruebas se utilizó una única marca comercial de PPD bovina (Tuberculina CDV®, 1 mg/mL, 32.500 UI/ml). Las mediciones se realizaron en el diámetro transversal más amplio de la induración en los pliegues inoculados y, simultáneamente, en la región media de los pliegues no inoculados, utilizando un calibre digital. La diferencia de tamaño entre el pliegue inyectado con PPD bovina y su pliegue opuesto fue calculada como indicador del incremento de tamaño.

Análisis de los datos

Debido a la no normalidad en la distribución de los datos, utilizamos la mediana, los cuartiles, el rango intercuartílico y los valores mínimos y máximos para describir el tamaño de los pliegues. La relación de tamaño entre los pliegues inyectados con PPD bovina y los pliegues opuestos se evaluó a través de gráficos de dispersión agregando una línea de regresión local y su intervalo de confianza al 95% (Servy *et al.*, 2006). Para clasificar a un bovino como positivo se utilizaron dos criterios: el estándar (incremento del tamaño del pliegue ≥ 5 mm) y el severo o estricto (incremento del tamaño del pliegue ≥ 3 mm) (Resolución SENASA 128/2012, Art. 19). Un modelo de regresión logística mixto fue utilizado para evaluar el efecto del sitio de inoculación en la probabilidad de obtener resultados positivos. Para considerar la falta de independencia en los resultados de la PT en cada animal, el modelo incluyó una corrección agregando el identificador del animal como variable aleatoria. Los gráficos y el análisis fueron realizados con los paquetes "ggplot2" (Wickham, 2016) y "nlme" (Pinheiro *et al.*, 2022) respectivamente, en entorno de R Studio versión 3.6.1 (R Studio Team, 2020).

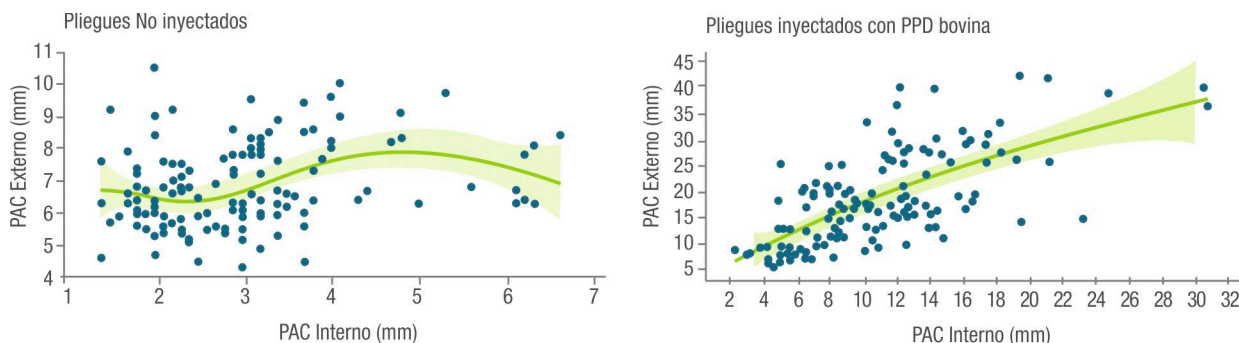
RESULTADOS

Descripción de los pliegues

Al momento de inyectar PPD bovina, ningún animal presentó en ambos pliegues, signos inflamatorios inespecíficos y/o compatibles con infestación por ácaros de la sarna.

La descripción del tamaño de los pliegues se muestra en la tabla 1. El tamaño del PAC interno y el PAC externo no

Figura 1. Gráfico de dispersión del tamaño de los pliegues no inyectados y los pliegues inyectados con PPD bovina (72 horas posinoculación). La línea marca la tendencia de los datos con su intervalo de confianza del 95%.



¹ Exjefe del programa nacional de control y erradicación de TB.

inyectados con PPD bovina no estuvo correlacionado. Pero el tamaño del PAC interno y del PAC externo inyectados con PPD bovina (72 h posinyección) mostró una correlación positiva (figura 1).

Resultados como positivos/negativos

La cantidad y proporción de bovinos positivos se muestra en la tabla 2. La probabilidad de detectar positivos a la PT no fue significativamente diferente entre el PAC interno y el PAC externo para los criterios de interpretación estándar ($p > 0,4$) y severo ($p > 0,4$). Un total de 14 animales (10,2%) fueron negativos simultáneamente en ambos pliegues para el criterio de interpretación severo.

DISCUSIÓN

Este trabajo evaluó la respuesta a la PT en el PAC interno y PAC externo en bovinos naturalmente infectados analizando la relación entre el tamaño de los pliegues y la potencial diferencia en la interpretación final de los resultados. Por cuestiones operativas los pliegues no pudieron medirse previo a la inoculación de PPD bovina. Pero debido a la simetría descrita para estos, la comparación del pliegue inyectado con el opuesto no inyectado es considerado adecuado para la interpretación final de los resultados (Resolución SENASA 128/2012; Sag 2009).

El tamaño de los pliegues no inyectados con PPD bovina no estuvo correlacionada lo que sugirió que sus tamaños son independientes entre sí. Sin embargo, los pliegues inyectados con PPD bovina mostraron una correlación positiva en el tamaño sugiriendo que la respuesta inmunológica es similar en ambos sitios de aplicación. Es decir que, tamaños de reacción grandes en el PAC interno se relacionan con tamaños de reacción grandes en el PAC externo y viceversa. La regresión aplicada nos permitió inferir la correlación en el tamaño, sin el cumplimiento de los supuestos requeridos (Servy *et al.*, 2006). A futuro, las recopilaciones de más datos podrían esclarecer esta relación observada.

