

# Un paso adelante en la alimentación de precisión

■ Gabriel de la Fuente, Ahmad Reza Seradj y Joaquim Balcells

## ► Resumen

La alimentación de precisión es una rama de la ganadería de precisión que pretende mejorar la eficiencia de utilización de los nutrientes mediante un mejor ajuste de los suministros a las necesidades individuales de los animales. Debido a la variabilidad individual de los animales en los sistemas ganaderos, todavía existe un gran potencial para mejorar la eficiencia en los sistemas de producción ganadera adaptando mejor el suministro de nutrientes a los requerimientos del animal. Uno de los objetivos del proyecto Feed-a-Gene es encontrar potenciales biomarcadores entre la microbiota digestiva y el perfil metabólico del cerdo que ayuden a optimizar la eficiencia de utilización del alimento.

Palabras clave: alimentación de precisión, proteína, metabolómica, microbiota

## ► Abstract

### A step forward in precision feeding

Precision feeding is a branch of precision farming that aims to improve the efficiency of nutrient utilization by better adjusting the supplies to the animals' individual needs. Due to the individual variability of animals in livestock systems, there is still a great potential to improve efficiency in livestock production systems by better adapting the supply of nutrients to the animal's requirements. One of the Feed-a-Gene project aims is to find potential biomarkers between the digestive microbiota and the metabolic profile of the pig that might help to optimize the efficiency of food utilization.

Keywords: precision feeding, protein, metabolomics, microbiota

Contacto con los autores: Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Lleida. Email: [gfuente@ca.udl.cat](mailto:gfuente@ca.udl.cat)

La producción animal lleva siglos enfrentándose constantemente a nuevos desafíos. El aumento de la productividad y la eficiencia han sido cuestiones clave después de la Segunda Guerra Mundial para garantizar el suministro de alimentos en Europa. Desde entonces, otros aspectos se han vuelto importantes, incluidos la salud y el bienestar de los animales, la calidad y seguridad de los productos, el impacto ambiental y las expectativas de los consumidores y los ciudadanos. En su informe “La larga sombra del ganado”, la FAO (2006) indicó que “el sector ganadero es uno de los contribuyentes más significativos a los problemas ambientales más graves, en todas las escalas, desde el local al global”. A pesar de este alarmante mensaje, la FAO también declaró en su in-

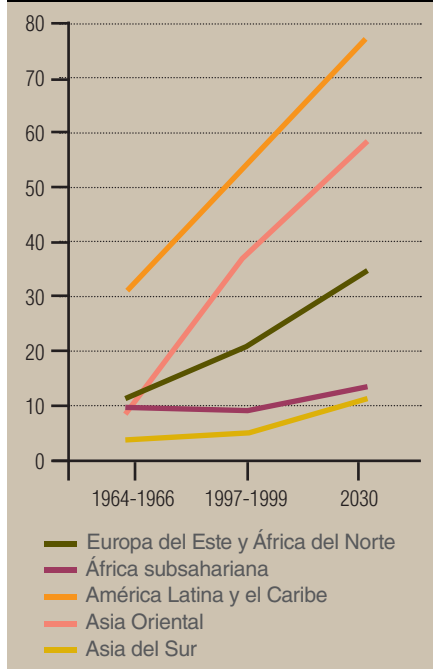
forme “Ganadería Mundial 2011 - Ganadería en seguridad alimentaria” que “En su estado actual, no existen alternativas técnicamente o económicamente viables a la producción ganadera intensiva para proveer la mayor parte del suministro de alimentos”. La competencia entre alimentos, piensos y combustibles alienta a los diferentes actores a buscar nuevas soluciones para aumentar la eficiencia y la sostenibilidad de los sistemas de producción ganadera. Esto crea una oportunidad única para implementar cambios en la cadena de producción ganadera.

### LA GANADERÍA DE PRECISIÓN

La ganadería de precisión (*Precision Livestock Farming*, PLF) es un sistema multidisciplinar basado en el uso integrado de los últimos avances en producción

animal y tecnologías de la información y la comunicación (TIC), y que requiere la colaboración de científicos, fisiólogos, veterinarios, etólogos, ingenieros, y expertos en TIC. El incremento de la capacidad adquisitiva en países en desarrollo, especialmente en Asia, India y Sudamérica, está llevando a un aumento en el consumo de proteína animal (*figura 1*), con una estimación de un aumento de la demanda de productos animales (carne, huevos y leche) del 70 % en 2050. Sin embargo, frente a un previsible aumento en el número de animales destinados al consumo humano, la tendencia mundial es la de una reducción en el número de ganaderos. La consecuencia inmediata de esta evolución es la del aumento de unidades ganaderas por unidad de mano de obra. A nivel práctico, se ha vuelto imposible para los

**Figura 1. Tendencia en el consumo de carne en países en desarrollo desde los años 60 hasta (predicción) 2030 (kg/por cabeza/por año).**



Fuente: OMS

ganaderos el poder hacer un seguimiento a todos sus animales de una manera precisa en grupos tan grandes. Paralelamente, en las últimas décadas, y debido a una mayor preocupación por parte del consumidor medio de temas de bienestar animal e impacto medioambiental, existe un mayor control de la salud y el bienestar de los animales que para no comprometer la productividad de la explotación está obligando a un aumento en la tecnificación y monitorización de las granjas comerciales.

