

CAPÍTULO 4

LOS CAMBIOS EN LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN EN GANADERÍA — LA TENSIÓN ENTRE PRODUCTIVIDAD Y AMBIENTE—

Changes in livestock measurement systems – The productivity and environment tension

Jaurena¹, G.

Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía

Contenido

Resumen	77
Summary	77
Introducción.....	78
Cómo se miden los resultados de las actividades ganaderas.....	78
La escala de trabajo: del rumen a la atmósfera.....	82
Cualidades de las variables asociadas al tiempo y a la escala	83
Conclusiones	84
Agradecimientos.....	85
Bibliografía	85

RESUMEN

El monitoreo de los sistemas de producción animal se ha tornado mucho más complejo que en el pasado. A las tradicionales mediciones de índole productivo-económico, en los últimos años como consecuencia de las crecientes demandas de diferentes sectores del conjunto de la sociedad, se ha sumado la necesidad de contar con indicadores del impacto ambiental. El propósito de este capítulo es reflexionar sobre estas nuevas miradas que obligan al sector productivo no sólo a abastecer una demanda creciente de productos de calidad, sino además dar respuesta a preguntas respecto a los efectos ambientales, o sobre la forma del proceso de producción. En concreto, se propone analizar los principales cambios en las formas de medir los resultados de las actividades ganaderas, la influencia del ambiente cultural, y en particular ejemplificar a través de las mediciones de emisiones de metano.

Palabras clave. métricas en ganadería, sistemas de medición, producción animal, ambiente, emisiones de GEI.

SUMMARY

Monitoring animal production systems has become much more complex than in the past. To the traditional measures of productive-economic nature, in recent years as a result of the growing demands of different sectors of society, it has been added the need to have environmental impact indicators. The purpose of this chapter is to reflect on these new perspectives that push the productive sector not only to supply an increasing demand for quality products, but also to answer questions regarding to environmental effects, or the form of the production process. In particular, it is proposed to analyze the main changes in the ways of measuring the results of livestock activities, the influence of the cultural environment, and in particular to exemplify through measurements of methane emissions.

Key words. livestock metrics, assessment systems, animal production, environment, GHG emissions.

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía - Cátedra de Nutrición Animal. Av. San Martín 4453 (C1417 DSE – Ciudad Autónoma de Buenos Aires)

INTRODUCCIÓN

La evaluación de los sistemas de producción animal se ha vuelto cada vez más compleja. Hasta hace pocos años, el análisis de las alternativas productivas o de diferentes planteos de alimentación se limitaba a analizar exclusivamente los resultados de productividad. En los últimos años, ha habido una creciente demanda por evaluar o monitorear los efectos ambientales de las actividades agropecuarias o la forma de producir (e.g. pollos "range" o "producidos a campo", orgánico). En forma "repentina", muchos técnicos y productores se han visto obligados a "justificar" y explicar que perjuicios provocan las actividades que son su medio de vida: ¿Qué efecto tienen sobre el ambiente las empresas agropecuarias?, ¿De qué modo son criados los animales cuyos productos consumimos? Entre otros este tipo de cuestionamientos son cada vez más frecuentes y requieren de respuestas hacia la sociedad. Consecuentemente, hay un creciente interés en tratar de entender estas nuevas miradas sobre los sistemas de producción de alimentos y mejorar las formas de comunicación del sector hacia el resto de la sociedad. La ganadería en particular ha sido objeto de múltiples observaciones vinculadas, entre otras, con la salud humana, el uso de recursos naturales y el impacto ambiental. Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y del metano en particular son sólo un aspecto que ilustra un fenómeno de carácter más amplio.

¿Qué es lo que ha cambiado? ¿Por qué? ¿Qué implicaciones trae aparejadas? ¿Estos cambios son transitorios o han venido para quedarse? ¿Cómo medimos los resultados de las actividades ganaderas para dar respuesta a estas demandas? Estas son sólo algunas de las preguntas que surgen como resultado del momento que le toca transitar a todos aquellos vinculados de un modo u otro con la producción animal y agropecuaria en general. El propósito de este capítulo es reflexionar sobre algunas de estas preguntas, y analizar los enfoques que subyacen a los sistemas de medición de la producción animal y de sus efectos ambientales. Si bien se enfatizará en las emisiones de metano entérico en rumiantes, el análisis de sus causas e implicaciones reviste un carácter general.

A lo largo del capítulo se abordarán los siguientes temas: principales cambios observados en las formas de medir los resultados de las actividades ganaderas durante los últimos años, ambiente cultural y su interacción con la percepción de las estrategias de producción y el ambiente, así como medidas de emisiones de metano utilizadas con mayor frecuencia.

CÓMO SE MIDEN LOS RESULTADOS DE LAS ACTIVIDADES GANADERAS

Los animales tienen enorme importancia para la humanidad tanto en términos económicos como culturales. Los aspectos socioeconómicos de la producción animal requieren la evaluación de diferentes aspectos del proceso productivo, de modo de ajustar continuamente la gestión del sistema. Pero ¿qué se mide y para qué?

