

Desarrollo de un programa computacional (UPIC-PRO) para la evaluación y ajuste de dieta en condiciones de pastoreo y confinamiento para ganado de carne¹

Virginia Beretta² y Alvaro Simeone³

¹ Proyecto de investigación financiado por el Fondo de Promoción y Tecnología Agropecuaria (FPTA 265)

² Ing. Agr. (MSc, Dr. Sci.) Profesora en Sistemas de Alimentación para Bovinos de Carne, FAGRO - UDELAR

³ Ing. Agr. (MSc, PhD) Profesor en Nutrición en Bovinos de Carne, FAGRO - UDELAR.

RESUMEN

Con el objetivo de asistir a técnicos y productores en la evaluación y ajuste de dieta para sistemas de cría, recría y engorde de vacunos para carne, se desarrolló un programa computacional para predecir la performance animal, la eficiencia bioeconómica, e impacto ambiental de las opciones de alimentación planteadas en cada fase del ciclo de producción de carne. Se elaboró un modelo conceptual el cual fue luego alimentado por ecuaciones de predicción reportadas por sistemas internacionales de alimentación, así como ecuaciones empíricas reportadas por la bibliografía científica. El modelo se validó utilizando información proveniente de dos rodeos comerciales y un rodeo experimental, utilizando registros de 4784 vacunos, tanto en condiciones de pastoreo como de confinamiento. Se observó un alto grado de adecuación entre los valores predichos por el modelo y los valores observados, en condiciones de producción. Finalmente se elaboró una versión amigable del modelo para ser utilizado por usuarios desde una plataforma en línea.

ABSTRACT

With the objective of assisting technicians and producers in the evaluation and adjustment of diets for breeding, rearing and fattening of beef cattle, a computer program was developed to predict animal performance, bioeconomic efficiency, and environmental impact of feeding options raised in each phase of the meat production cycle. A concep-

tual and mathematical model was developed using prediction equations reported by international feeding systems, as well as empirical equations reported by the scientific literature. Model was validated using data from two commercial herds and an experimental one, using records of 4784 animals, under grazing or feedlot conditions. A high level of adequacy was observed between predicted and observed values, under production conditions. Finally, a friendly version of the model was developed to be used from an online platform.

INTRODUCCIÓN

La nutrición de rumiantes como parte de la ciencia animal, enfrenta cada vez más el desafío de contribuir a satisfacer la demanda global por proteína, colaborar en el desarrollo de sistemas sustentables y dar respuesta a la preocupación creciente del consumidor respecto a la seguridad alimentaria, la calidad del producto demandado y el bienestar animal (Coffey, 2004). En este sentido, el desarrollo de sistemas ganaderos en una perspectiva de largo plazo, económica y ambientalmente sustentables, debe considerar la planificación de la alimentación de una forma integral tomando en cuenta estos elementos (MacRae, 2004). Aspectos como la nutrición de precisión (Tedeschi et al, 2007), tipo de producto generado (Baker, 2004), la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero y excreciones de N y P al ambiente (Rotz, 2004), se han transformado en variables fundamentales a estimar a la hora de evaluar los beneficios de una estrategia de alimentación.

Bajo este nuevo enfoque, el diseño de estrategias nutricionales debe basarse en evaluaciones objetivas capaces de predecir la performance animal, la eficiencia bioeconómica, parámetros de calidad del producto deseado y parámetros de potencial contaminación ambiental relacionados con la sustentabilidad y conservación de los recursos naturales (Simeone y Beretta, 2005). Sin embargo, la predicción de la performance animal y la eficiencia de conversión del alimento en pastoreo, en respuesta a diferentes manejos nutricionales, no es sencilla, básicamente debido a la propia complejidad inherente a los sistemas pastoriles dada por las múltiples interacciones que caracterizan a las relaciones entre sus componentes (Hodgson, 2004). Este proceso se ve muchas veces limitado por la falta de información respecto a variables esenciales como lo son la predicción del consumo de forraje y sus características nutricionales (Baumont *et al.*, 2004) o las modificaciones que se generan en el proceso de ingestión-digestión de forraje al introducir otros alimentos, tales como suplementos concentrados o voluminosos, cuyos efectos varían dependiendo de las condiciones de pastoreo y características de los animales (Beretta y Simeone, 2006). Este conjunto de interacciones vinculadas a la interfase planta-animal sumado a las relaciones de transformación del alimento consumido, la cuantificación de los productos de excreción, más la necesaria evaluación económica, dan cuenta de la naturaleza multifactorial de este área de trabajo, y del rol que está llamado a jugar la modelación, como una herramienta útil para integrar los resultados derivado de la investigación básica y su aplicación en condiciones prácticas de alimentación (Gutiérrez-Ornelas and Galyean, 2004).

En las últimas dos décadas, se verifica un fuerte empuje en el desarrollo de los sistemas de alimentación para ganado de carne, pasando de sistemas descritos apenas a partir de ecuaciones empíricas entre variables, a modelos de simulación integrando el cuerpo de conocimiento de las distintas áreas involucradas y sus respectivos avances (Buchanan-Smith y Fox, 2000), destacándose todo lo referente a la valoración nutritiva de alimentos (caracterización biológica, química y física); consumo, cinética de la digestión y tasas de pasaje para diferentes fracciones de proteína y carbohidratos, eficiencia de crecimiento microbiano, fibra efectiva y el ambiente ruminal,

estimación de la exigencias nutricionales y predicción del aporte de nutrientes derivados de los alimentos ofrecidos en cada condición específica de producción (Tedeschi, cit. por Tedeschi *et al* 2007). En este contexto los modelos matemáticos para la evaluación de dietas y predicción de la performance animal, se constituyeron en la base de los sistemas modernos de alimentación para ganado de carne entre los que se destacan las últimas versiones del NRC para ganado de carne (NRC, 1996, 2000), Australian Feeding Standards (SCA 1990; 2007), el CNCPS (Cornell Net Carbohydrate and Protein System) desarrollado por la Universidad de Cornell (Fox *et al.*, 2004). Estos modelos se han transformado en valiosas herramientas de apoyo a la investigación.