Por un lado, entre los pliegues no inoculados, el PAC externo registro un mayor tamaño que el PAC interno (6,2 mm vs. 2,1 mm). Esta característica podría permitir, como menciona Huitema (1970), la introducción de la aguja en una mayor longitud del espesor de la piel, disminuyendo la posibilidad de que parte de la tuberculina inyectada retroceda.

Tabla 1. Descripción del tamaño de los pliegues, la cantidad y proporción de positivos en animales con TB naturalmente adquirida (n=136).

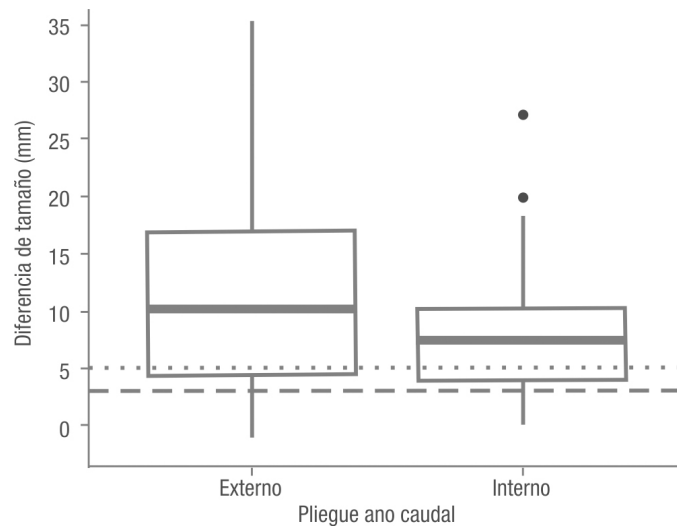
Variables	Grosor de la piel (mm)			
	Pliegue no inoculado	Pliegue inoculado	Diferencias	
PAC Interno	Mediana	2,1	10,2	7,5
	$Q_1 - Q_3$	1,2 - 2,9	7,1 - 13,4	3,8 - 10,2
	Rango intercuartílico	1,7	6,3	6,4
	Mínimo - Máximo	1,2 - 6,6	2,3 - 30,7	-0,1 - 27,3
PAC Externo	Mediana	6,4	16,7	10,1
	$Q_1 - Q_3$	5,9 - 7,8	11,2 - 24,8	4,3 - 17,3
	Rango intercuartílico	1,9	13,6	13

PAC = Pliegue ano caudal.

Tabla 2. Resultados positivos a la prueba de la tuberculina según criterio de interpretación (n = 136).

	PAC interno n(%)	PAC externo n (%)	p-valor
Estándar (≥ 5 mm)	95 (70)	99 (73)	0,4162
Severo (≥ 3 mm)	114 (83)	111 (81)	0,4933

Figura 2. Distribución de las diferencias de tamaño entre los pliegues inyectados con PPD bovina y los pliegue opuestos no inyectados en el PAC externo y el PAC interno. Las cajas representan el cuartil inferior, la mediana y el cuartil superior. Los criterios de interpretación severo (≥ 3 mm) y estándar (≥ 5 mm) para clasificar a un animal como positivo a TB se representan con la línea a rayas y la línea de puntos, respectivamente.



La variabilidad del tamaño de los PAC internos y PAC externos no inyectados con PPD bovina, basada en el rango intercuartílico es similar, sugiriendo la uniformidad de tamaño en cada uno de los pliegues. Entre los pliegues inyectados con PPD bovina el PAC externo registró,

en relación con el PAC interno, un mayor tamaño (mediana de 16,7 vs. 10,2 mm) y una mayor variabilidad (rango intercuartílico de 16,5 vs. 6,4 mm). Por ello, para el PAC interno, los tamaños ≥ 20 mm fueron valores extremos. El mayor tamaño en la respuesta a la PT en el

PAC externo podría facilitar la interpretación subjetiva de los resultados por observación y palpación. Esto resultaría de utilidad en aquellos países donde no se cuantifica el tamaño del pliegue con un calibre, sino que se realiza una interpretación subjetiva y toda reacción inflamatoria detectable en el sitio de inoculación es considerada positiva (Lepper *et al.*, 1977a; Torres, 2000b; Norby *et al.*, 2004). Aunque esta característica del PAC externo también sería de utilidad en países donde las normativas indican la medición del pliegue con calibre, ya que se ha reportado una frecuencia baja en la utilización de este elemento y/o un uso selectivo cuando las reacciones son dudosas (Humblert *et al.*, 2011). El mayor tamaño de las reacciones a la PT en el PAC externo registradas en este trabajo, podrían brindar mayores certezas al veterinario durante la palpación y medición para clasificar al animal como positivo o negativo.

Por otro lado, la falta de signos clínicos de inflamación inespecífica en los pliegues, previo a la inoculación de PPD, sugiere la ausencia de ectoparásitos (ej. sarna) u otras dermatitis en el rodeo evaluado. Sin embargo, la inspección clínica no permite descartar la existencia de ácaros de la sarna en estado latente, lo cual podría causar brotes temporales que afecten la base de la cola (Anziani *et al.*, 2015). De igual manera, la reglamentación vigente (Resolución SENASA 128/2012, Art. 17 Inc J) menciona la posibilidad de registrar estos eventos y cambiar el sitio de inyección de PPD bovina en el pliegue opuesto, cuando se sospecha que las alteraciones pueden dificultar la interpretación del test.

La probabilidad de detectar bovinos con TB no fue significativamente diferente entre la aplicación de la PT en el PAC interno y en el PAC externo tanto para la interpretación estándar como severa. Asimismo, se observó que la interpretación severa aumenta la proporción de bovinos con TB detectados como positivos en ambos pliegues, reforzando la importancia de este criterio de clasificación cuando hay antecedentes de TB en el rodeo. De igual manera, la proporción de positivos detectados con ambos criterios se encuentra dentro de los rangos de sensibilidad diagnóstica reportadas para la PT aplicada en el PAC (Monaghan *et al.*, 1994; De la Rúa-Domenech *et al.*, 2006; Buddle *et al.*, 2011).