El hombre ha valorado tradicionalmente los productos de origen animal de acuerdo con distintos atributos o características que dependen de su valor nutricional, económico o derivado de otros servicios que puedan prestar, incluyendo aspectos culturales. Para nuestro país, de igual modo que para muchos otros países y regiones del mundo, las actividades ganaderas han sido evaluadas fundamentalmente por su capacidad de proveer proteínas de alta calidad para el hombre, y esta perspectiva ha moldeado la forma tradicional de medir los resultados de la actividad y el modo en que analizamos los sistemas productivos. Por este motivo ha prevalecido una métrica relacionada con la productividad: e.g. ganancia de peso, días a terminación, producción por hectárea, producción diaria de leche, grasa o proteína, y sus consecuencias económicas directas: e.g. margen bruto, tasa interna de retorno, costo de alimentación.

Este enfoque está básicamente centrado en la visión del productor y en su capacidad de proveer alimentos a un mercado relativamente ávido de dichos productos, y cuyos criterios de discernimiento se centran en el abastecimiento y precio de estos productos. La sociedad en su conjunto toma estos productos y no reclama otra cosa que alimentos al menor precio posible. Sin embargo, con el correr del tiempo, hubo un aumento en la gravitación de las exigencias de los consumidores, pasando de la mera demanda de mayor inclusión de proteínas animales en la dieta, a exigir productos de mayor calidad (e.g. nutricional, bromatológica, nivel de engrasamiento, ternura, contenido graso de la leche).

Más recientemente, sin abandonar los estándares de calidad ya procurados, han cobrado relevancia aspectos ajenos al valor nutricional, tales como los efectos sobre la salud (*e.g.* alimentos nutraceuticos o funcionales), y los rasgos éticos de la producción (*e.g.* aspectos ambientales, bienestar animal, valor justo de los productos -"fair trade"-). En muchos países desarrollados desde la década de 1980 se ha incrementado el número de los denominados "consumidores éticos" en relación con aquellos que adquieren productos que presuntivamente no son dañinos para el ambiente y la sociedad, y que frecuentemente están asociados con el consumo de productos orgánicos o aquellos que son percibidos como respetuosos del bienestar animal (*e.g.* pollos de campo). Las motivaciones de estas elecciones suelen ser primariamente salud, ética y mejor calidad de productos (Harper y Makatouni, 2002).

A nivel global, en términos generales en los últimos 40 años ha habido un aumento en la cantidad de energía disponible para consumo humano. En simultáneo se observaron cambios en la composición de la dieta según un proceso que involucra dos fases: la primera denominada "Expansión" ha tenido lugar en distintos países independientemente de su grado de desarrollo e implica un aumento en la cantidad de calorías consumidas provenientes principalmente de fuentes vegetales baratas. La segunda etapa (sustitución) resulta de un aumento en la ingesta de aceites vegetales y productos animales sin que exista un cambio sustancial en la cantidad total de calorías ingeridas. A diferencia de la primera etapa, la segunda está influida por la cultura de modo que modifica en qué medida los productos de origen animal sustituyen a los de origen vegetal. Las distintas sociedades recorren este camino en tiempos que le son propios y de acuerdo con características socioculturales específicas (Kearney, 2010).

El comportamiento arriba descripto, coincide con el patrón descripto para los consumidores por Cepede y Languéll en 1953 (Morón y Schejtman, 1997) que indica que con el aumento del ingreso, aumenta el consumo de proteínas de origen animal, azúcar y grasas (manteca, margarina y aceites) y en particular las de origen animal, disminuyendo la ingesta de carbohidratos complejos (cereales, raíces, tubérculos y leguminosas secas). Estos patrones son coherentes con las perspectivas positivas de demanda por productos de origen animal para los próximos años en asociación con el aumento en la población mundial y por la mejora en el nivel de vida de los habitantes de muchos países del mundo (Alexandratos y Bruinsma, 2012; Jaurena *et al.*, 2015b).

La ganadería como toda actividad humana, genera impactos sobre el ambiente dado que produce una alteración del ecosistema original (idealmente "prístino" según sostienen los ambientalistas extremos), ya que el hombre redirecciona los flujos de materia y energía hacia la obtención de un producto específico (*e.g.* cultivo o producto animal). Muy frecuentemente, y pese a la disponibilidad de abundante información en contrario, estos impactos fueron juzgados poco significativos en el pasado, y no considerados como una amenaza (Redman, 1999). En muchos casos la ganadería se desarrollaba sobre pastizales o pasturas por lo que el impacto era muy leve en tanto no cambiara la estructura y composición. Entre estos impactos, ha cobrado especial dominancia el rol de las emisiones de GEI de la ganadería y particularmente de metano entérico; emisiones que resultan imperceptibles en forma directa, pero que contribuyen en forma significativa con el calentamiento global.

Por los motivos antes expuestos, según transcurrió el siglo XX, los indicadores de los impactos ambientales fueron tomando creciente importancia. En principio, se consideraron aspectos que mensuraban efectos directos y relativamente evidentes, y que de algún modo podían atentar contra la continuidad del sistema productivo (*e.g.* erosión edáfica, pérdida de fertilidad física o química del suelo, desertificación). Pero, crecientemente han ido cobrando importancia indicadores que surgen de demandas externas al sistema productivo propiamente dicho (*e.g.* olores, emisión de nutrientes y gases, y sustancias asociadas al proceso de producción).