## LA ALIMENTACIÓN DE PRECISIÓN

La alimentación de precisión es una rama de la ganadería de precisión que pretende mejorar la eficiencia de utilización de los nutrientes mediante un mejor ajuste de los suministros a las necesidades individuales de los animales (Ferket *et al.*, 2002). Optimizar la eficiencia de los nutrientes es esencial para la sostenibilidad de los sistemas de producción porcina, especialmente en un contexto donde la creciente demanda de alimentos debe satisfacerse

a un coste asequible sin comprometer la integridad ambiental (FAO, 2006). Más del 90 % del  $\text{NH}_3$ , el 44 % de  $\text{CH}_4$ , y el 53 % del  $\text{N}_2\text{O}$  en la atmósfera de origen antropogénico procede del sector ganadero (IPCC, 2007). Hasta el 30 % del suelo arable y entre el 8 y el 15 % de los recursos hídricos son utilizados por el sector ganadero. Las aves de corral, los conejos y los cerdos son responsables de alrededor del 13 % de la excreción de N y del 18 % de la excreción de P procedente del ganado en Europa. Además, la producción monogástrica está altamente concentrada y se observa una importante concentración de nitrato y fosfato en agua en las principales zonas de producción ganadera (el noroeste de Francia, Dinamarca, los Países Bajos, el Valle del Po en Italia y el nordeste de España). Debido a la variabilidad individual de los animales en los sistemas ganaderos, todavía existe un gran potencial para mejorar la eficiencia en los sistemas de producción ganadera adaptando mejor el suministro de nutrientes a los requerimientos del animal, ya sea individualmente o en grupo, y por una selección de animales adaptados a las fuentes de alimentación disponibles mejor y más específica. Con un manejo más preciso en el cual la productividad

animal estuviera más cerca del potencial genético de los animales se obtendrían ventajas a tres niveles: menos gasto de alimentación, menos deyecciones y mayor productividad (figura 2). Hasta ahora no ha sido posible abordar completamente estos problemas debido a la falta de tecnologías de bajo coste que permitan la identificación y fenotipado en tiempo real de los animales.

El desafío es asegurar diferentes estrategias nutricionales para animales con diferentes patrones de consumo de alimento y deposición magra, con el fin de lograr la producción y las demandas del mercado. En este sentido, la eficiencia del nitrógeno (N) se ha vuelto cada vez más importante para lograr la deposición de proteínas y disminuir la excreción de N.

La eficiencia del nitrógeno puede mejorarse mediante un mejor ajuste de los suministros a las necesidades individuales del ganado porcino (Van Milgen y Dourmad, 2015), reduciendo la excreción fecal y urinaria. Para lograr la mejora en la eficiencia de nitrógeno es necesario desarrollar métodos precisos de la estimación de las necesidades nutricionales de los animales, así como equipos y sistemas que permitan aplicar tal experiencia en la cadena de producción, como la alimentación de pre-



**Figura 2. Comparación entre diferentes estrategias de alimentación sobre el gasto en lisina digestible. 3P Corresponde a una alimentación en tres fases; COM es un manejo comercial; MPG es una alimentación continua (multifase) de racionamiento en grupo, y MPI es una alimentación continua (multifase) de racionamiento individual.**



Fuente: Andretta et al., 2014

ción. Este enfoque se basa en el hecho de que los animales dentro de un rebaño difieren entre sí en términos de rendimiento y, por lo tanto, los requerimientos de nutrientes (Pomar *et al.*, 2014).