El uso de estas herramientas a nivel comercial, requiere su presentación en versiones amigables para el usuario, validadas para las condiciones locales. Un claro ejemplo de ello se tiene en países como Australia, donde programas como el GrazFeed™ (versión 4.1.15; Freer *et al.*, 2006) ha demostrado su potencial para apoyar al productor ganadero a mejorar su resultado económico a través de un uso más eficiente de las pasturas y suplementos en las zonas templadas de este país, además de constituirse en el marco teórico-conceptual orientador de la investigación. A través de esta herramienta de soporte a la toma de decisiones, el productor puede evaluar la capacidad de producción a partir de un determinado recurso forrajero, minimizar el costo de suplementación, elegir los alimentos que mejor se adecuan y regular la cantidad a suministrar de acuerdo a sus objetivos de producción. De forma similar The Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS, Tedeschi *et al* 2007) desarrollado en USA para predecir los requerimientos, eficiencia de uso de los alimentos performance animal y excreción de nutrientes en sistemas lecheros, vacunos y ovinos, ha permitido pensar en la implementación a nivel comercial de una nutrición de precisión. La ventaja de estos programas radica además en su potencial para ser incorporados en programas desarrollados a una escala jerárquica mayor. Tal es el caso del GrazFeed y su inclusión como parte del GrazPlan, un paquete de herramientas que asiste al técnico y productor en la toma de decisiones y contribuye a mejorar el resulta-

do económico y la sustentabilidad ambiental en sistemas pastoriles (Donnelly et al, 2002).

A nivel nacional es muy escasa la utilización de este tipo de herramientas de apoyo a la toma de decisiones en el manejo nutricional del ganado de carne. Las arriba mencionadas no son de amplia difusión, no han sido validadas bajo las condiciones de producción de la ganadería local y en algunos casos demandan información, fundamentalmente la referida a la caracterización química y biológica de los alimentos, que no está ampliamente disponible. Sin embargo, cada vez es mayor la demanda por parte de técnicos asesores por metodologías que los orienten en el diseño de estrategias de alimentación sobre bases cuantitativas, de alta capacidad predictiva, de fácil uso y que les permita un rápido acceso a la información nacional necesaria a estos efectos. Esta tendencia se acentúa a medida que se intensifican más los sistemas ganaderos.

El desarrollo de un programa computacional para la evaluación y ajuste de dietas para el ganado de carne, que contemple las particularidades de los sistemas pastoriles incorporando la simulación de la interfase planta-animal-suplemento, que integre los avances de los sistemas modernos de alimentación, y validado para las condiciones de producción locales, se visualiza como una innovación de alto impacto, ya que facilitaría la integración de los aspectos biológicos con los económicos y permitiría además incorporar a la toma de decisiones, la evaluación de aspectos de impacto ambiental (emisión de metano, excreción de N y P, etc). El grado de complejidad y la información que demande este tipo de herramienta es un aspecto fundamental a considerar, debiendo lograrse un equilibrio entre la facilidad de uso y la precisión de las predicciones.

A nivel del país existen algunos antecedentes apuntando al desarrollo de modelo de predicción de la performance en ganado de carne (Cardozo y Ferreira, 1994). Por otra parte, el Grupo de Bovinos de Carne de la EEMAC ha trabajado en la validación de subrutinas para la predicción de la performance de vacunos en crecimiento (Gondro et al, 2004; Beretta y Simeone, 2005a,b), capitalizando la infor-

mación experimental generada por un proyecto de investigación aplicada ejecutado entre 2000 y 2003 (Simeone y Beretta, 2004). Sin embargo, es importante poder expandir el modelo al ciclo completo de producción de carne, así como incorporar nuevas subrutinas que consideren el conjunto de las variables antes mencionadas, y ofrecer el modelo en un formato "amigable" para el usuario de forma de estimular su adopción.

El disponer de este tipo de herramienta sería de bajo costo y potencialmente alto impacto a nivel del productor ganadero, ya que contribuiría a mejorar la eficiencia de producción, hacer un uso racional de los recursos alimenticios, e indirectamente reducir los costos de producción. Complementariamente, del punto de vista técnico-científico y educativo serviría como medio de actualización permanente de técnicos, vehículo de retroalimentación de las inquietudes del usuario, y un valioso instrumento de práctica para el estudiante avanzado de agronomía.

En base a estos antecedentes, el equipo técnico de la Unidad de Producción Intensiva de Carne (UPIC), de la Facultad de Agronomía, llevo a cabo, entre los años 2009 y 2012, el proyecto "UPIC-PRO", cuyo objetivo fue desarrollar un programa computacional que asista a técnicos y productores en la evaluación y ajuste de dietas a pasto o corral para sistemas de cría, recría y engorde de vacunos, capaz de predecir la performance animal, la eficiencia bioeconómica, e impacto ambiental de las opciones de alimentación.

METODOLOGÍA UTILIZADA

El programa computacional UPIC-PRO fue desarrollado en cinco etapas: i) desarrollo de un modelo conceptual del sistema a simular; ii) simulación matemática y programación computacional; iii) verificación de subrutinas del programa; iv) validación de modelo, v) programación en "versión amigable".

A continuación se describen las principales características metodológicas de estas etapas.

Desarrollo de modelo conceptual: El modelo conceptual fue generado como marco teórico para la posterior simulación matemática,

describiendo el sistema a simular. A través del mismo se fijaron los límites del sistema, niveles jerárquicos de resolución, estructuración del modelo, variables involucradas y vinculación entre componentes. Fue realizado en base a antecedentes bibliográficos.