La relación entre el ser humano, los animales que utiliza y el ambiente ha ido mutado a lo largo de la historia de la humanidad. Las estrategias de producción, las instituciones y los ambientes naturales han coevolucionado, contribuyendo y forjándose recíprocamente (van der Leeuw, 1998; Figura 4.1). Los humanos hemos desarrollado habilidades para extraer alimentos, y otros bienes y servicios del ambiente a través de estrategias productivas y de organización establecidas mediante instituciones que ayudan a regular y dirigir el comportamiento humano. Estas instituciones se basan en los beneficios percibidos de cooperación y en las ideas compartidas por sus miembros, de aquí que la percepción social sea un aspecto fundamental de las

relaciones entre el hombre y el ambiente. Obviamente, la forma en que percibimos el mundo que nos rodea no es uniforme, sino que varía entre distintas personas y en distintos contextos históricos. *"Las estrategias productivas, las instituciones sociales y virtualmente cada interacción humana con el ambiente ha sido condicionada por la existencia de un fenómeno humano único: la cultura"* (Redman, 1999, p. 7).

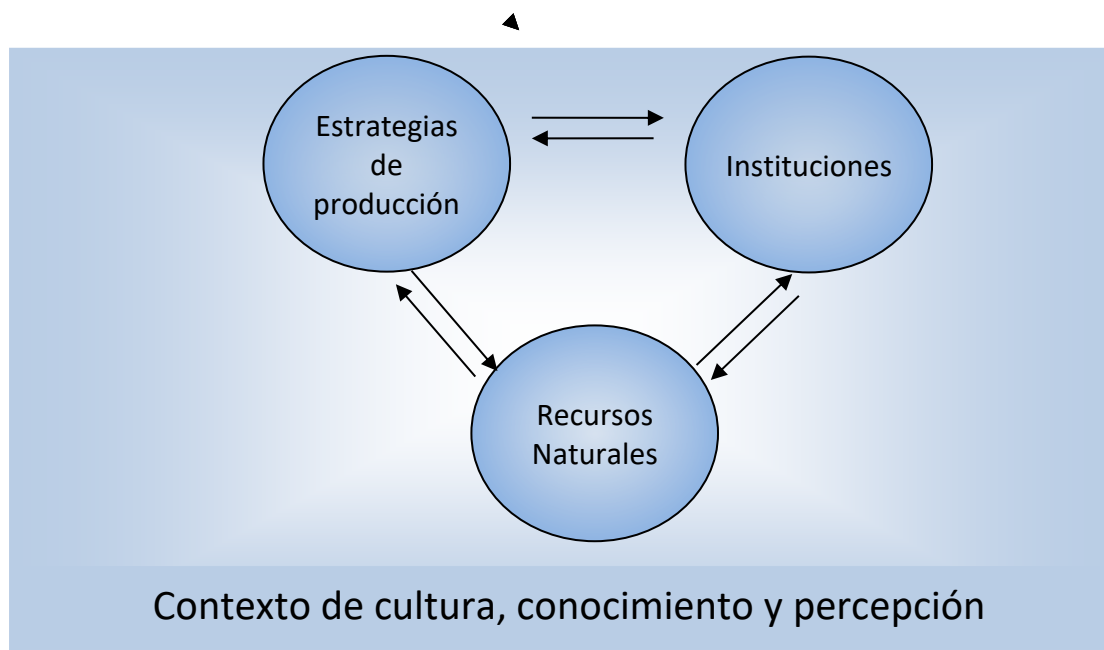


Figura 4.1. Contexto de las interacciones hombre-ambiente (Redman, 1999).

El problema de los impactos ambientales de las actividades agropecuarias no es nuevo, existen numerosos ejemplos a lo largo de la historia de la humanidad (Redman, 1999), pero tradicionalmente se hizo énfasis y se circunscribieron a problemas a escala predial o regional. Los ejemplos más cercanos podrían ser la desertificación por sobrepastoreo en Patagonia; o más recientemente –y en el otro extremo de artificialización tecnológica- la proliferación de sistemas de producción con alta concentración de animales (tales como los "feed-lots") cuyos impactos involucran la contaminación de aguas por focalización y sobreproducción de excretas, emanaciones y olores indeseables, proliferación de insectos y roedores, además de generar un sobreuso de caminos y recursos locales que constituyen un disturbio indeseable sobre las poblaciones vecinas. Estos inconvenientes directos y "locales", en muchos casos eran, y son, contrarrestados por la eficiencia económica (e.g. generación de empleo y riqueza) o cultural (e.g. tradición) que representan.

Sin embargo, existen otros impactos más difíciles de apreciar por los ciudadanos comunes (con respecto a olores o proliferación de moscas, por ejemplo), tales como los cambios en la biodiversidad o menos aún las emisiones de GEI, que no son observables en forma directa a nivel local o en escalas de tiempo relativamente breves.

Los impactos ambientales constituyen externalidades negativas (pasivos ambientales) del proceso productivo, un conflicto no menor es que quien origina la emisión produce un costo que en muchos casos recae sobre otros, y no existe un mecanismo de compensación (Moran y Wall, 2011). En los efectos más directos, tales como la generación de polvo u olor en un "feed lot" muy probablemente se pueda identificar la fuente y tomar alguna acción sobre el responsable; pero en efectos menos tangibles (contaminación de napas o del aire con gases) la identificación del causante queda "oculta" (al menos en forma directa para la percepción del común de la gente). Obviamente con el avance del conocimiento científico y de la tecnología, muchos de estos efectos otrora imperceptibles han empezado a ocupar al centro de la escena, y comenzado a considerarse su valoración.