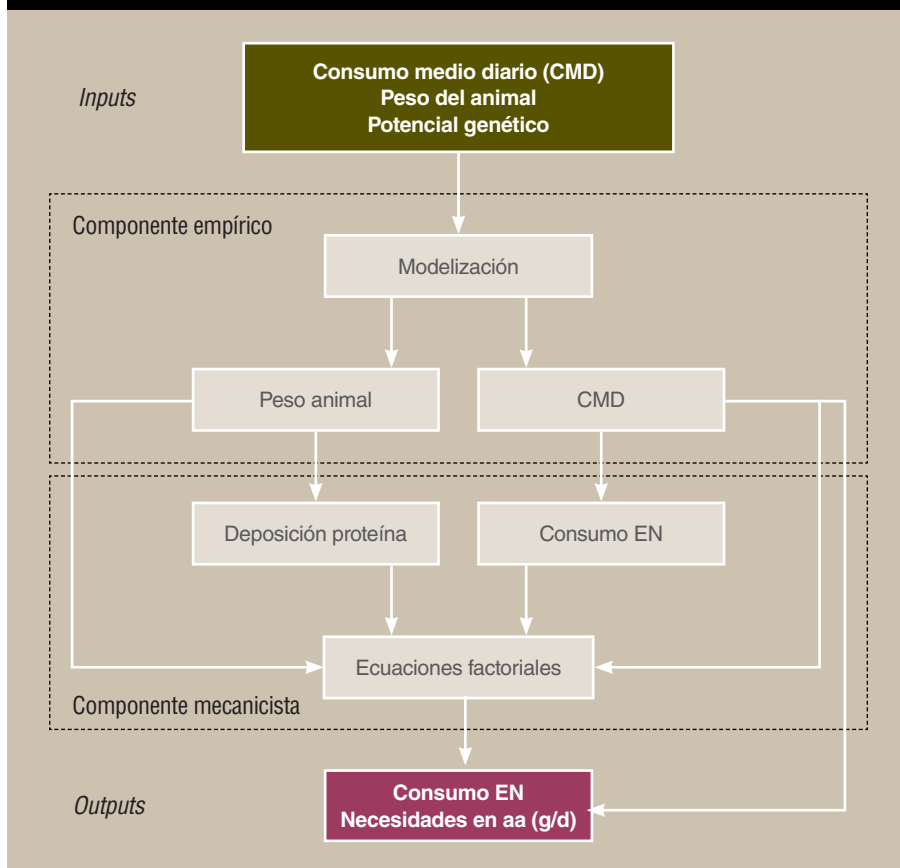
Según Pomar *et al.* (2009), esto podría lograrse mediante (figura 3):

- La determinación en tiempo real de los requerimientos individuales de nutrientes de acuerdo con su peso corporal real y el crecimiento real y los patrones de consumo de alimento.
- La formulación de dietas equilibradas, limitando la cantidad de exceso de nutrientes (a menudo dos dietas, una formulada para satisfacer los requisitos del cerdo más exigente al principio del primer periodo de crecimiento y otra para satisfacer al cerdo menos exigente al final del último periodo vegetativo).
- El ajuste del suministro dietético de nutrientes que coincidirá con los requerimientos evaluados de cada individuo dentro del rebaño (a través de la mezcla diaria de dos dietas, para lograr el requerimiento de nutrientes de cada cerdo).

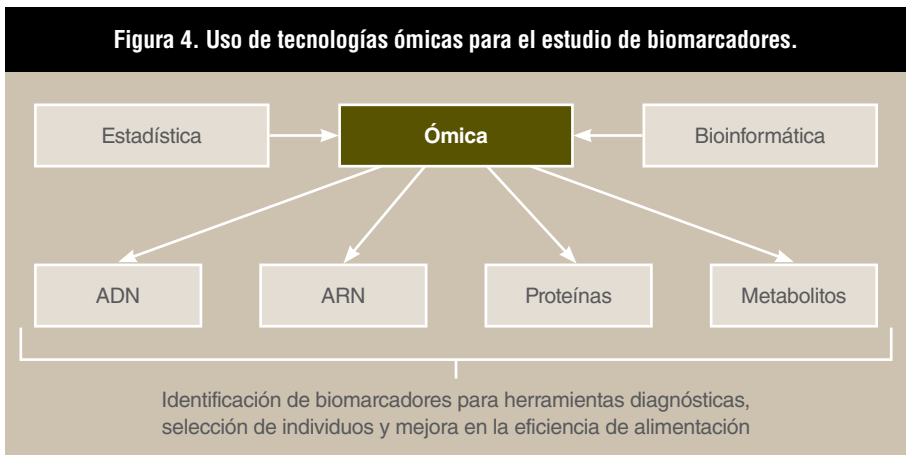
### USO DE TECNOLOGÍAS ÓMICAS

Las tecnologías ómicas (metagenómica, metabolómica, proteómica, transcriptómica, etc.) se han desarrollado en las últimas décadas y utilizado en diferentes

**Figura 3. Ejemplo de esquema de modelización en alimentación de precisión. En función de valores observables de rendimiento y eficiencia (inputs), se establece un modelo matemático (componente empírico) en el cual se deducen ciertos valores necesarios para obtener necesidades teóricas futuras (componente mecanicista). Esas necesidades teóricas (outputs), se van corrigiendo según más inputs se van añadiendo al modelo.**