Simulación matemática, programación y verificación de sub-rutinas: Fue desarrollado un modelo estático, determinístico, para la predicción de la performance animal en condiciones estables de producción. Dichas condiciones son descritas a partir de los “inputs” o información que alimenta el modelo. En tal sentido, a medida que se generan cambios a las condiciones de producción (estado de la pastura, nuevos alimentos, estado fisiológico del animal, cambios climáticos etc.), una nueva evaluación es necesaria. En esta etapa de la simulación, los procesos biológicos asociados a la transformación del alimento consumido en producto final, fueron descritos a partir de ecuaciones matemáticas. Fueron utilizadas ecuaciones de predicción reportadas por sistemas internacionales de alimentación, tales como las normas australianas (SCA, 1990, 2007), AFRC (1993), NRC (1996), así como ecuaciones empíricas reportadas por la bibliografía científica. Como parte de este proceso se generaron a partir de información bibliográfica bases de datos caracterizando diferentes biotipos y alimentos que alimentan al programa. La programación inicial se realizó en planilla electrónica. Cada sub-rutina del modelo fue verificadas en forma parcial, analizando su coherencia interna, forma y magnitud de la variación de las curvas de respuesta para cambios, en un amplio rango, de los valores de los inputs del modelo.

Validación de modelo En esta etapa se evaluó el grado de adecuación entre los valores predichos por el modelo y los valores observados, en condiciones de producción. El modelo de predicción fue evaluado a utilizando información proveniente de dos sistemas comerciales y un rodeo experimental. En estos sistemas se registró la performance de diferentes lotes de animales durante un periodo variable de tiempo (abril a octubre 2011), incluyendo vacas de cría preñadas y vacías en pastoreo, así como machos y hembras de diferentes pesos y grupos raciales en crecimiento y terminación, manejados en pastoreo o a corral. Se monitorearon 4748 vacunos, de los cuales 1.244 fueron manejados en pastoreo, comprendiendo

categorías en crecimiento (n=1.053) y vacas de cría (n=191), y 3.504 fueron alimentados a corral, incluyendo terneros/as en su primer invierno de vida (n=843), novillos (n=2.661) en terminación. El ganado de cría pastoreó exclusivamente en campo natural por ser ésta la forma predominante a nivel comercial; en tanto los lotes de vacunos en pastoreo, lo hicieron tanto sobre campo natural (n=769) como en praderas sembradas (n=284). En el caso de los sistemas de alimentación a corral, se evaluaron corrales recibiendo raciones totalmente mezcladas, ofrecidas ad libitum, caracterizadas por una relación voluminoso/ concentrado baja (voluminoso <20%, n=742 animales) o alta (n=1.919). A partir de la combinación de las variables “sistema de alimentación” x “categoría” x “tipo de dieta” se generaron 10 escenarios productivos. La información relevada correspondió a los *inputs* requeridos por el modelo de simulación y a las variables de producción de cada grupo de animales. La performance fue caracterizada en todos los casos a partir de la evolución de peso vivo, estimándose la ganancia diaria para cada grupo homogéneo de animales, a partir de la regresión del peso vivo en los días de alimentación. En el caso de las vacas gestando, la misma se estimó a partir de cambio en condición corporal y de la relación entre cambio en peso por unidad variación en condición corporal.

Las simulaciones fueron realizadas cargando el programa con los inputs correspondiente a cada grupo y generado un valor de ganancia media diaria predicho (GMDpred). Estos valores fueron comparados con los valores de performance observada en cada caso (GMDobs) para determinar la precisión y exactitud de las predicciones del modelo. Para el análisis de la adecuabilidad del modelo se siguió la metodología estadística descrita por Tedeschi (2006).

Finalmente, se desarrolló una versión “amigable” del programa buscando facilitar a través de diversas interfases graficas el ingreso de la información necesaria por parte del usuario y el acceso a las bases de datos que soportan al modelo. En la generación del producto final, se colocó especial énfasis en mantener un compromiso real entre la simplificación de la información demanda y la capacidad predictiva del modelo, de forma de facilitar su

aplicación en condiciones de producción.

RESULTADOS Y PRODUCTOS GENERADOS

1. El producto final: el software UPIC-Pro

El proyecto planteaba la generación de un único producto final: un programa computacional en versión “amigable” para la evaluación y ajuste de dieta en sistemas ganaderos. Este producto fue generado a partir del proyecto e identificado como UPIC-Pro. El mismo está disponible *on line*, accediéndose en <http://www.upic.com.uy/servlets/ingresar>. A la fecha está restringido el acceso, hasta tanto se establezca un criterio para ello. Nuestra idea, es que el acceso al programa debería estar precedido por un breve curso de capacitación donde se discutan las bases, alcances y funcionamiento del mismo. El programa ha sido desarrollado como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones, siendo esencial, para un correcto uso del mismo, el conocimiento de los conceptos nutricionales y biológicos que forman parte del manejo de la alimentación de vacunos. Asimismo, esto reduciría la necesidad de un eventual servicio de soporte al usuario para el cual, a la fecha, no se dispone de recursos.

El programa asiste al usuario en la evaluación y ajuste de dietas de vacunos para carne, manejados tanto en confinamiento como en pastoreo. A través de una programación amigable para el usuario, UPIC-Pro permite la aplicación rápida de ecuaciones matemáticas que describen los procesos biológicos involucrados, para predecir la performance esperada en vacunos para un determinado escenario productivo. Este último, es definido a partir de la información ingresada por el usuario con relación a características del animal, del manejo, de la dieta y del ambiente. Como elementos importantes que contribuyen a facilitar la tarea del usuario, el programa dispone de una base de datos de los alimentos más frecuentemente usados en la alimentación de vacunos para carne (biblioteca de alimentos) y de otra con información relativa a la caracterización de biotipos. Esta información, sin embargo, puede ser modificada por el usuario e incorporada a las bases del programa, según su propia experiencia o

registros particulares.