La ausencia de respuesta a la PT en bovinos naturalmente infectados observada en este estudio (anergia) fue descrita en otros trabajos (Lepper *et al.*, 1977a,b; Monaghan *et al.*, 1994; De la Rúa-Domenech *et al.*, 2006). La anergia puede producirse por diversos factores como el incremento de la patología tuberculosa, el parto, el estrés, la malnutrición, coinfecciones virales, etc. Se desconocen los motivos por los cuales algunos animales de este estudio no respondieron a la PT en ninguno de los pliegues evaluados. Aunque es posible que los animales que resultaron negativos se hayan desensibilizado a la PT, según lo reportado por otro estudio (Coad *et al.*, 2010). No se descarta la posibilidad de que algunos animales hayan sido falsos positivos a la PT en el diagnóstico previo, aunque la probabilidad es baja (De la Rúa-Domenech *et al.*, 2006). Nuestros resultados refuerzan la importancia de no repetir la PT en bovinos que ya fueron clasificados como positivos. Nuevos estudios que ajusten el modelo estadístico por covariables como la edad, días al parto, estado corporal, etc. podrían mejorar el entendimiento acerca de la potencial importancia de estos factores en la capacidad de respuesta a la PT en los sistemas de producción locales.

La maniobra para aplicar la PT en el PAC externo fue realizada según las indicaciones descritas en Chile (Sag, 2009). Otra técnica para inyectar el PPD bovina en el PAC externo consiste en sostener el pliegue con los dedos índices y pulgar mientras se inyecta con la otra mano (Sagarpa, 2013). Ambas formas de manipular el PAC externo no requieren de la elevación de la cola del animal haciendo más sencilla la técnica inyección e interpretación, lo cual podría ser beneficioso cuando se deben evaluar tamaños grandes de rodeos sin la colaboración de ayudantes.

CONCLUSIONES

En bovinos infectados naturalmente con TB la respuesta a la PT aplicada en PAC interno y el PAC externo demostró una correlación positiva en el tamaño de las reacciones. Para los criterios de interpretación utilizados tanto en el PAC interno como en el PAC externo no difieren significativamente en la probabilidad de detección de positivos. Un criterio

severo permite detectar una proporción mayor de positivos en ambos pliegues. El PAC interno y el PAC externo no presentaron lesiones inflamatorias inespecíficas. El mayor tamaño del PAC externo podría facilitar la maniobra de inyección de PPD bovina y la interpretación final de los resultados.

AGRADECIMIENTOS

A Gonzalo Ledesma y personal de campo por su colaboración en el trabajo durante el manejo de los animales y las maniobras de inoculación y lectura.

FINANCIACIÓN

Esta actividad fue financiada a través del Proyecto disciplinario "Desarrollo de tecnologías diagnósticas y estudios epidemiológicos para el control de enfermedades que afectan la producción animal y la salud pública". Código: 2019-PD-E5-1103-001.

REFERENCIAS

¹ Jefe del programa nacional de control y erradicación de TB.

BIBLIOGRAFÍA

- ANZIANI, O.S.; SUAREZ ARCHILLA, G.; SCANDOLO, D.; COOPER, L.; MUCHIUTT, S. (2015). Sarna psoróptica bovina. ¿El regreso de un viejo enemigo al área central de la Argentina? (Disponible: https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_sarna_pisoroptica_bovina_junio_2015.pdf).
- BEZOS, J.; CASAL, C.; ROMERO, B.; SCHROEDER, B.; HARDEGGER, R.; RAEBER, A.J.; LÓPEZ, L.; RUEDA, P.; DOMÍNGUEZ, L. (2014). Current ante-mortem techniques for diagnosis of bovine tuberculosis. *Res Vet Sci* 97:S44-S52. doi: 10.1016/J.RVSC.2014.04.002
- BUDDLE, B.M.; LIVINGSTONE, P.G.; DE LISLE, G.W. (2011). Advances in ante-mortem diagnosis of tuberculosis in cattle. <http://dx.doi.org/10.1080/00480169200936899> 57:173-180. doi: 10.1080/00480169.2009.36899
- CASAL, C.; ALVAREZ, J.; BEZOS, J.; QUICK, H.; DÍEZ-GUERRIER, A.; ROMERO, B.; SAEZ, J.L.; LIANDRIS, E.; NAVARRO, PEREZ, A.; DOMÍNGUEZ, L.; DE JUAN, L. (2015). Effect of the inoculation site of bovine purified protein derivative (PPD) on the skin fold thickness increase in cattle from officially tuberculosis free and tuberculosis-infected herds. *Prev Vet Med* 121:86-92. doi: 10.1016/j.prevetmed.2015.07.001