Adaptado de Haushild et al., 2012



Adaptado de Guillemín et al., 2016

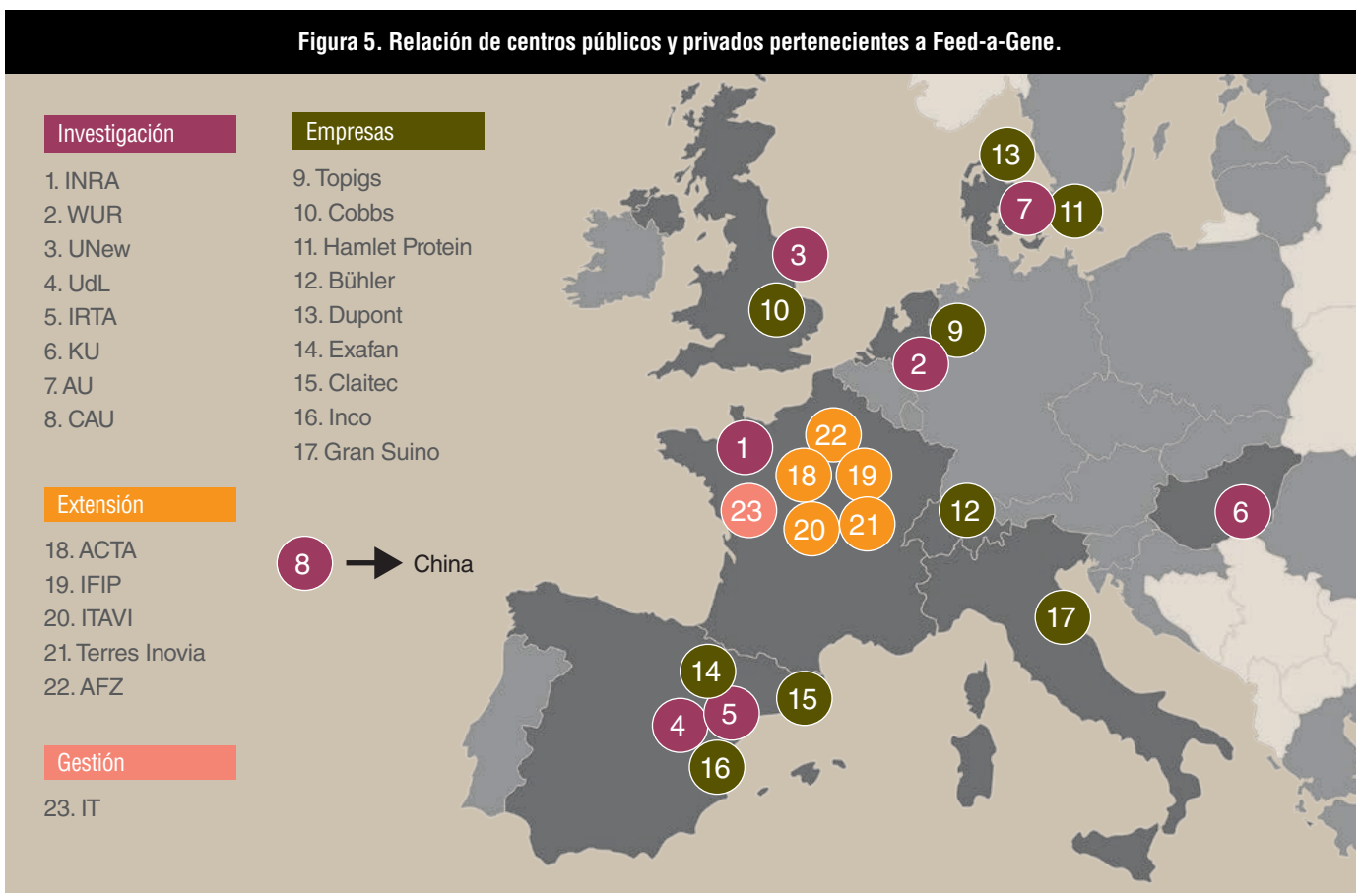
temáticas (figura 4). Las ómicas vienen de la conjugación de diferentes técnicas, y estudian todas las moléculas biológicas (ADN, ARN, proteínas, metabolitos, etc.). Mediante estas técnicas se pueden estudiar vías completas, elucidar fenotipos y su control. Así, es posible tener una visión general de la vinculación entre genotipos y fenotipos. Asimismo, se está

profundizando en el impacto de la microbiota sobre la salud y la productividad de los animales de abasto. Actualmente, los dispositivos de monitorización se están volviendo asequibles para permitir la producción de ganado de precisión, incluida la alimentación de precisión. La diversidad entre animales también se puede utilizar para criar animales

más eficientes y robustos. Las tecnologías moleculares de alto rendimiento disponibles recientemente permiten identificar la variabilidad genética en los rasgos de los metabolitos, lo que proporciona una visión en profundidad a los mecanismos biológicos de la utilización de nutrientes por el animal y su microbiota intestinal, y permite el desarrollo de herramientas para la detección precoz y una selección precisa. Con estas tecnologías, pueden revisarse los esquemas de cría para el ganado para mejorar considerablemente la eficiencia de la selección. Estas tecnologías son herramientas esenciales para criar animales capaces de utilizar fuentes alternativas de piensos que no estén en competencia con otros usos.

**EL PROYECTO FEED-A-GENE**

El proyecto Feed-a-Gene arranca en marzo del 2015 (financiado por la Comisión Europea, referencia 633531), dentro del programa Horizon 2020, con la intención de integrar y optimizar los diferentes componentes en la producción de



Fuente: www.feed-a-gene.eu



monogástricos para mejorar la eficiencia en la producción y disminuir el impacto medioambiental de estas producciones.