El programa predice la ganancia de peso vivo esperada a partir de la predicción de los requerimientos de energía y proteína y del aporte de estos nutrientes en la dieta. Esta predicción es realizada luego de que los requerimientos de mantenimiento, gestación y/o lactación, son cubiertos. Adicionalmente el programa produce informes complementarios describiendo las características químicas y nutricionales de la dieta, la fermentación ruminal, la excreción de nutrientes y producción de metano, y la evaluación económica resultante. De esta forma es posible evaluar qué tanto se ajusta la dieta ofrecida a las expectativas del usuario, y las eventuales modificaciones que habría que realizar si la performance predicha no se ajustara a lo esperado. En tal sentido UPIC-Pro funciona de forma interactiva en un proceso de aproximaciones sucesivas. Luego de una corrida de simulación, el programa genera los siguientes informes, los cuales podrán ser impresos por el usuario a su elección:

1. Resumen de la información ingresada
2. Balance nutricional
3. Predicción de la ganancia diaria de peso vivo
4. Características químicas y nutricionales de la dieta
5. Consumo y digestión
6. Fermentación en rumen
7. Excreción de nutrientes y producción de metano
8. Composición química de los ingredientes
9. Formulación y resultado económico

Del punto de vista computacional, la solución desarrollada consta de una interfase *full Web*, por lo que es necesario un navegador de internet para trabajar con el software. El lenguaje predominante es Java; se utiliza Apache Tomcat como motor de servlets y MySQL como Base de Datos para el almacenamiento de la información, todos productos de distribución libre. El software se encuentra instalado en un *hosting* especializado bajo la modalidad de arriendo de VPS (Servidor Privado Virtual) y bajo un dominio propio, lo cual supone contar con recursos no compartidos de Hardware y Software para la ejecución del software y el almacenamiento de la base de datos.

Complementariamente el usuario dispone de un manual, donde se detallan los principales fundamentos, requisitos informáticos y de conectividad, así como el procedimiento operativo.

2. Principales productos intermedios

Como resultado del proceso de desarrollo del programa, el proyecto preveía la generación de algunos resultados intermedios derivados de las diferentes etapas de trabajo:

2.1 Modelo conceptual de simulación describiendo las relaciones entre insumos, componentes y salidas del sistema.

El modelo conceptual que soporta al programa, integra los principales aspectos asociados al proceso de transformación del alimento en producto animal (en este caso carne vacuna), las orientaciones productivas (cría, recria- engorde) y los diferentes modos de alimentación en los sistemas de producción ganaderos de Uruguay (pastoril puro, pasto mas suplementación con forrajes y/o concentrados, o confinamiento). Asimismo buscó alcanzar un equilibrio entre la demanda de información para alimentar al modelo y su aplicabilidad en condiciones comerciales, así como entre la precisión de las predicciones y complejidad del modelo.

Fueron tomados como marcos teóricos los principales sistemas de alimentación: NRC/ CNCPS, AFRC, CSIRO, a partir de los cuales se identificaron sub-áreas a incluir dentro de un modelo teórico de predicción de la performance animal:

- Requerimientos de energía y proteína metabolizable para mantenimiento y diferentes funciones productivas (deposición de tejidos y síntesis de leche)
- Predicción del consumo
- Digestión: predicción de la degradación ruminal de las diferentes fracciones proteicas y de carbohidratos y crecimiento microbiano
- Digestión intestinal
- Predicción del metabolismo de la energía y proteína absorbidas
- Predicción de la excreción de nutrientes

Los límites del sistema quedaron determinados por el propio animal. En éste se integra

la información (inputs) proveniente del medio ambiente (clima, manejo, alimentación, objetivos de producción) la cual va a interactuar con sus propias características (biotipo, estado fisiológico, edad, peso vivo) para, a través del proceso de ingestión-digestión-metabolismo, generar una salida cuantificada en producto animal, productos de excreción y resultado económico.

El modelo fue estructurado en base a cinco sub-sistemas de nivel jerárquico inferior, cada uno representando las áreas arriba descritas: sub-modelo 1: predicción de requerimientos de energía y proteína metabolizables, calcio y fósforo; sub-modelo 2: estimación del consumo de materia seca; sub-modelo 3: fermentación ruminal y digestión intestinal; sub-modelo 4: metabolismo de la energía y proteína; sub-modelo 5: cuantificación de los productos de excreción y gases. Estos sub-sistemas se caracterizan por presentar estructura propia que habilita a su verificación en forma independiente. Para su funcionamiento demandan información del propio sistema de producción para el cual se desea predecir la performance animal (*inputs* del modelo general), y su salida funciona como insumo de otro sub-sistema. En la figura 1 se presenta un diagrama simplificado mostrando como se relacionan estos sub-sistemas dentro del modelo general en tanto en la figura 2 se presenta un diagrama del modelo desagregando los sub-sistemas y destacando las principales variables, procesos e interacciones involucrados en la predicción de la performance de vacunos.

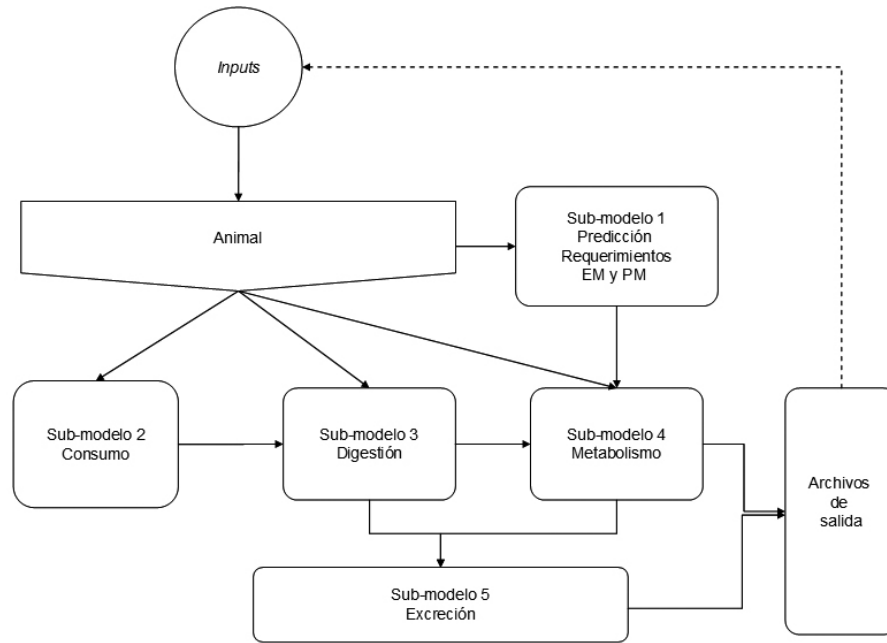


Figura 1. Diagrama simplificado del modelo conceptual propuesto para la evaluación de dietas y predicción de la performance de vacunos para carne.