- COAD, M.; CLIFFORD, D.; RHODES, S.G.; HEWINSON, R.G.; VORDERMEIER, H.M.; WHELAN, A.O. (2010). Repeat tuberculin skin testing leads to desensitisation in naturally infected tuberculous cattle which is associated with elevated interleukin-10 and decreased interleukin-1 beta responses. *Vet Res* 41:14. doi: 10.1051/vetres/2009062
- COURCIER, E.; ASCENZI, E.; GORDON, A.; DOYLE, L.; BUCHANAN, J.; FORD, T.; DUNLOP, M.; HARWOOD, R.; MCALLISTER, K.; MCGUCKIAN, P.; RAYMOND KIRKE, R.; AYASTUY, F.; MCCAUGHEY, D.; JANET MCKEOWN, J.; QUINN, L.; SMITH, C.; YOUNG, F.; CORBETT, D.; BARRY, C.; MENZIES, F. (2021). The regression of the bovine tuberculin reaction: Results from the Reactor Quality Assurance study in Northern Ireland. *Vet J* 272:. doi: 10.1016/J.TVJL.2021.105664
- DE LA RUA-DOMENECH, R.; GOODCHILD, A.T.; VORDERMEIER, H.M.; HEWINSON, R.G.; CHRISTIANSEN, K.H.; CLIFTON-HADLEY, R.S. (2006). Ante mortem diagnosis of tuberculosis in cattle: A review of the tuberculin tests, γ -interferon assay and other ancillary diagnostic techniques. *Res Vet Sci* 81:190-210. doi: 10.1016/j.rvsc.2005.11.005
- HUITEMA, H. (1970). Prueba de la tuberculina en bovinos y otros animales. Seminario Internacional sobre Tuberculosis Bovina para las Américas. Santiago (Chile). 185-203 pp.
- HUMBLET, M.F.; WALRAVENS, K.; SALANDRE, O.; BOSCHIROLI, M.L.; GILBERT, M.; BERKVEN, D.; FAUVILLE-DUFAUX, M.; GODFROID, J.; DUFÉY, J.; RASKIN, A.; VANHOLME, L.; SAEGERMAN, C. (2011). Monitoring of the intra-dermal tuberculosis skin test performed by Belgian field practitioners. *Res Vet Sci* 91:199-207. doi: 10.1016/J.RVSC.2010.12.004
- LEPPER, A.W.; NEWTON-TABRETT, D.A.; CORNER, L.A.; CARPENTER, M.T.; SCANLAN, W.A.; WILLIAMS, O.J.; HELWIG, D.M. (1977a). The use of bovine PPD tuberculin the single caudal fold test to detect tuberculosis in beef cattle. *Aust Vet J* 53:208-13. doi: 10.1111/j.1751-0813.1977.tb00187.x
- LEPPER, A.W.; PEARSON, C.W.; CORNER, L.A. (1977b). Anergy to tuberculin in beef cattle. *Aust Vet J* 53:214-6. doi: 10.1111/j.1751-0813.1977.tb00188.x
- MONAGHAN, M.L.; DOHERTY, M.L.; COLLINS, J.D.; KAZDA, J.F.; QUINN, P.J. (1994). The tuberculin test. *Vet Microbiol* 40:111-24.
- NORBY, B.; BARTLETT, P.C.; FITZGERALD, S.D.; GRANGER, L.M.; BRUNING-FANN, C.S.; WHIPPLE, D.L.; PAYEUR, J.B. (2004). The sensitivity of gross necropsy, caudal fold and comparative cervical tests for the diagnosis of bovine tuberculosis. *J Vet Diagn Invest* 16:126-31. doi: 10.1177/104063870401600206
- OIE. (2013). Tuberculosis Bovina. Man las pruebas diagnosticas y las vacunas para los Anim Terr 1-18.
- OIRSA. (2015). Manual de procedimientos del programa nacional de control progresivo y erradicación de tuberculosis bovina. (Disponible: https://www.standardsfacility.org/sites/default/files/STDF_PG_358_Manual_Procedimiento_Tuberculosis.pdf).
- PINHEIRO, J.; BATES, D.; TEAM, R.C. (2022). nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-157.
- R STUDIO TEAM. (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA.
- RESOLUCIÓN SENASA 128/2012. Plan Nacional de Control y Erradicación de la Tuberculosis Bovina en la República Argentina. (Disponible: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/195000-199999/195314/norma.htm>).
- SAG. (2009). Uso e interpretación de pruebas diagnósticas de campo para tuberculosis bovina. (Disponible: https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/i-pp-ve-009_pruebas_diagnosticas_tbc.pdf verificado: 21 de junio de 2021).
- SAGARPA. (2013). Manual de Tuberculinización Para Médicos Veterinarios Autorizados en Rumiantes.
- SAGARPA. (2013). Manual de Tuberculinización Para Médicos Veterinarios Autorizados en Rumiantes.
- SERVY, E.; GARCIA, M.C.; PACCAPELO, V. (2006). Regresión no paramétrica: una aplicación. Décimas Jornadas "Investigaciones en la Facultad" de Ciencias Económicas y Estadística, Universidad de Rosario. 1-20 pp.
- TORRES, P. (2000a). Tuberculosis bovina: Pruebas Tuberculínicas (inoculación, lectura e interpretación) Preguntas y Respuestas. (Disponible: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/file1008-5.pdf>).
- TORRES, P. (2000b). Las pruebas tuberculínicas en el ganado bovino. (Disponible: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/file1014-1011.pdf>).
- WICKHAM, H. (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag, Nueva York.

Bioeconomía, Valor Agregado y Desarrollo: vínculos conceptuales, antagonismos y complementariedades

Andrés Castellano¹, Mercedes Goizueta¹

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Centro Regional Córdoba, Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez, División Economía, Ruta 12 km 3, Marcos Juárez, Córdoba, Argentina.

castellano.andres@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

Desde la pasada década ha cobrado relevancia, principalmente en países de Europa occidental, el concepto de bioeconomía que, si bien está en proceso de construcción semántico, intenta poner en discusión las implicancias del agotamiento de las fuentes energéticas de origen fósil y los efectos consecuentes sobre el ecosistema y el cambio climático. De esta manera, ofrece una nueva mirada sobre el sistema capitalista mundial en tanto incluye como variable central a los recursos biológicos, delineándose así (o no) una propuesta de desarrollo económico con eje en la sustentabilidad.