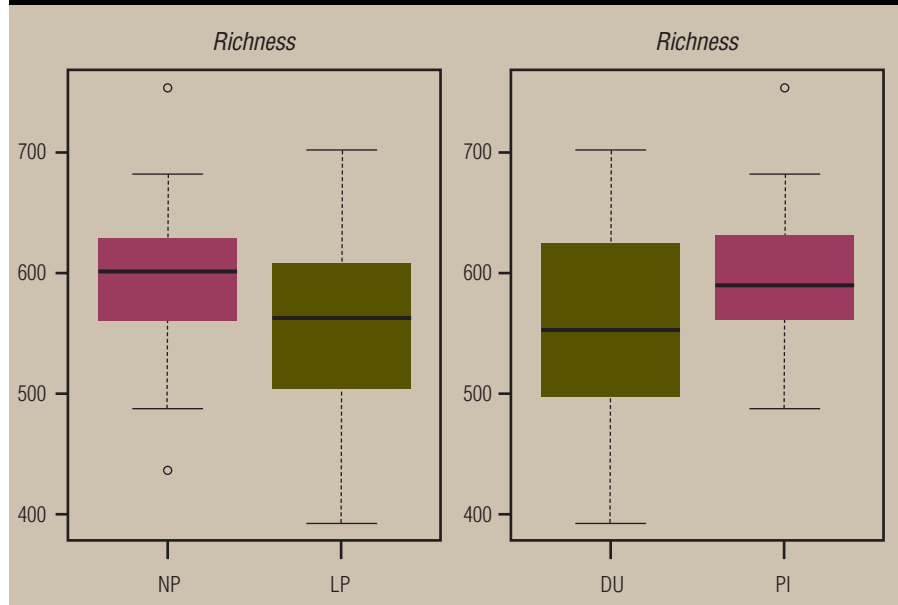
Su objeto de estudio son las principales especies utilizadas en la producción ganadera monogástrica (por ejemplo, cerdos, aves y conejos) y aborda la diversidad de tipos de producción y etapas de producción (por ejemplo, cerdos en crecimiento, cerdas gestantes y lactantes, gallinas ponedoras), y en diferentes condiciones de producción (sistemas de producción convencionales, de alto bienestar y alternativos [mediterráneos]). Además, se consideran diferentes sistemas de producción y condiciones (incluyendo la comparación de diferentes razas de cerdos y aves usadas para la producción de productos convencionales o especiales) y una comparación de sostenibilidad de sistemas de producción convencionales y propuestos. Feed-a-Gene está compuesto por seis paquetes de trabajo de investigación e innovación (WP) con experimentos comunes en los diferentes WP para limitar la experimentación con animales y compartir las instalaciones experimentales entre los socios de Feed-a-Gene (figura 5).

El proyecto durará hasta el año 2020 y las tecnologías que alcancen TRL5 (nivel de preparación para la tecnología 5) durante el curso del proyecto se demostrarán a escala industrial para facilitar la transferencia a los usuarios principales.

### EFEECTO DEL TIPO PRODUCTIVO Y NIVEL DE PROTEÍNA BRUTA EN CERDOS EN ACABADO

Como grupo participante del proyecto Feed-a-Gene, y con el objetivo de identificar posibles biomarcadores metabólicos y microbianos que relacionen la eficiencia digestiva y de crecimiento en cerdos, dentro del grupo de investigación de porcino de la Universidad de Lleida, en colaboración con el Centro de Estudios Porcinos (CEP; Torrelameu, Lleida) se diseñó un estudio con 64 animales pertenecientes a dos tipos productivos diferenciados, una línea híbrida (F2: progenie de [F1: Duroc×Landrace] madre×Pietrain padre) y una línea pura Duroc. Asimismo, se planteó una estrategia de alimentación en tres fases, con dos niveles de proteína dietética. El ensayo se desarrolló durante todo

**Figura 6. Diferencias en diversidad (*richness*) de la población microbiana digestiva en cerdos en acabado. NP y LP corresponden a un 14,7 % y un 12,6 % de PB respectivamente. DU y PI corresponden a tipos Duroc y Pietrain, respectivamente.**



el periodo de engorde hasta el sacrificio final de los animales con un peso de unos 90-100 kg. Durante el experimento se realizaron balances de digestibilidad al final de cada fase, antes del cambio de pienso, así como análisis de emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes (CO<sub>2</sub>, metano y amoníaco). También se tomaron muestras de sangre y contenido fecal para analizar el perfil de metabolitos, y la composición y estructura microbiana digestiva del animal.