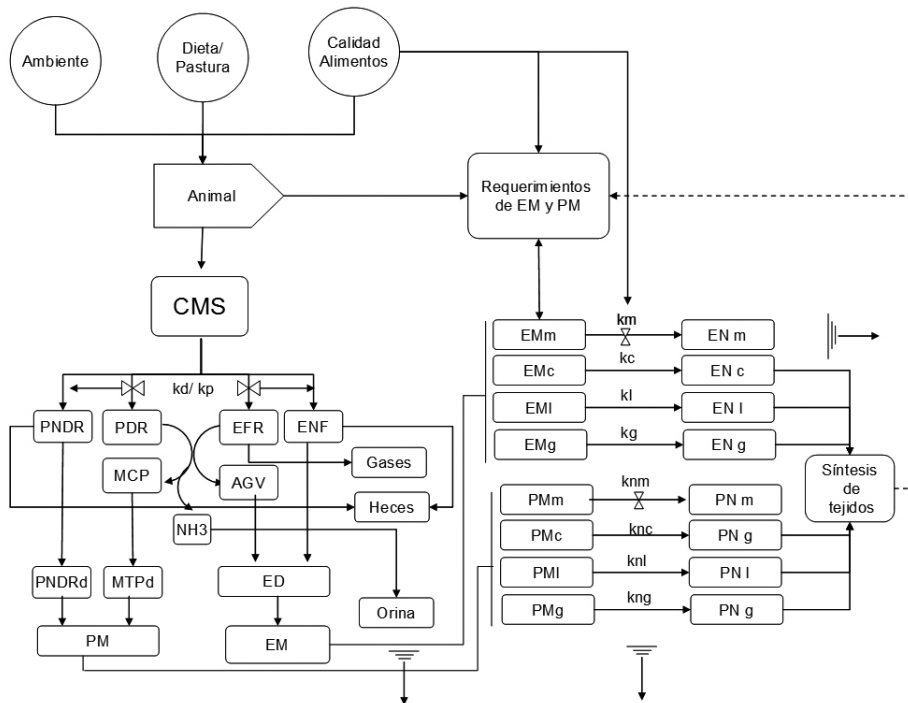


Figura 2. Modelo conceptual mostrando las principales variables, procesos e interacciones propuestos para la predicción de la performance de vacunos. Referencias: de la figura 1: CMS: consumo de materia seca; ED: energía digestible; EFR: energía fermentable en rumen; EM: energía metabolizable; EN: energía neta; ENFR: energía no fermentable en rumen; ERDP: proteína efectivamente degradable en rumen; k: eficiencia de uso de la EM; kd: tasa de digestión ruminal; kn: eficiencia de uso del nitrógeno; kp: tasa fraccional de pasaje de la ingesta fuera del rumen/ hora; MCP: proteína microbiana; MTP: proteína microbiana verdadera; MTPd: proteína microbiana verdadera digestible; PC: proteína cruda, (g/día) o g/kg; PDR: proteína degradable en rumen; PM: proteína metabolizable; PN: proteína neta; PNDRe: proteína no degradable en rumen; PNDRe: proteína no degradable en rumen digestible. Sub-índices: C: concepción; m: mantenimiento; g: ganancia de peso vivo; gest: gestación; lactación; d: digestible

2.2. Biblioteca de alimentos.

Fue generada una biblioteca de alimentos recopilando aquellos de uso más frecuente en la alimentación de los vacunos, tomando como insumo información nacional (Marichal s/p, Mieres et al, 2004) o extranjera cuando aquella no estuvo disponible (NRC, 1996; AFRC, 1993). Los alimentos pueden ser filtrados por clase (pasturas, forrajes conservados, granos, subproductos, minerales) para facilitar la búsqueda y selección. Asimismo, la biblioteca puede ser modificada por el usuario, generando nuevos alimentos a partir de su propia información o bien a partir de la modificación de alguno de los campos de alimentos aportados por el programa. Estos “nuevos alimentos” permanecen luego identificados en la base de datos como del “usuario” y son solo accesibles para quien los generó.

La generación de una biblioteca de alimentos a partir de la información nacional disponible constituía un producto intermedio relevante dentro del proyecto, dado la importancia del insumo para el programa y por el hecho de poder centralizar la información disponible a partir de diferentes fuentes (fundamentalmente nacionales) y hacerla rápidamente disponible al usuario. En tal sentido, este proceso significó el relevamiento extenso de diferentes publicaciones, entre las que se destacan tesis de grado de la Facultad de Agronomía, base de datos generada por el laboratorio de INIA (Mieres et al, 2004) base de datos de laboratorios privados, así como información sin publicar sobre pasturas de la Facultad de Agronomía. La principal limitante hallada fue el no disponer de análisis químicos/ nutricionales completos para los diferentes alimentos considerados. La información más limitante fue la caracterización de la naturaleza proteica de los alimentos (fracción soluble, potencialmente degradable, tasa de degradación de dicha fracción, nitrógeno ligado a la fibra). En tal sentido, cuando no se dispuso de dicha información, se reportaron los valores sugeridos por AFRC (1993) para las diferentes clases de alimentos. Futuros trabajos especialmente diseñados para ello, podrían contribuir a enriquecer la base de datos del programa, incorporando la nueva información a medida que vaya siendo generada.

2.3. Modelo matemático pasible de ser actualizado con nuevos resultados de la investigación analítica.

El modelo matemático describiendo cuantitativamente los componentes y relaciones entre variable de los sub-sistemas descriptos en la figura 1, fue elaborado a partir de ecuaciones publicadas en la bibliografía y complementado con cálculos adicionales que se realizan a partir de resultados generados por el programa. El hecho de haberse realizado la programación en una interfase *full web*, habilita a la modificación en línea de las ecuaciones utilizadas por el programa para su actualización, a medida que resultados relevantes de la investigación ameritan ser incorporados.