En opinión de algunos autores, la transición hacia una visión del desarrollo basada en la bioeconomía ofrece, también, la posibilidad de abandonar la visión dicotómica entre agricultura y desarrollo industrial, que ha dominado los debates sobre estrategias de desarrollo en Argentina a lo largo de décadas. La bioeconomía como tal no es un sector de la economía, sino más bien constituye una estrategia de producción y organización económica que cruza a toda la economía e incluye una gran variedad de sectores y partes de sectores, nuevos, modernos y tradicionales (agricultura familiar, agrosistemas de pueblos originarios, etc.), de diversas escalas de producción, que comparten el concepto del uso de los procesos y recursos biológicos como un componente central

de sus actividades de producción y servicios (MINAGRO, 2017). Para otros autores no son todas bondades las que trae aparejada esta visión, sino que es un nuevo espacio de consolidación de los mismos actores que definen y comandan el desarrollo socioeconómico en el marco del capitalismo.

Por lo recién comentado, el objetivo de este trabajo es aportar mayores precisiones teórico-conceptuales relativos a la bioeconomía, identificando en sus elementos componentes y las relaciones que se establecen con otras miradas del desarrollo, particularmente con la referida al Valor Agregado Agroalimentario y Agroindustrial, así como también con los actores institucionales que las refrendan o reformulan.

MAPA CONCEPTUAL DE LA BIOECONOMÍA

El término bioeconomía tiene su gesta en el matemático rumano Nicholas Georgescu-Roegen (RG), devenido economista a razón de su formación bajo la órbita de Joseph Schumpeter, a mediados del siglo pasado. Particularmente, con su obra de 1971 titulada *La Ley de la Entropía y el Proceso Económico* estableció las bases iniciales para plantear que la dinámica del sistema económico era una extensión de la evolución biológica.

En esta línea, como señalan Anlló *et al.* (2018), se puede observar que GR comprendía que en la discusión de la teoría económica y los debates del desarrollo no se tenía presente la dificultad intrínseca para garantizar la sustentabilidad

del crecimiento y desarrollo continuo de la humanidad, por no tomar en cuenta la condición de entropía del sistema.

La entropía, categoría que proviene de la física, es una magnitud que permite determinar la parte de la energía por unidad de temperatura que no puede utilizarse para producir trabajo. Desde la economía, la reducción de la entropía es ocasionada por el uso de los recursos naturales (energía capturada por estos en el origen vía fotosíntesis) como insumos del proceso productivo. Para ello, la entropía debe minimizarse, principalmente a través de la puesta en valor comercial de todos los subproductos y los desechos ocasionados durante el proceso de reproducción.

Después de varias décadas, sería recién alrededor del año 2005 en que el tema cobra relevancia académica e institucional, principalmente por dos conferencias organizadas por la Unión Europea. La primera, en Bruselas, "New perspectives in the knowledge-based bio-economy", en septiembre de 2005, organizada en colaboración con la Presidencia del Reino Unido (European Commission). Y la segunda en Colonia, "En Route to the Knowledge-Based Bio-Economy", bajo la Presidencia alemana.

De ahí en más prosperaron notoriamente los esfuerzos por plantear una definición conceptual de lo que es la bioeconomía. Cabe mencionar:

- Conjunto de nuevos conocimientos / tecnologías que permiten pasar del aprovechamiento de la fotosíntesis de hace 40 millones de años al aprovechamiento de la fotosíntesis/procesos biológicos en tiempo real.
- Bioeconomía = biomasa + conocimiento.
- Es la producción y la utilización de los recursos biológicos, la tecnología y la inteligencia biológica con el fin de suministrar productos, procedimientos y servicios a todos los sectores económicos en el marco de un sistema económico sostenible.
- Es la transformación sustentable y ecoeficiente de los recursos biológicos renovables en alimentos, energía y productos industriales.
- Es un modelo socioeconómico que reduce la dependencia de los recursos fósiles y promueve la producción y utilización intensiva del conocimiento sobre los recursos, procesos y principios biológicos para el suministro sostenible de bienes y servicios en todos los sectores económicos (bioenergía,

agrícola y bioinsumos, alimentos, fibras, productos para la salud, productos industriales y bioplásticos) a la vez que contribuye de manera decidida al bienestar humano y a "descarbonizar" la economía.

- El concepto relevante para la bioeconomía es el de biomimetismo, se refiere a la replicación de procesos y principios biológicos en procesos productivos (ej. biomanufactura) o en el diseño de sistemas sociotecnológicos (ej. control de temperatura, eliminación de desechos, control de tráfico).

Si bien este listado no cubre el gran conjunto de definiciones vigentes, permite no obstante identificar algunas de las categorías analíticas que interactúan con la bioeconomía. En la figura 1 se identifican algunas de ellas.

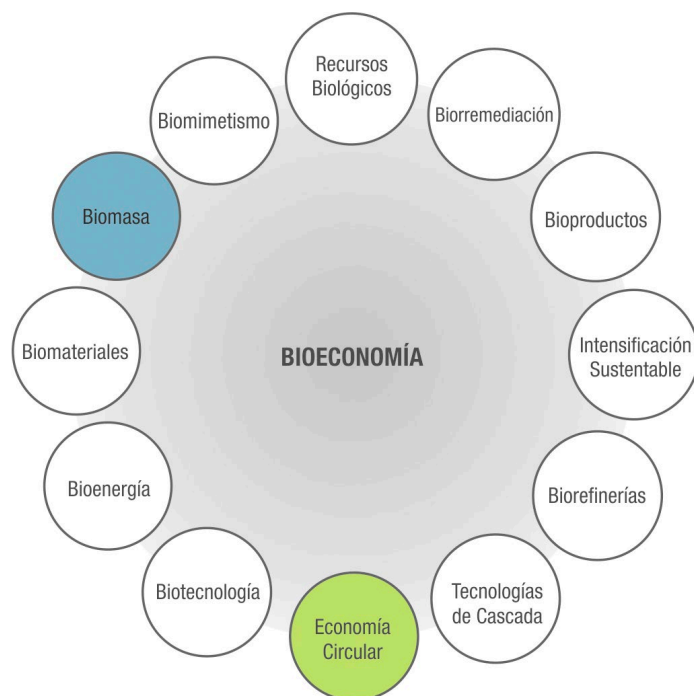
Según se observa, el prefijo bio se hace presente en muchos de los conceptos considerados: biomimetismo, biorremediación, bioproductos, biomateriales, bioenergía, entre otros, como contraposición de lo fósil. Aunque no existe un gradiente de importancia ni escalafón, se remarcan (en azul y verde) dos categorías que son parte constitutiva de la definición o están íntimamente ligadas a la bioeconomía.