### DIFERENCIAS EN LA MICROBIOTA FECAL Y SU RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO PRODUCTIVO

Los resultados que se presentan de la última fase (acabado) corresponden a la secuenciación masiva del ADN bacteriano de las heces de los animales bajo estudio (de la Fuente *et al.*, 2017). Estos resultados muestran que tanto el tipo de dieta como el de animal afectan de una forma clara a la población microbiana digestiva. La diversidad bacteriana (medida mediante el índice *richness*, que calcula el número de especies bacterianas presentes en cada uno de los animales) fue menor en animales tipo Duroc y en dietas bajas en proteína. Además, fue más variable en estos

casos (como puede observarse en la figura 6, donde las barras de desviación son más amplias en estos casos). La variación en la población microbiana implica que este tipo de animales responden de forma diferente a un mismo pienso, realizan una utilización más diversa del alimento y, por tanto, es más complicado obtener una predicción precisa de las necesidades de estos animales. Una de las preguntas que nos hicimos en este estudio fue si la población microbiana del cerdo podía explicar diferencias en rendimientos entre tipos productivos sometidos a diferentes dietas. Según se muestra en la figura 7 existen diferencias observables en la estructura de la población microbiana según el tipo de animal y de dieta, que se relacionan directamente con factores como la producción de amoníaco, la digestibilidad del almidón o de la proteína bruta (PB), entre otras. El aumento de emisión de amoníaco, por ejemplo, está asociado a dietas NP, más altas en proteína, y tiene una influencia directa sobre la gestión de residuos. El conocimiento de qué bacterias concretas están asociadas a ese aumento en cada uno de los tipos productivos puede ayudar a eliminarlas selectivamente (mediante el uso de aditivos específicos) o a identificar aquellos animales que por-



ten una mayor proporción de este tipo de bacterias (animales “contaminantes”). El objetivo último es identificar de forma rápida qué grupos bacterianos están directamente relacionados con parámetros de eficiencia digestiva y rendimiento productivo, algo que permitirá seleccionar animales a corta edad como de alta o baja eficiencia mediante un análisis rápido de sus heces.

### CAMBIOS EN EL PERFIL METABOLÓMICO Y POSIBLES BIOMARCADORES METABÓLICOS

En animales monogástricos, después de la acción de las enzimas digestivas se produce la absorción de nutrientes en el intestino delgado. En el caso del cerdo, en el ciego y el colon existe además una fermentación del material no digerido, llevada a cabo por la población microbiana que habita en esos compartimentos, y que da lugar a una producción de ácidos grasos volátiles de cadena corta, además de ciertas vitaminas y metabolitos secundarios. Parte de ese material se absorbe en el ciego o el colon y llega al torrente sanguíneo. Así pues, en la sangre circulante de estos animales habrá compuestos procedentes directamente del alimento, indirectamente de la fermentación microbiana, o compuestos de nueva síntesis por parte del propio animal. La presencia, ausencia o cambios de concentración de ciertos metabolitos pueden estar en relación con la eficiencia de utilización de esos nutrientes y, por tanto, es importante realizar una búsqueda de potenciales biomarcadores que puedan señalar de una manera rápida y sencilla si un animal está utilizando de forma eficiente el alimento que se le está ofreciendo.

Se realizó un análisis metabolómico del plasma de los 64 animales mediante el uso de cromatografía líquida-espectrometría de masas (LC-MS) (Seradj *et al.* 2017). Se observó que el perfil metabolómico difería en gran medida entre los dos tipos de razas (figura 8).

Después de un análisis más pormenorizado, se vio que un total de 921 metabolitos mostraban diferencias debido a la raza o al tipo de dieta. De ellos, 18 fueron identificados como potenciales biomarcadores, por estar identificados en las bases de

Figura 7. Análisis de correspondencias canónicas, mostrando la relación entre la estructura microbiana (en puntos de colores) y la eficiencia digestiva (en flechas). En la figura solamente se muestran aquellos elementos significativos.