A diferencia de otros impactos de la ganadería, en el caso de las emisiones de GEI, las acciones locales (a escala de productor) tienen consecuencias a escala global. Por el contrario, las consecuencias de, por

ejemplo, el mal manejo de los efluentes es a nivel predial (e.g. distribución de nutrientes entre potreros, malos olores) y regional (e.g. contaminación de napas; amoníaco en la atmósfera). Una gran diferencia entre estas dos situaciones es que en el segundo tipo de ejemplos las consecuencias positivas o negativas de sus acciones son perceptibles en forma directa.

La distinción entre fuentes de contaminación puntuales o difusas ("point and non-point pollution") han sido extensamente tratados en la bibliografía dedicada a temas ambientales. Se entiende que una fuente de contaminación es puntual cuando proviene de una fuente o punto claramente identificable, tal como un caño eliminando desechos contaminados en un curso de agua, o los gases eliminados por una chimenea industrial. Por el contrario, las fuentes difusas corresponden a contaminaciones cuyo origen no puede ser rastreada hasta una única fuente, no está concentrada alrededor de un área particular en el espacio, tales como los excedentes de fertilizantes lixiviados, o las emanaciones de metano entérico de los rumiantes.

Los cambios antes señalados son el resultado de un cambio en la forma en que el hombre "mira" los productos que consume. Estos cambios en la percepción e interpretación de la relación del hombre con el ambiente y con los procesos involucrados en la obtención de alimentos, servicios y todo tipo de bienes derivados de los animales, necesariamente trae aparejados cambios en la forma en que se deben medir los resultados de la actividad.

Estos cambios no son privativos de los tiempos modernos, sino que desde la antigüedad y en diferentes culturas alrededor del mundo los seres humanos han establecido diferentes relaciones con sus entornos (e.g. ambiente, formas de producción). Es importante tener presente, que la actitud de las sociedades con el ambiente y las perspectivas analíticas empleadas por los científicos tienen profundos impactos sobre la forma en que la información es recolectada e interpretada (Redman, 1999).

Los rápidos cambios en las demandas están forzando a redefinir la relación entre la ganadería y el resto de la sociedad, incorporando crecientemente aspectos otrora ignorados. Hoy día existe una creciente demanda social respecto a la valoración de las dimensiones éticas de los sistemas de producción. En el contexto que nos ocupa es especialmente relevante analizar la evolución del concepto de sustentabilidad. En su concepción primigenia, el concepto de sustentabilidad estuvo orientado hacia el mantenimiento de la productividad de los sistemas agropecuarios, lo que se ha denominado "**Producción Sustentable**" (Cornelissen, 2003, p. 24), y que hace énfasis en la necesidad de producir suficiente cantidad de alimentos para satisfacer las demandas del mercado (Douglass, 1984). Esta orientación enfatiza las consecuencias económicas de comportamiento del sistema y apunta a mantener cierto nivel de ingreso (para el establecimiento/productor) basado en la continuidad de la productividad del sistema (Blatz, 1992).

A partir de la década de 1970, comenzó a desarrollarse una visión más exhaustiva del concepto de sustentabilidad en virtud de que se anticipaba la desintegración social debido a la escasez de recursos ocasionada por degradación, agotamiento o polución. En referencia a la agricultura, la preocupación por los efectos colaterales negativos sobre el ambiente (e.g. erosión, emisión de nutrientes en el ambiente, disminución de las comunidades rurales) comprometería la continuidad de la producción agrícola (Blatz, 1992). Esta orientación se acuñó bajo la denominación de "**Agricultura Sustentable**" y asume que la sustentabilidad es equivalente a garantizar el mantenimiento de la producción agrícola, enfatizando el logro de patrones estables de actividades agrícolas antes que en el mantenimiento de la producción a nivel de establecimiento; reconoce la esencialidad de enmendar los daños reales o potenciales derivados de la actividad agrícola para garantizar su continuidad (Olson, 1992). En palabras de Keeny (1989; Cornelissen, 2003, p. 7) se entiende por "Agricultura sustentable" a los "*sistemas agrícolas ambientalmente profundos, rentables y productivos, y que mantienen el entramado social de las comunidades rurales*".

Por último, la perspectiva más moderna y actual de sustentabilidad, la vincula con la calidad de vida de la sociedad en su conjunto (Mitchell *et al.*, 1995), concepto que hace énfasis en la continuidad de toda la sociedad, para la cual los sistemas de producción agropecuarios pueden contribuir mediante la provisión de alimentos seguros en cantidad suficiente y a bajo precio adhiriendo a valores aceptados sobre por ejemplo calidad ambiental y del paisaje. Esta última acepción se la ha identificado con el término de "**Desarrollo sustentable**" (Comisión Mundial para el Medio Ambiente y Desarrollo de 1987; Cornelissen, 2003) e involucra aspectos económicos, ecológicos y sociales (Bossel, 1999).