3. Validación del modelo para la predicción de la performance animal

La validación del modelo, entendida esta como la evaluación de la lógica y capacidad del modelo para cumplir con el objetivo pautado (Hamilton, citado por Tedeschi, 2006), fue estructurada en dos etapas: 1) la verificación de sub-rutinas y análisis de sensibilidad (comportamiento de los componentes del modelo; 2) evaluación del modelo (comparación de las salidas del modelo con datos reales)

3.1 El *análisis de sensibilidad* fue realizado para sub-rutinas específicas de alta relevancia para el programa a saber:

1. Predicción de los requerimientos de energía metabolizable (EM) en función de cambios en el peso vivo (PV), la ganancia de peso vivo esperada (GPV) y el biotipo animal (maduración precoz vs. tardía).
2. Predicción del consumo potencial en función de cambios en el peso relativo (involucrando peso maduro y edad del animal).
3. Predicción del consumo efectivo en pastoreo en función de cambios en la disponibilidad, digestibilidad y composición botánica de la pastura.
4. Predicción del consumo en confinamiento en función de cambios en la relación voluminoso: concentrado de la dieta.
5. Predicción de la síntesis de proteína microbiana para cambios en la degradabilidad ruminal de la fuente de nitrógeno.

La predicción diaria de exigencias de EM (Mcal/día) fue evaluada en un amplio rango de pesos (150 a 450 kg) y tasas de ganancias (0.250 y 1.25 kg/día). Las curvas de predicción generadas reflejaron una marcada sensibilidad frente a cambios en el peso vivo, observándose un incremento en la pendiente al aumentar la GPV. Este tipo de respuesta es consistente con un mayor costo de mantenimiento y un mayor valor energético/ unidad de peso vivo depositado. Y el cambio en la composición de la ganancia de peso vivo a medida que el animal madura o conforme se lo somete a tasas de ganancia más elevadas (AFRC, 1993, Di Marco 2006; NRC, 2000).

El modelo incorpora para la predicción del consumo las ecuaciones propuestas por CSIRO (1990) entre las cuales se estima como primer paso el consumo potencial de materia seca (CMSP) del animal, el cual varía en función del tamaño adulto del animal y de la etapa de crecimiento en la que se encuentra o tamaño relativo (cociente entre el desarrollo que debería tener de acuerdo a su edad y el peso adulto). El CMSP registró incrementos decrecientes para cambios en el tamaño relativo del animal, conforma lo esperado. Una reducción en la disponibilidad de forraje entre 3.0 y 0.5 ton/ha, genera una reducción en el consumo real de animales de tipo cuadrático. La forma de la curva observada coincide con la reportada por los autores (CSIRO, 1990) y muestra la alta sensibilidad del consumo en pastoreo frente a cambios en la oferta de forraje en un estrecho rango (0.5 a 1.5 tt/ha) con incrementos menores hasta niveles de 2 tt/ha para luego estabilizarse en torno al CMSP predicho. El ajuste del consumo potencial debido a la calidad del forraje considera también, la digestibilidad de la materia seca y la proporción de leguminosas en la mezcla. Para una pastura mezcla con oferta no limi-

tante (3000 kg MS/ha), una menor DMS limita el consumo, sin embargo a igual DMS una mayor presencia de leguminosas en la dieta mejora la ingestión de forraje.

El CMS en confinamiento es estimado a partir de ecuaciones empíricas reportadas por AFRC (1993) las cuales consideran la relación voluminoso: concentrado en la dieta y su concentración energética. Para relaciones voluminoso: concentrado variando entre 100:0 y 20:80, el CMS incrementa en forma lineal. Dietas altamente concentradas (>80% de concentrado en la dieta, el consumo varía en forma inversa con la concentración energética de la dieta.

La respuesta del modelo al cambio en la degradabilidad de la fuente de nitrógeno utilizada en la dieta fue evaluada modificando la proporción de urea en dietas isoproteicas a base de grano de sorgo y harina de soja y utilizando ensilaje de maíz (30%), valorándose la sensibilidad del sub-módulo de fermentación ruminal y digestión intestinal.

3.2 Evaluación y análisis de la adecuabilidad del modelo a partir del ajuste entre datos reales de ganancia de peso vivo (provenientes de sistemas reales de producción) y los predichos por UPIC-Pro.

A partir de la conformación de lotes homogéneos por peso, estado fisiológico y/o biotipo se generaron 78 pares de valores de ganancias media diaria observada (GMDobs) y predicha (GMDpred).

Los valores estimados para las estadísticas utilizadas en la evaluación de la adecuabilidad del modelo para la predicción de la ganancia media diaria de peso vivo en vacunos se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Estadísticas estimadas para el estudio de la adecuabilidad el modelo de predicción

Estadística	Valor	Estadística	Valor
n.observaciones	78	n.observaciones	78
Intercepto: b0	0,0251	Rho^	0,9815
p-valor Ho: b0t=0	0,2973	Cb	0,9957
Pendiente: b1	1,0136	CCC	0,9773
p-valor Ho: b1=1	0,5500	MB	0,0367
MSE	0,0161	MEF	0,9601
Fo 2 (bo+b1)	3,4345	CD	1,0629
p-val 2	0,0373	MSEP	0,017110
R ²	0,9634	R ² ajustado	0,9629

La regresión lineal entre los valores observados y predichos permite evaluar el grado de ajuste entre ambos, bajo la hipótesis de que en un ajuste perfecto la regresión pasaría por el origen y tendría una pendiente igual a la unidad (Dent and Blackie, cit. por Tedeschi, 2006). En la figura 3 se presenta la regresión para la base completa de datos de pares de valores GMD (n=78)