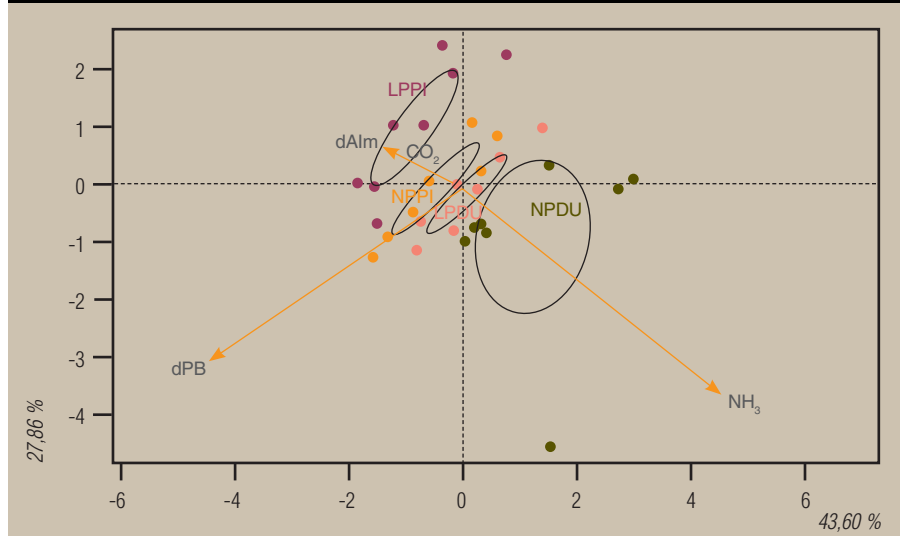
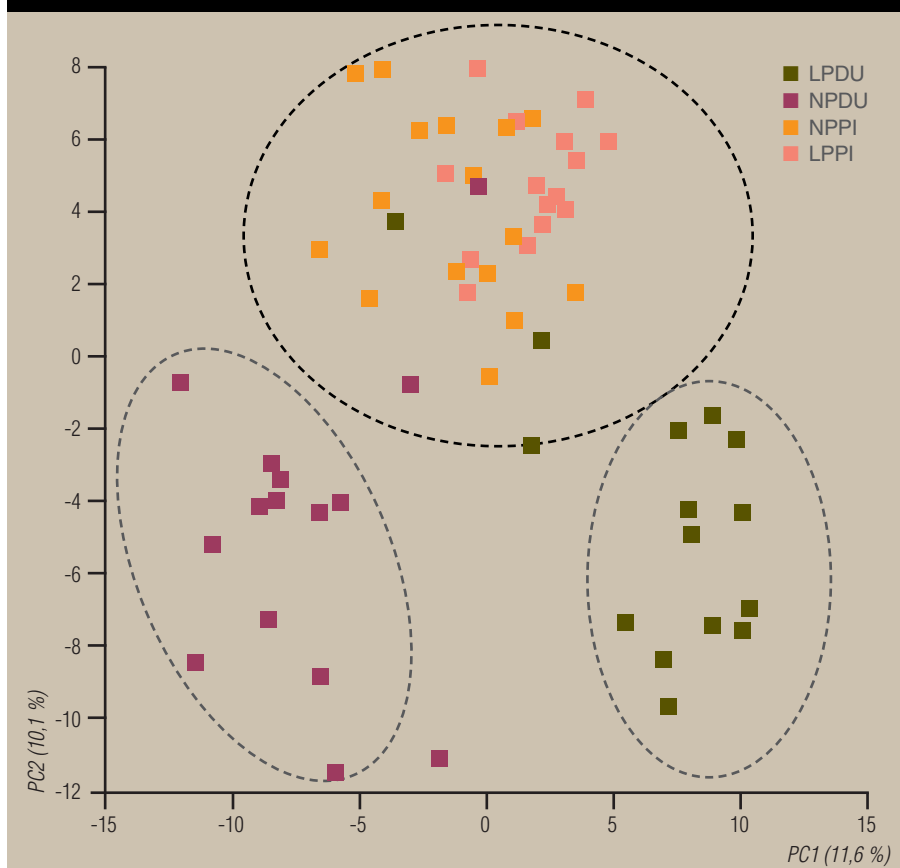


Figura 8. Análisis de componente principales mostrando el perfil de metabolitos existente en el plasma de los animales bajo estudio. Como se puede observar, existe una clara diferenciación entre los dos tipos productivos (Pietrain y Duroc). Además, mientras que un cambio de dieta no altera significativamente el perfil metabolómico del plasma en animales Pietrain (NPPI y LPPI), sí que lo hace en animales Duroc (LPDU y NPDU).