Bajo esta nueva perspectiva, más compleja, no sólo importa la productividad directa, sino que se deben valorar externalidades tales como el impacto del proceso sobre el ambiente, la generación de empleo, o el grado de conflicto con ciertos valores del conjunto de la sociedad (e.g. bienestar animal).

Las dos primeras visiones (*i.e.* Producción Sustentable y Agricultura Sustentable), "consideran la sustentabilidad como una característica que es inherente y propiedad objetiva de los sistemas de producción agrícolas" (Hansen, 1996). En contraposición, para el concepto de "Desarrollo Sustentable" los criterios relevantes emergen del conjunto de la sociedad, ajeno a los sistemas productivos.

En síntesis, lo que hemos y estamos experimentando es un cambio en las reglas del juego donde las decisiones a nivel de empresario/productor han perdido gravitación en relación con la creciente participación de otros actores sociales. A diferencia de épocas pasadas, la sociedad impone límites a las formas de producción, ya sea a través de normas formales o tendencias en la preferencia del mercado.

LA ESCALA DE TRABAJO: DEL RUMEN A LA ATMÓSFERA

Los rumiantes utilizados por el hombre para la obtención de alimentos reúnen un conjunto de características únicas que les permiten transformar fundamentalmente forrajes de escaso valor nutricional para el hombre en proteínas de alta calidad y por ello son especialmente apropiados para aprovechar ambientes de valor agrícola marginal o productos de desecho que de otro modo constituirían incluso un problema ambiental. En el centro de este mecanismo se ubica una rica y diversa población microbiana que permite la degradación de compuestos de otro modo inaccesibles, pero paradójicamente este proceso involucra la eliminación de importantes cantidades de energía bajo la forma de metano como mecanismo de mantener el sistema ruminal en funcionamiento (Jaurena *et al.*, 2015a).

La relación entre la nutrición de los rumiantes y los problemas ambientales asociados presenta características interdisciplinarias y multidimensionales, y conlleva preguntas críticas respecto a la relación entre la sociedad y la producción ganadera, de donde consecuentemente se derivan los métodos de cuantificar y expresar las emisiones de los distintos sistemas de producción, y a las opciones disponibles para contribuir a su reducción (Moran y Wall, 2011). Una rápida revisión de la bibliografía relacionada con el tema de la producción ganadera y las emisiones con GEI, muestra el amplio rango de métricas (ya no es solo la productividad por ha o por cabeza) y escalas de trabajo que se están utilizando simultáneamente y que es consecuencia de la propia naturaleza del problema.

La emisión de metano entérico es el resultado de la actividad de Arqueas ruminales por lo que la identificación de especies o grupos funcionales, las evaluaciones de actividades de los microorganismos, la dinámica de las poblaciones microbianas y las condiciones que regulan la síntesis de metano suelen ser las formas de evaluación de los resultados. Asimismo, suelen emplearse modelos biológicos simplificados del proceso digestivo (técnicas *in vitro* tipo "batch" o fermentadores continuos) que permiten manipular un gran número de muestras a costos muy inferiores a cualquier otra opción y con un alto grado de precisión. Estas técnicas son especialmente aptas para evaluar raciones (Getachew *et al.*, 2005), identificar sustancias con potencial capacidad de mitigación (García-González *et al.*, 2008; Soliva *et al.*, 2008) o en evaluaciones de "eventos" vegetales producto del fitomejoramiento.

Por otro lado, las mediciones pueden efectuarse a escala de individuo, muy frecuentemente utilizando cámaras respiratorias o mediante el uso del marcador SF₆ (Harper *et al.*, 1999). En estudios nutricionales puede interesar la emisión por animal (e.g. litros, moles o g de CH₄ animal-día⁻¹), por kg de materia consumida (g CH₄ kg⁻¹MS ingerida), o la proporción de energía perdida como CH₄ por unidad de energía consumida (*i.e.* Ym, Mcal Mcal⁻¹) tal como se suele expresar para el cálculo de los inventarios nacionales. De acuerdo con muchos investigadores, la denominada "Intensidad de emisión" (Mcal o g de CH₄ por unidad de producto, carne o leche producidos; Faverin *et al.*, 2014; Feldkamp *et al.*, 2014; Leslie *et al.*, 2008) debiera ser la métrica más conveniente en virtud de que relaciona las dos variables críticas (producción y emisión de metano) y permite realizar comparaciones entre sistemas muy distintos (e.g. pastoriles y "feed-lots").

Por último, los efectos de las diferentes intervenciones podrán evaluarse a nivel micrometeorológico, por las concentraciones de gases en el aire, o incluso aún a escala regional o planetaria (McGinn, 2013). A su vez, los distintos gases pueden medirse según su concentración en el aire, como proporciones relativas, o de acuerdo con su poder de calentamiento (teniendo en cuenta la persistencia en la atmósfera y capacidad radiativa; *i.e.* forzamiento radiativo; IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change and IPCC, 2007, p. 36). Esta última modalidad es ampliamente usada para estudios ambientales y mide los distintos gases en unidades de dióxido de carbono (CO_2eq ; *e.g.* 25 para el metano y 300 para el N_2O).