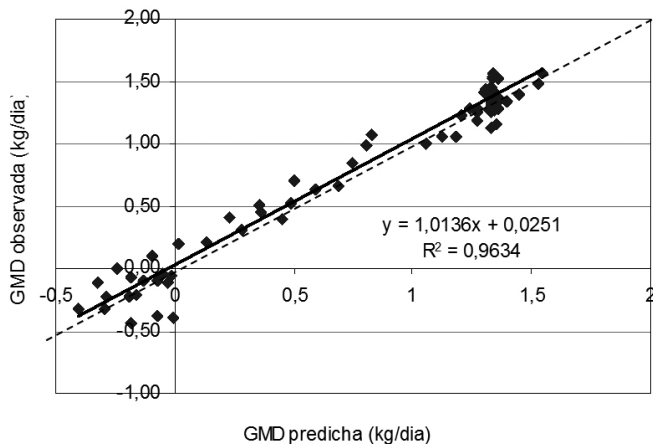


Figura 3. Relación entre la ganancia media observada (GMD) y la GMD predicha por el modelo en vacunos de diferentes categorías manejados en pastoreo o corral (línea llena: recta de regresión $y=a+bx$; línea punteada $Y=X$)

Para el estudio de la regresión, los valores observados fueron considerados como variable dependiente (eje-Y) dado que presentan la variabilidad natural asociada a la variable, mientras que los valores predichos por el modelo ($f(X_1, \dots, X_p)$) fueron considerados como valores independientes (eje-X) por ser determinísticos y no presentar variación aleatoria (Harrison; Mayer et al, cit. por Tedeschi, 2006). En tal sentido, los puntos ubicados por debajo y por encima de la línea $Y=X$ de la regresión indican sobre- y sub-estimación, respectivamente, por parte del modelo.

La relación entre ambas variables fue lineal ($P < 0.001$). Como primera medida de evaluación de la capacidad predictiva del modelo ($Y=X$), se estimaron el intercepto (b_0) y la pendiente (b_1) de la regresión de los valores observados (y) sobre los predichos (x), y se testearon en forma independiente las hipótesis $H_0: b_0=0$ y $H_0: b_1=1$. De estos análisis surgió un intercepto $b_0= 0.0251$ kg/d que no difirió de cero ($P=0.2973$) y un valor de pendiente $b_1= 1.0136$ kg/d que no difirió de uno ($P= 0.5500$) (Figura 1). Sin embargo, el test simultáneo $b_0=0$ y $b_1=1$ para toda la recta

de regresión (Dent y Blackie, cit por Tedeschi, 2006) indicó que el modelo presentaría un sesgo respecto a la línea $Y=X$ ($P=0.0373$), en tanto en términos de precisión, es capaz de explicar el 96% de la variación observada ($r^2=0.96$; $r^2\text{-aj}= 0.96$). El sesgo de la media (MB) fue estimado en 0.0367, representando un leve desvío de la recta de predicción hacia la izquierda de la línea $Y=X$, que indicaría que los valores predichos subestiman en 36 gramos a la ganancia observada.

Otras estadísticas estimadas, son consistentes con los descritos por la regresión: el coeficiente de concordancia (CCC), sugerido como un índice adecuado para variables continuas que evalúa simultáneamente la precisión (Rho) y la exactitud (Cb) de la predicción (Lin, cit. por Tedeschi, 2006) fue elevado y cercano a la unidad (CCC= 0.964) lo cual es deseable del punto de vista de la capacidad predictiva del modelo; un valor coeficiente de determinación del modelo (CD=1.06) corrobora la leve subestimación del modelo, del orden del 6% (CD>1 indica sub-estimación, CD<1 indica sobre-estimación), y un valor para la eficiencia del modelo cercano a 1 (MEF= 0.96), es también un buen indicador de la bondad de ajuste del modelo.

CONSIDERACIONES FINALES

En función de estos resultados, se puede decir que el modelo de predicción se mostró preciso y con una leve tendencia a la subestimación de los valores observados. Sin embargo, la escasa magnitud del sesgo estimado para la media, y tomando en cuenta la naturaleza de los datos (variabilidad y error asociado a las condiciones comerciales de monitoreo) resultaría aceptable del punto de vista productivo. Sin embargo, el propio programa habilita a continuar en una permanente evaluación del mismo, de forma de incorporar mejoras asociados a estudios futuros.

Existen aspectos que no han sido contemplados en el desarrollo actual del programa, pero que bajo este enfoque de actualización y mejora continua, ameritarían ser considerados. Entre estos se destacan como relevantes y a considerar en el futuro: i) la cuantificación del impacto del uso de aditivos nutricionales como, ionóforos (efecto sobre el consumo y conversión), las levaduras y tamponantes

(efecto sobre pH ruminal y nivel de fibra efectiva); ii) incorporar ajustes cuantificando el efecto de los cruzamientos entre razas (heterosis), con información nacional o regional; iii) la adecuación de los factores de ajuste por estrés térmico basados en la información nacional generada al respecto; iv) incluir la variabilidad tanto de precios de insumos y productos como elemento de evaluación del resultado económico, lo cual permitiría evaluar escenarios de riesgo para las diferentes dietas; v) incorporar parámetros de calidad del producto como elemento de evaluación de las dietas.