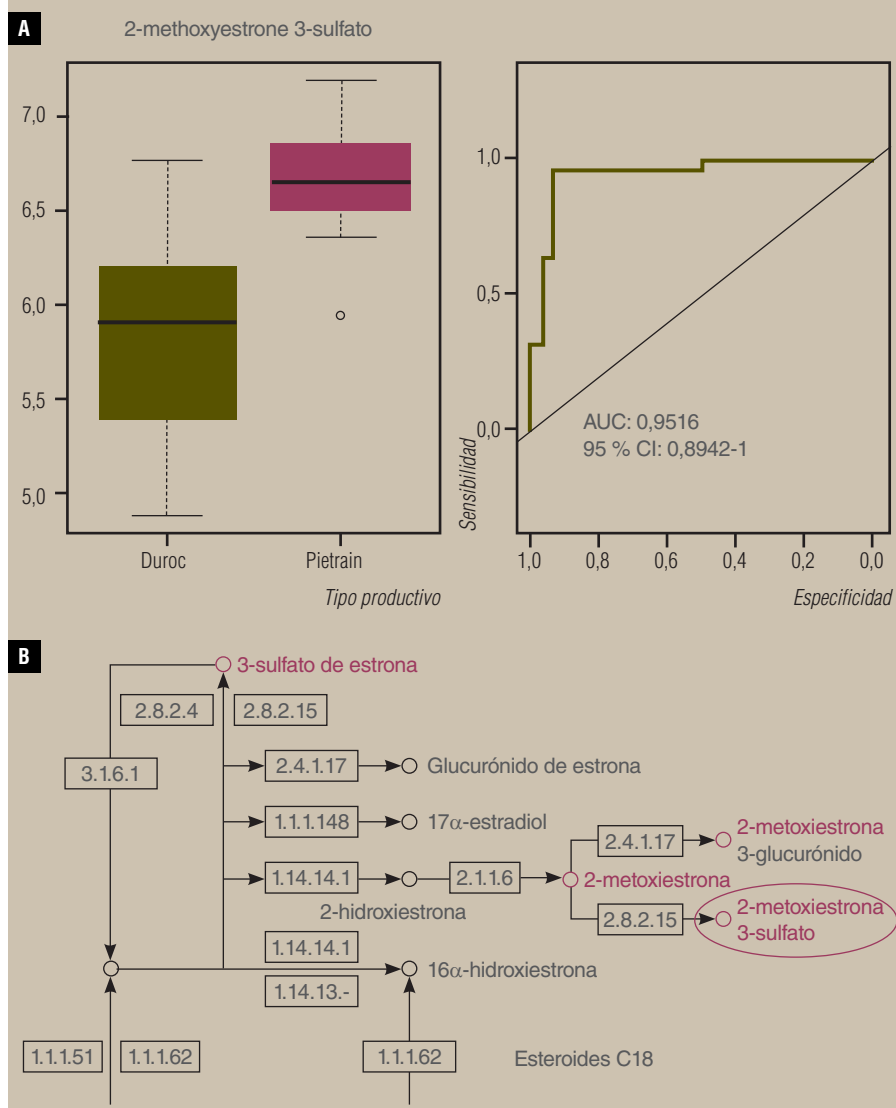


datos, pertenecer a una ruta metabólica conocida relevante y presentar diferencias claras evidentes entre los grupos a estudio. En la *figura 9* se muestra un ejemplo de posible biomarcador relacionado con la síntesis hormonal.

### Implicaciones y futuro

Una vez definidos y contrastados los principales actores microbianos y metabolómicos presentes en el estudio, el siguiente paso para poder implementar los modelos de predicción utilizados en la alimentación de precisión es comparar toda la información con los datos de eficiencia digestiva y rendimiento ya existentes, que finalmente son los que determinarán de qué manera estamos optimizando el uso del pienso en nuestros animales. El futuro en la alimentación de precisión pasa por un conocimiento más profundo de los mecanismos que influyen sobre la variabilidad individual y el reconocimiento a tiempo real de biomarcadores que optimicen el uso de una dieta de manera individualizada y permita una formulación más cercana a las necesidades de dicho animal en cada momento de su vida productiva. En este aspecto, la capacidad de manejo del *big data*, y el desarrollo de plataformas que permitan el análisis de información prefiltrada será esencial para un uso realista y práctico por parte del productor porcino.

**Figura 9.** Ejemplo de posible biomarcador (2-methoxyestrone 3-sulfato). En la *figura A* se observa una diferencia significativa de los niveles de este compuesto en animales Duroc frente a Pietrain, así como una respuesta mucho más variable en los primeros. En la *figura B* se muestra la localización de este compuesto dentro de la ruta metabólica. En este caso el metabolito está relacionado con la síntesis hormonal.



### BIBLIOGRAFÍA

Andretta, I., Pomar, C., Rivest, J., Pomar, J., Lovatto, P.A. and Radünz, N.J. (2014). The impact of feeding growing-finishing pigs with daily tailored diets using precision feeding techniques on animal performance, nutrient utilization, and body and carcass composition. *Journal of animal science*, 92(9), p.3925.

Change, IPCC Climate. (2007). Mitigation of climate change. Summary for Policymakers 10, no. 5.4

De La Fuente, G., Seradj, A.R., Tor M. and Balcells, J. (2017) Cross links between feed efficiency parameters and gut microbiota in pigs 68th Annual Meeting EAAP, Tallinn. p243

Ferket, P. R., E. Van Heugten, T. A. T. G. Van Kempen, and R. Angel (2002) Nutritional strategies to reduce

environmental emissions from nonruminants. *Journal of Animal Science* 80, no. E-Suppl\_2: E168-E182.

Guillemin, N., Horvatić, A., Kuleš, J., Galan, A., Mrljak, V., & Bhide, M. (2016). Omics approaches to probe markers of disease resistance in animal sciences. *Molecular BioSystems*, 12(7), 2036-2046.

Hauschild, L., Lovatto, P.A., Pomar, J. and Pomar, C. (2012) Development of sustainable precision farming systems for swine: estimating real-time individual amino acid requirements in growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* 90, 2255–2263.

van Milgen, Jaap, and Jean-Yves Dourmad. (2015) Concept and application of ideal protein for pigs. *Journal of animal science and biotechnology* 6, no. 1: 15.

Pomar, C., L. Hauschild, G. H. Zhang, J. Pomar, and P. A. Lovatto. 2009 Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. *R. Bras. Zootec.* 38:226–237

Pomar, C., J. Pomar, F. Dubeau, E. Joannopoulos, and J-P. Dussault. (2014) The impact of daily multiphase feeding on animal performance, body composition, nitrogen and phosphorus excretions, and feed costs in growing-finishing pigs. *animal* 8, no. 5 704-713.

Seradj, A.R., Babot, D., Beckmann, M., Balcells J. and De La Fuente G. (2017) Effect of pig type and dietary protein level on the metabolomic pattern, feed efficiency, and GHG 68th Annual Meeting EAAP, Tallinn. p243 [www.feed-a-gene.eu](http://www.feed-a-gene.eu)