CUALIDADES DE LAS VARIABLES ASOCIADAS AL TIEMPO Y A LA ESCALA

Las variables utilizadas para medir las emisiones de metano entérico a nivel "animal" tienen alta variabilidad entre individuos y entre días, y presentan rápida velocidad de respuesta, pero inciden sobre variables de menor velocidad de respuesta (*e.g.* acumulación de metano atmosférico, persistencia de los GEI en la atmósfera, calentamiento global). Características análogas a lo planteado por Reynolds *et al.* (2007) para las variables que operan en los procesos de desertificación. Aspecto central de este problema, y que fue claramente planteado por el Viglizzo (2008, p. 1) *"a menudo, los procesos ecológicos que afectan a los ambientes rurales tienen una dinámica temporal que supera el ciclo de vida de un investigador, y una dimensión espacial que excede las escalas convencionales de manejo. Existen procesos que por su propia naturaleza demandan para realizar una adecuada interpretación escalas geográficas y temporales amplias"*.

La escala temporal es un aspecto sumamente importante para considerar. Por un lado, se relaciona con la velocidad de respuesta de las variables: *e.g.* variables "rápidas" tales como emisión de metano en $\text{g cab}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y "lentas" tales como concentración de metano atmosférico, o calentamiento global. Por el otro, con la persistencia de las respuestas en el tiempo. Esto es particularmente importante para las estrategias de mitigación que se ensayan, dado que muchas pruebas son realizadas en períodos breves y consecuentemente ignoran probables adaptaciones de la flora microbiana o del mismo animal, que luego de transcurrido un tiempo vuelven a su estado inicial de emisión (Guan *et al.*, 2006; Martin *et al.*, 2008).

Las consecuencias ambientales de la actividad agropecuaria en general y de la producción animal en particular, son de naturaleza compleja y multidimensional, razón por la cual es difícil lograr conclusiones certeras basados en análisis simplistas y extremadamente reduccionistas. Muy frecuentemente los estudios realizados en una escala pretenden "extrapolarse" linealmente al sistema, donde en realidad repercuten en una escala de tiempo mayor y con respuestas no-lineales que constituyen una verdadera pesadilla para entender y predecir estrategias de manejo (Viglizzo, 2008).

Mediciones, tales como las típicas de una escala jerárquica menor (*e.g.* concentración de metanogénicas en el licor ruminal, emisión de metano en $\text{g}^{-1} \text{ animal día}^{-1}$), mientras que son enteramente apropiadas para describir el proceso bajo estudio, es posible que puedan resultar irrelevantes al nivel jerárquico superior como resultado de compensaciones, o retroalimentaciones negativas. Esta limitación impone la necesidad de realizar las correspondientes validaciones, especialmente para los modelos simplificados de los niveles jerárquicos inferiores (*i.e.* técnicas *in vitro* y fermentadores continuos).

Nótese, por ejemplo, tomando un caso relativamente simple, las implicaciones de evaluar las emisiones de metano meramente por el valor Y_m (*i.e.* la proporción de Energía bruta consumida que se pierde como CH_4). Para un sistema de engorde de ganado los valores de Y_m serán de *c.a.* 6.5% o 3.0% para sistemas de alimentación con menos, o más del 90% de grano en la ración respectivamente, esto implica que la proporción de EB perdida como metano será menor en el sistema de alimentación con concentrados, pero también es cierto que dichos animales de ser alimentados *ad libitum* consumirán más y también producirán más por unidad de tiempo (tanto carne como metano, ambos en g día^{-1}). Es decir, los sistemas no son estrictamente comparables, ya que se modifica la dieta, la ganancia de peso y la producción de metano, por este motivo es más razonable realizar la evaluación en términos de intensidad de emisión (*i.e.* emisión de metano por unidad de producto obtenido, Faverin *et al.*, 2014; Feldkamp *et al.*, 2014) que de algún modo iguala los niveles de producción. Un problema adicional surge cuando ampliamos los límites del sistema bajo análisis, si la comparación es entre el encierro a corral y un sistema de suplementación en pastoreo para animales de la misma categoría, donde la discrepancia entre la cantidad de animales y la producción por unidad de superficie resultarán muy contrastantes; en forma análoga las emisiones de metano para una

misma cantidad de producción total estarán a favor del sistema más intensivo; pero cuando incorporamos otros efectos tales como los derivados de los efluentes producidos, la superficie requerida para producir los insumos empleados en la alimentación con concentrados, emergen otros resultados que pueden más que compensar los aparentes beneficios del sistema más intensivo. Por ejemplo, una discrepancia básica entre ambos sistemas es que si el sistema a corral produce efluentes líquidos y estos incrementarán sustancialmente la emisión de metano (además del óxido nitroso) con respecto al sistema más extensivo, donde las heces se secan aeróbicamente produciendo poco metano (Faverin *et al.*, 2014). La complejidad es aún mayor, cuando consideramos las consecuencias de ambos planteos sobre el balance de carbono debido a la capacidad de fijación de los sistemas pastoriles respecto al intensivo. Un excelente ejemplo de la importancia de emplear el correcto enfoque y sistema de cálculo surge de un trabajo de simulación realizado por del Prado *et al.* (2010) para sistemas lecheros donde se demostró que la mayoría de los métodos que redujeron las emisiones de GEI por unidad de leche producida, aumentaron simultáneamente la eficiencia de uso del N, pero sin embargo incrementaron la emisión de GEI por unidad de superficie.