Bibliografía

- Baker SK (2004) Patterns of methane production and feed intake in ruminants. *Animal Production in Australia* 25, 213.
- Baumont R, Cohen-Salmon D, Prache S, Sauvant D (2004) A mechanistic model of intake and grazing behaviour in sheep integrating sward architecture and animal decisions. *Animal Feed Science and Technology* 112, 5-24.
- Beretta, V. Simeone, A. 2005a Software para la "Predicción de la Performance de Vacunos en Pastoreo". Curso Sistemas de Alimentación para Ganado de Carne. Material didáctico en versión electrónica.
- Beretta, V. Simeone, A. 2005b. Software para la Predicción de la Performance de Vacunos en Confinamiento". Curso Sistemas de Alimentación para Ganado de Carne. Material didáctico en versión electrónica.
- Beretta, V., Simeone, A. 2006. El uso de alimentos concentrados como estrategia para mejorar la productividad y eficiencia biológica de sistemas pecuarios pastoriles. In. Sustentabilidad em sistemas pecuários. (Ed. A. Ferraini et al.). Maringa: Massoin. 199p. ISSN 85-8890558-2. p133-146.
- Cardozo, O., Ferreira, G. 1994. Engorde de novillos: un modelo bioeconómico. NIA. Serie Técnica 049. ISBN: 9974-38-021-9
- Gondro, C., Simeone, A., Beretta, V., Rowe, J., Kinghorn, B. 2004. A simple differential evolution for optimization of nutritional parameters in Beef Cattle. In: 2004 Annual Postgraduate Conference. Cooperative Research Centre for Cattle and Beef Quality. Coffs Harbour NSW., Australia.
- Donnelly J. R., M. Freer, L. Salmon, A. D. Moore, R. J. Simpson, H. Dove , T. P. Bolger. 2002. Evolution of the GRAZPLAN decision support tools and adoption by the grazing industry in temperate Australia. *Agricultural Systems*, 74, 115-139.
- Ellis JL, Kebreab E, Odongo NE, McBride BW, Okine EK, France J. 2007. Prediction of methane production from dairy and beef cattle. *Journal of Dairy Science* 90:3456-3467.
- Fox DG, Tedeschi LO, Tylutki TP, Russell JB, Van Amburgh ME, Chase LE, Pell AN, Overton TR (2004) The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology* 112, 29-78.
- Freer, M. A.D. Moore & J.R. Donnelly 2006. The GRAZPLAN animal biology model for sheep and cattle and the GrazFeed decision support tool1 CSIRO Plant Industry Technical Paper <http://www.hzn.com.au/grazfeed.php>
- Gutiérrez-Ornelas E, Galyean ML (2004) Achievements of research in the field of ruminant nutrition. In 'WAAP Book of the year 2003'. (Ed. WAAP) pp. 01-106. (WAAP: Roma)
- Hodgson J (2004) Animal behaviour and soil-plant-animal interactions. In 'II Conference on Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology'. Curitiba pp. CD-rom. (UFPR, UFRG)
- MacRae JC (2004) Nutritional opportunities for longer-term, sustainable, ruminant production. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 64, 77-83.
- Mader TL, Davis MS, Brown-Brandl T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle *J Anim Sci* 2006. 84:712-719.
- Mader TL. 2011. Mud Effects on Feedlot Cattle. *Nebraska Beef Cattle Reports*. Paper 613. <http://digitalcommons.unl.edu/animalscincb-cr/613>
- Marichal, M., Carriquiry, M., Trujillo, A. Tablas de composición química, valor proteico y aporte energético de pasturas cultivadas. Facultad de Agronomía. Mimeo. s/p.
- Mieres J, Assandri L, Cúneo M. 2004. Tablas de valor nutritivo de alimentos. In Guía para la alimentación de rumiantes (Mieres J, Ed). INIA: Montevideo. Serie Técnica N° 142
- NRC (1996, 2000) Nutrient requirements of beef cattle/Subcommittee on Beef Cattle Nutrition, Committee on Animal Nutrition, Board on Agriculture, National Research Council

cil.—7th rev. ed. Up date 2000. NATIONAL ACADEMY PRESS Washington, D.C. 1996

• Rotz CA (2004) Management to reduce nitrogen losses in animal production. *Journal of Animal Science* 82, E119-E137.

• SCA (1990). Feeding standards for Australian livestock. Ruminants. CSIRO Australia, Victoria

• Simeone, A., Beretta, V. 2004. Informe Final Proyecto "Evaluación de alternativas de alimentación durante el verano y otoño para animales en engorde en sistemas pastoriles intensivos de producción de carne del Litoral Oeste del Uruguay" (2001-2004). Presentado ante INIA – programa Línea de Investigación Aplicada (proyecto LIA 020). Montevideo, 20 de enero de 2004.

• Simeone, A., Beretta, V. 2005. Achievements in the field of Ruminant Nutrition. In: *Animal production and animal science worldwide. WAAP Book of the Year 2005* (Ed. A. Rosatti, A. Tewolde and C. Mosconi). Wageningen Academic Publisher: Wageningen, p. 67-74. ISBN 9076998671

• Tedeschi, L.O. 2006. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agricultural Systems* 89 (2006) 225-247

• Tedeschi, L.O., Fox, D.G. Russell, J. B. 2007. Development of Mathematical Models to estimate animal performance and feed biological values. In: *Simposio Internacional Avances em Tecnicas de Pesquisa em Nutruica de Ruminantes*. Ed. F. Palma Rennó e L. Prada e Silva). USP

Mastitis y Reproducción

Scott McDougall.

La presencia del Dr. McDougall en las XLVII Jornadas Uruguayas de Buiatria fue posible gracias a la colaboración de Boehringer Ingelheim Uruguay.

BSc(vet), BVSc, PhD. Massey University, Cognosco Animal Health and Production Research, Anexa FVC, PO Box 21 Morrinsville, New Zealand

INTRODUCCIÓN

La mastitis clínica y subclínica produce importantes impactos económicos y de producción en los tambos de todo el mundo. Más recientemente, se ha demostrado que la mastitis afecta la performance reproductiva del ganado lechero.

Esta breve revisión, resume los datos epidemiológicos que relacionan los casos de mastitis con la reproducción, algunos de los estudios que demuestran el mecanismo potencial por el cual la mastitis puede afectar la fertilidad y finalmente, presentar algunos datos sobre cómo mejorar los efectos de la mastitis en el desempeño reproductivo posterior.

EVIDENCIA EPIDEMIOLÓGICA DE UNA ASOCIACIÓN ENTRE LA MASTITIS Y LA FERTILIDAD

La mastitis es una enfermedad muy común en rodeos lecheros en todo el mundo e incurre en costos significativos asociados con el tratamiento, la pérdida de producción y el retiro de leche. La mastitis puede definirse como clínica (es decir, hay signos evidentes de enfermedad, como la presencia de coágulos o acuosidad de la leche; cambios en la glándula mamaria (calor o inflamación); o en la vaca (es decir, depresión, deshidratación, anorexia)). Sin embargo, la mayoría de los casos de mastitis siguen siendo subclínicos, es decir, hay evidencia de infección o inflamación en base a pruebas de laboratorio como microbiología o recuento de células somáticas (RCS). Los estudios epidemiológicos han demostrado que la mastitis tiene efectos negativos