La primera de ellas es la de biomasa, parte central. Básicamente, la biomasa es toda la materia orgánica susceptible de ser utilizada como fuente de energía, pudiendo ser su origen tanto vegetal como animal. En última instancia la energía de la biomasa proviene del sol y es la más antigua fuente de energía que se conoce en nuestro planeta. Los tipos de biomasa son 3: natural (ej. leña), residual (ej. residuos sólidos urbanos) y producida (ej. cultivos extensivos, como maíz, soja o caña de azúcar).

La biomasa no es una categoría homogénea y hay diferencias significativas en cuanto a la localización, la densidad energética y la transportabilidad de los distintos tipos. También, por sus características físicas (esencialmente gran volumen) y su bajo precio unitario, en la mayoría de los casos "viaja mal", es decir, su transporte a grandes distancias para el procesamiento no es eficiente desde el punto de vista económico, todo lo cual debe ser reflejado en las estrategias de desarrollo regional que se diseñen para su utilización y valorización *in situ*. (Hodson de Jaramillo *et al.*, 2019).

Para Argentina, Costa (2017) enfatiza que la bioeconomía está comenzando a desempeñar un rol de significativa

Figura 1. Mapa conceptual de la bioeconomía.



Fuente. elaboración propia.

importancia como reflejo, principalmente, de sus ventajas comparativas en la producción de biomasa. En tal sentido, empieza a emerger INTA como un actor destacado en este plano.

La segunda categoría, a pesar de que no es parte central de la definición de la bioeconomía, es el concepto más destacado con el cual interactúa. La economía circular es un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad, y cuyo objetivo es que el valor de los productos, los materiales y los recursos naturales se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible y que se reduzca al mínimo la generación de residuos. Se trata de implementar una nueva economía, circular (no lineal), basada en el principio de "cerrar el ciclo de vida" de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía.

A diferencia de los recursos lineales (petróleo, metales y minerales), los recursos circulares empleados en la producción también tienden a ser de origen local (energías renovables, biomasa y residuos), lo que favorece aún más los modelos de emprendimientos descentralizados con cadenas locales de producción, consumo y retorno.

Por consiguiente, hay muchas categorías interactuando en la bioeconomía que se ajustan a las condiciones locales y las posibilidades de cada situación; pero, en el fondo, las políticas en bioeconomía abarcan la innovación y la sostenibilidad integral en sus dimensiones sociales, ambientales y económicas, asociadas con el crecimiento

de la economía y el empleo. Según los enfoques y abordajes, se utilizan diversos términos, cada uno con sus sesgos particulares.

De acuerdo a Bugge *et al.*, (2016), y con base en un estudio bibliométrico, se identifican tres visiones o corrientes de pensamiento en torno a la bioeconomía. En la tabla 1 se detallan sus principales características.

Lo que primero se destaca es la marcada heterogeneidad de los elementos que conviven en estas tres miradas que si bien no tienen límites exactamente definidos entre ellas, dejan claras señales de futuras trayectorias que posiblemente entre en tensión en el corto y mediano plazo. En extremo: la biotecnología, por un lado, y las prácticas de producción orgánica / agroecológica, por el otro. Asimismo, esto evidencia lo planteado inicialmente: el estadio de construcción semántica de la bioeconomía.

En segundo lugar, y ligado a lo anterior, la disputa para resolver es el rol de la biotecnología, que se expresa mediante diferentes técnicas, sea el caso de la transgénesis y de la recientemente difundida Edición Génica. En el caso de Argentina los eventos de transgénesis son regulados y aprobados por la CONABIA (Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria), creada en 1991 con el objetivo de regular las actividades relacionadas con organismos genéticamente modificados (OGM) de uso agropecuario. Pero respecto de la edición génica, dicha comisión no tiene injerencia. Es decir, el tema regulatorio está políticamente liberado.

Como tercer aspecto por destacar, entre las miradas yuxtapuestas mencionadas, se encuentra la visión basada en los biorrecursos, que intenta sintetizar entre sus objetivos el crecimiento económico y la sustentabilidad medioambiental. Para ello, el foco no está puesto en el cuidado del ecosistema de manera directa, sino en la producción de productos y procesos biobasados que afecten positivamente la dinámica medioambiental. Por esa razón, es la perspectiva que se abre hacia un desarrollo rural revitalizado impulsado por la diversificación en productos de mayor valor añadido o agregado. En el próximo punto se aborda esta relación.

BIOECONOMÍA Y VALOR AGREGADO AGROALIMENTARIO Y AGROINDUSTRIAL

El punto de encuentro inicial entre ambas aproximaciones ha sido el perfil de nuestro país como gran productor y oferente de biomasa. Es decir, que la mayor disponibilidad de energía confiable generada a partir de biomasa en esquemas de pequeña o media escala amplía las oportunidades de procesamiento industrial en las localidades de origen lo cual representa sustantivas oportunidades de desarrollo territorial. Ahora bien, son tantas las coincidencias como las divergencias.