Este complejo escenario, dificulta la elección de un sistema de medidas apropiado. La elección de uno u otro de estos indicadores no es un tema trivial, dado que algunos de ellos como fuera demostrado en el párrafo anterior, pueden conducir a resultados distintos. Sumado a lo anterior, está el aspecto económico-político, ya que, tratándose de un tema socialmente sensible y cruzado por muchos intereses económicos, la diversidad de indicadores no hace sino dificultar las discusiones y la toma de decisiones.

Como consecuencia de las características arriba mencionadas, es que en los aspectos que aquí nos ocupan es de crucial importancia el desarrollo de modelos predictivos que contribuyan no sólo a la toma de decisiones, sino al debido proceso de aprendizaje que la sociedad en su conjunto deberá transitar. Sin ignorar las limitaciones que tal aproximación pueda significar, en caso contrario, de valernos de información parcial o percepciones sectoriales, difícilmente allanaremos el camino de producir cantidades suficientes de productos atendiendo simultáneamente a las crecientes demandas sociales. Como señalara Viglizzo (2008, p. 2) "*Muchos de los problemas que hoy enfrentamos en nuestro planeta emanan del desacople que existe entre la escala a la cual los procesos biológicos ocurren y la escala a la cual las decisiones socioeconómicas son tomadas*".

CONCLUSIONES

Los últimos años han traído aparejados una serie de cambios en la forma que el conjunto de la sociedad valora los resultados de las actividades ganaderas, cobrando mayor importancia valoraciones ajenas al proceso productivo propiamente dicho. Este alejamiento del centro de los sistemas de producción ha impuesto una mirada diferente y con creciente ponderación de aspectos independientes de la productividad o rendimiento económico de la actividad.

Estos cambios han sucedido en respuesta a un cambio en el paradigma en el que se desarrolla la actividad agropecuaria incrementándose la injerencia de otros actores sociales ajenos al sistema productivo. La participación de estos últimos no sólo ha aumentado la demanda de productos en abundancia, económicos y de buena calidad, sino que ha promovido las exigencias sobre el conocimiento de las formas de producción, o el origen de los alimentos. Entre estas demandas, se ubican aquellas relacionadas con el ambiente, tales como las asociadas con las emisiones de metano aquí tratadas.

Las implicaciones de estos cambios son trascendentes dado que los cada vez más sofisticados consumidores exigen ya sea a través de las características de los productos mismos o de restricciones comerciales explícitas u ocultas (e.g. favoreciendo el consumo local o con bajas huellas de carbono).

La característica multidimensional y compleja de la relación producción - ambiente determina la existencia de un conjunto de medidas diverso y que reflejan las distintas miradas e intereses existentes en el tema. La elección o correcta ponderación de estas medidas exigen el desarrollo de un complejo y educado consenso social.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer las lecturas previas y consejos de distinta índole realizados por colegas (en orden alfabético): Martín Aguiar, María Gabriela Fernández Pepi, y Cristina Plencovich.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDRATOS, N. and BRUINSMA, J. 2012. World agriculture: towards 2030/2050: the 2012 revision, ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO. Rome (Italy). doi:10.1016/S0264-8377(03)00047-4
- BLATZ, C.V. 1992. The very idea of sustainability. *Agric. Hum. Values* 9, 12-28.
- BOSEL, H. 1999. Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications, International Institute for Sustainable Development. COMPLETAR CITA.
- CORNELISSEN, A.M.G. 2003. The Two Faces of Sustainability. Fuzzy Evaluation of Sustainable Development.
- del Prado, A., Chadwick, D., Cardenas, L., Misselbrook, T., Scholefield, D. and Merino, P. 2010. Exploring systems responses to mitigation of GHG in UK dairy farms. *Agric. Ecosyst. Environ.* 136, 318-332. doi:10.1016/j.agee.2009.09.015
- DOUGLASS, G.K. 1984. The meanings of agricultural sustainability, *In*: Douglass, G.K. (Ed.), *Agricultural sustainability in a changing world order*. Westview Press, Boulder, Co.
- FAVERIN, C., GRATTON, R. y MACHADO, C.F. 2014. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Sistemas de Producción de carne vacuna de base pastoril. *Revisión Bibliográfica. RAPA* 34.
- FELDKAMP, C.R., TORROBA, F., VÁZQUEZ AMÁBILE, G., GALBUSERA, S. y CAÑADA, P. 2014. Capítulo 17. Sistemas ganaderos y los factores de emisión de GEI, *In*: Pascale Medina, C.; Zubillaga, M.M.; Taboada, M. (Eds.), *Suelos, Producción Agropecuaria y Cambio Climático*. Buenos Aires (Argentina), p. 216.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, R., LÓPEZ, S., FERNÁNDEZ, M., BODAS, R. and GONZÁLEZ, J.S. 2008. Screening the activity of plants and spices for decreasing ruminal methane production *in vitro*. *Anim. Feed Sci. Technol.* 147, 36-52. doi:10.1016/j.anifeedsci.2007.09.008.
- GETACHEW, G., ROBINSON, P.H., DEPETERS, E.J., TAYLOR, S.J., GISI, D.D., HIGGINBOTHAM, G.E. and RIORDAN, T.J. 2005. Methane production from commercial dairy rations estimated using an *in vitro* gas technique. *Anim. Feed Sci. Technol.* 123-124 Pa, 391-402. doi:10.1016/j.anifeedsci.2005.04.056.
- GUAN, H., WITTENBERG, K.M., OMINSKI, K.H., KRAUSE, D.O., GUAN, H., WITTENBERG, K.M., OMINSKI, K.H. and KRAUSE, D.O. 2006. Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane. *J. Anim. Sci.* 84, 1896-1906. doi:10.2527/jas.2005-652.
- HANSEN, J.W. 1996. Is agricultural sustainability a useful concept? *Agric. Syst.* 50, 117-143.
- HARPER, G.C. and MAKATOUNI, A. 2002. Consumer perception of organic food production and farm animal welfare. *Br. Food J.* 104, 287-299. doi:10.1108/00070700210425723.
- HARPER, L. A., DENMEAD, O.T., FRENEY, J.R. and BYERS, F.M. 1999. Direct measurements of methane emissions from grazing and feedlot cattle. The online version of this article , along with updated information and services, is located on the World Wide Web at: Direct Measurements of Methane Emissions from Grazing and F 1392-1401.
- JAURENA, G., CANTET, J.M., ARROQUY, J.I., COLOMBATTO, D., PALLADINO, R.A., WAWRZKIEWICZ, M. and COLOMBATTO, D. 2015a. Prediction of the Ym factor for livestock from on-farm accessible data. *Livest. Sci.* 177, 52-62. doi:10.1016/j.livsci.2015.04.009.
- JAURENA, G., PORDOMINGO, A., STRITZLER, N. and VIGLIZZO, E.F. Ex-aequo 2015b. Oportunidades y Amenazas para la ganadería Argentina, *In*: Nuñez Domínguez, R.; Ramírez Valverde, R.; Fernández Rivera, S.; Araujo Febres, O.; García Winder, M.; Díaz Muñoz, T.E. (Eds.), *La ganadería en América Latina y el Caribe: alternativas para la producción competitiva sustentable e incluyente de alimentos de origen animal*. ALPA, pp. 1-33.
- KEARNEY, J. 2010. Food consumption trends and drivers. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 365, 2793 LP-2807.
- LESLIE, M., ASPIN, M. and CLARK, H. 2008. Greenhouse gas emissions from New Zealand agriculture: issues, perspectives and industry response. *Aust. J. Exp. Agric.*
- MARTIN, C., DOREAU, M. and MORGAVI, D.P. 2008. Methane mitigation in ruminants: from rumen microbes to the animal.

- McGINN, S.M. 2013. Developments in micrometeorological methods for methane measurements. *Animal* 7 Suppl 2, 386-93. doi:10.1017/S1751731113000657.
- MITCHELL, G., MAY, A. and MCDONALD, A. 1995. PICABUE: a methodological framework for the development of indicators of sustainable development. *Int. Journall Sustain. Dev. World Ecol.* 2, 104-123.
- MORAN, D. and WALL, E. 2011. Livestock production and greenhouse gas emissions: Defining the problem and specifying solutions. *Anim. Front.* 1. doi:10.2527/af.2011-0012.
- MORÓN, C. and SCHEJTMAN, A. 1997. EVOLUCION DEL CONSUMO DE ALIMENTOS EN AMERICA LATINA, *In: Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición*. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Santiago (Chile), p. 57.
- OLSON, R.K. 1992. The futrue context of sustainable agriculture: planning for uncertainty, *In: Olson, R.K. (Ed.), Integrating sustainable agriculture, ecology and environmental policy*. Haworth Press Inc., Binghamton, NY.
- REDMAN, C.L. 1999. Human impact on ancient environments. The Universit of Arizona Press, Tucson, Arizona (USA).
- REYNOLDS, J.F., SMITH, D.M.S., LAMBIN, E.F., TURNER, B.L., MORTIMORE, M., BATTERBURY, S.P.J., DOWNING, T.E., DOWLATABADI, H., FERNANDEZ, R.J., HERRICK, J.E., HUBER-SANNWALD, E., JIANG, H., LEEMANS, R., LYNAM, T., MAESTRE, F.T., AYARZA, M. and WALKER, B. 2007. Global Desertification: Building a Science for Dryland Development. *Science* (80) 316, 847-851. <https://doi.org/10.1126/science.1131634>
- SOLIVA, C.R., ZELEKE, A.B., CLÉMENT, C., HESS, H.D., FIEVEZ, V. and KREUZER, M. 2008. *In vitro* screening of various tropical foliages, seeds, fruits and medicinal plants for low methane and high ammonia generating potentials in the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.* 147, 53-71.
- van der LEEUW, S. 1998. Introduction, *In: The Archaedomedes Project: Understanding the natural and anthropogenic causes of land degradation and desertification in the mediterranean basin*. European Communities, Luxembourg, pp. 1-22.
- VIGLIZZO, E.F. 2008. Impacto ecológico-ambiental de los cambios en la relación ganadería-agricultura, en: XXXI Congreso Argentino de Producción Animal. Asoc. Argentina de Producción Animal, Potrero de Funes, San Luis (Argentina).