Bisang y Trigo (2018) sistematizan el conjunto de experiencias identificadas en nuestro país que son representativas de la mirada de la bioeconomía que se erige actualmente en Argentina. Para los autores, por la inercia previa, las especificidades regionales de lo biológico, y la variabilidad de los procesos, la regla general es la diversidad de modelos y con ello su adaptabilidad a distintos perfiles estructurales de empresas (tamaño, capacidades tecnológicas, localización, etc.). Básicamente, son 9 modelos de "negocios" que se describen en la tabla 2.

A simple vista, por un lado, los diferentes modelos logran una cobertura de las 3 visiones de la bioeconomía detalladas en el apartado anterior. Considerando esto, y en sentido estricto, el único modelo en línea con la mirada del Valor Agregado (VA) Agroalimentario y Agroindustrial, es el M7: "Integración vertical. Generación de Valor Agregado en Origen (VAO) a partir de granos". En este sentido, la descripción del modelo que presentan es de carácter reduccionista y circunscripto a un carácter de excepción. O sea, no se puede explicar el VA únicamente desde la variable "ahorro en flete" como elemento primordial.

Tabla 1. Aspectos centrales de las visiones de la bioeconomía.

	La visión biotecnológica	La visión basada en biorrecursos	La visión de la bioecología
Objetivos	Crecimiento económico y generación de empleo	Crecimiento económico y sustentabilidad	Sustentabilidad, biodiversidad, conservación de los ecosistemas
Creación de Valor	Aplicación de la biotecnología, comercialización de la I+D	Conversión y mejora de los biorrecursos, con orientación en los procesos	Desarrollo de sistemas integrados de producción y productos con identidad territorial
Impulsores de la Innovación	I+D, patentes, etc.	Interdisciplinarietà, uso óptimo de la tierra, gestión de residuos, producción de biocombustibles, nuevos alimentos, etc.	Identificación de prácticas agroecológicas y orgánicas, ética, sustentabilidad transdisciplinaria, reutilización y reciclaje de residuos
Modelo de Innovación	Modelo lineal de oferta tecnológica, desde la ciencia hacia la empresa	Modelo interactivo y de red: ingeniería, ciencia, mercado y consumidores	Modelo de producción circular y autosustentable
Foco territorial	Clústers globales o regionales	Ámbito rural y periurbano	Ámbito rural y periurbano

Fuente: elaboración propia con base en Bugge *et al.* (2016).

En relación con la unidad de análisis, desde el VA la variable de entrada es la Cadena de Valor local/ regional y la Iniciativa de Agregado de Valor (IAV), entendiendo por esta última el reposicionamiento efectivo que logran los sujetos productivos locales en el Sistema Agroalimentario y Agroindustrial al tomar bajo su comando nuevas actividades en las cadenas de las que participan. En cambio, para la bioeconomía vernácula, la variable de entrada es el modelo de negocio, no contemplando así el desarrollo de capacidades que en el VA ocupa un lugar central.

Por otro lado, surgen diferencias relativas al actor o sujeto productivo priorizado para estos emprendimientos. Mientras que para el VA es el productor de micro, pequeña y mediana escala (de gestión familiar), para la bioeconomía resulta indistinto pudiendo ser cualquier actor del sistema. Lo mismo con el rol de este sujeto productivo: es notoriamente diferente el emprendedor (mirada del VA) que el inversionista (contemplado por la bioeconomía).

A pesar de estas diferencias, hay signos positivos de simbiosis. La idea es también reversionar y actualizar el Valor

Agregado, históricamente anclado a la sustitución de importaciones como tema principal. Ya no se trata de los procesos tradicionales de agregación de valor, sino de la aparición de cadenas o redes de valor completamente nuevas que aprovechan las tecnologías de cascada¹ para optimizar los procesos en múltiples productos y, paralelamente, generar circularidad y, por lo tanto, una mayor sostenibilidad.

En esta línea, desde la bioeconomía, el Valor Agregado (y su versión en Origen) no se enfrentará como un planteo "tranqueras afuera", sino que se concibe como un proceso integral, interno, "aguas arriba" y "aguas abajo" de la producción de las materias primas y los insumos, y procesos, que se utilizan en esta.

Para que esto suceda, hay que echar luz sobre un elemento central, que en el caso del modelo de innovación planteado desde la visión de la bioeconomía basada en los biorrecursos está enfatizada la interacción público-privada para la gestión de la I+D+i. Esta tiene que lograr el mayor nivel de simetría posible entre ambos tipos de actores, sea en términos de recursos invertidos,

esfuerzos innovativos, distribución de beneficios, acceso masivo y plural, etc. Todo esto a los fines que los elementos propositivos del Valor Agregado y la bioeconomía se expresen en una versión mejorada de las dos corrientes de pensamiento y su percepción sobre el desarrollo sustentable e inclusivo.

CONCLUSIONES

Las dos corrientes teóricas revisadas (bioeconomía y Valor Agregado Agroalimentario y Agroindustrial) y sus vínculos con el desarrollo revelan que, en rigor, son bioconceptos. Es decir, conceptos vivos, no maduros, en instancias de construcción, que requieren de un proceso de decantación para delimitar en mayor medida sus alcances. En función de ello es parte del proceso que nuevas tensiones (algunas analizadas anteriormente) surjan y que deban ser atendidas en pos de buscar nuevas síntesis analíticas.

Lo interesante de las aproximaciones es que pretenden dejar atrás o redefinir lo que ha sido el eje del sistema capitalista hasta estos tiempos: las fuentes de energías de origen fósil y todas las industrias derivadas en torno al petróleo como expresión de aquellas.

Para la CEPAL (Rodríguez *et al.*, 2019), la construcción de la bioeconomía es un proceso que dejará perdedores (por ejemplo, en la economía de combustibles fósiles) y ganadores (por ejemplo, en nuevas cadenas de valor basadas en la biodiversidad y el aprovechamiento de residuos) y corresponderá a cada país qué decisiones tomar para gestionar el equilibrio.

Específicamente, el concepto ordenador es el cambio estructural progresivo, definido como un proceso de transformación hacia actividades y procesos productivos que presenten tres características: ser intensivos en aprendizaje e innovación (eficiencia schumpeteriana), estar asociados a mercados en rápida expansión que permitan aumentar la producción y el empleo (eficiencia keynesiana), y favorecer la protección del medio ambiente y el desacople entre crecimiento económico y emisiones de carbono (eficiencia ambiental). Para lograr estructuras productivas con estos tres tipos de eficiencia que hagan compatibles la igualdad y la protección ambiental se requiere un nuevo conjunto de instituciones y coaliciones políticas que las promuevan a nivel global, regional, nacional y local (CEPAL, 2016).

Tabla 2. Modelos de negocios de la bioeconomía.

Modelo	Descripción	Actividad
M1: Producciones agropecuarias consorciadas	A partir de una actividad principal, complementar para mejorar costos.	Rotaciones agro y ganadería. Agro y otras actividades.
M2: Remediación de suelos	Recapitalización del valor de los recursos naturales degradados.	Rotaciones adecuadas.
M3: Energía con base en biomasa "rural"	Producción de energía y complementarios a partir de biomasa en complejos integrados a gran escala.	Generación propia / terceros de biomasa. Cracking de maíz, sorgo, soja, etc., en energía.
M4: Energía a base de desperdicios urbanos	Energía con base en reciclado de basura.	Captura y selección de basura. Generación de gas y transformación en eléctrica / biodiésel.
M5: Aumento de sinergia entre varias actividades consorciadas	Reducción de costos asociados. Mejora de productividad.	Actividades complementarias. Diversificación de riesgos. Mejora de flujo financiero.
M6: Producciones alimenticias en grandes series	Compra de materia prima y transformación industrial a gran escala.	Molienda / fermentación a escala media/grande. Captura de subproductos.
M7: Integración vertical generación de VA0 a partir de granos	Procesar granos y convertirlos en animales, energía y otros. Ahorro de flete.	Agricultura SD / Precisión. Extrusado, pellets y aceite crudo. Balanceados. Feedlot.
M8: Energía a base de desechos de procesos. Ahorro de flete. Reducción de costos de transacción	Valorización de desperdicios. Conversión en energía para autoconsumo, fertilizantes y otros.	Desperdicios de tambos, Feedlot, explotaciones aviares, porcinas, biogasolinas, podas y otros.
M9: Producción de bioinsumos, biomateriales y biofábricas	Uso de biomasa para la producción de biomateriales. Seres vivos modificados con fines industriales.	Producción / aislamiento y reade-cuación de monómeros y polímeros naturales.

Fuente: elaboración propia a partir de Bisang y Trigo *et al.* (2018).

REFERENCIAS

¹ Según MINAGRO (2017): "El uso en cascada de biomasa ocurre cuando la biomasa se utiliza en la producción de lo que se define como un bioproducto (aquel derivado / producido esencialmente con recursos / procesos biológicos), y este producto es utilizado por lo menos una vez más como insumo para la producción de bienes o para energía. Se dice cascada de un paso cuando el producto es utilizado para la producción de energía; la cascada es de pasos múltiples cuando el producto inicial es utilizado por lo menos una vez como insumo de otro producto antes de ser destinado a usos energéticos".

BIBLIOGRAFÍA

ANLLÓ, G.; BISANG, R.; TRIGO, E. (2018). Bioeconomía: hacia una lógica productiva sostenible. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Montevideo, Uruguay.

BISANG, R.; TRIGO, E. (2018). Bioeconomía Argentina: Modelos de Negocios para una nueva matriz productiva. Convenio de colaboración entre el Ministerio de Agroindustria de la Nación y la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

BUGGE, M.; HANSEN, T.; KLITKOU, A. (2016). What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature. *Sustainability* 8, 691. (Disponible: www.mdpi.com/journal/sustainability).

CASTELLANO, A.; GOIZUETA, M. (2015). Dimensiones conceptuales en torno al Valor Agregado Agroalimentario y Agroindustrial.

XLVI Reunión anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria. Tandil, Argentina.

CASTELLANO, A.; GOIZUETA, M. (2017). El valor agregado en origen como política de desarrollo agroalimentario y agroindustrial. *Realidad Económica. Revista de Ciencias Sociales* N.º 306. Instituto Argentino para el Desarrollo Económico (IADE).

CEPAL. (2016). Horizontes 2030. La igualdad en el centro del desarrollo sostenible. Trigésimo sexto Período de Sesiones de la CEPAL, 23 a 27 de mayo, Ciudad de México.

COSTA, R. (2017). Los números de la bioeconomía argentina. *Bolsa de Cereales, Argentina*.

HODSON DE JARAMILLO, E.; HENRY, G.; TRIGO, E. (2019). La Bioeconomía. Nuevo marco para el crecimiento sostenible de América Latina. Colección Prometeo: Tecnología y creatividad para la sostenibilidad.

IICA. (2019). Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2019-2020 / CEPAL, FAO, IICA. San José, C.R. IICA. 144 p.

MINAGRO. (2017). Bioeconomía Argentina. Visión desde Agroindustria". Ministerio de Agroindustria, Presidencia de la Nación.

RODRÍGUEZ, A.; RODRIGUES, M.; SOTOMAYOR, O. (2019). Hacia una Bioeconomía sostenible en América Latina y el Caribe. Elementos para una visión regional. Serie Recursos Naturales y Desarrollo, N.º 191 (LC/TS.2019/25), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

VON BRAUN, J. (2017). El concepto de bioeconomía en perspectiva y su relevancia para la Agenda Global de Políticas de desarrollo". Centro de investigación y desarrollo (ZEF), Universidad de Bonn.



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina