

Optimización del uso de los recursos y reducción del impacto ambiental en diferentes genéticas porcinas (OPTIPORC)

Resumen

El proyecto OPTIPORC nace del interés común de las cinco empresas que integran la *Associació Catalana de Criadors de Bestiar Porcí Selecte* en desarrollar conocimientos y estrategias para mejorar la sostenibilidad ambiental y económica de la producción porcina con los diferentes cruces derivados de sus líneas.

Entre 2022 y 2024 se llevó a cabo en la granja experimental del IRTA en Monells el seguimiento del crecimiento y engorde de un total de 896 cerdos de 9 tipos de cruces de estas empresas, con diferentes pautas alimentarias estándar y alternativas. Además de los registros productivos y de consumo de pienso, se controló el consumo de agua y energía, y se analizó la digestibilidad del alimento. En diferentes momentos del engorde se midieron en cada grupo experimental las concentraciones de gases efecto invernadero (CH_4 , N_2O y CO_2) y de amoníaco (NH_3), así como el volumen y composición de los purines.

La información generada ha permitido caracterizar bajo un ambiente controlado la eficiencia en la utilización de los recursos y emisiones contaminantes de diferentes tipos genéticos y sistemas, y realizar el análisis de ciclo de vida. La huella de carbono fluctuó entre 3,92 y 5,44 kg de CO_2 equivalente por kg de peso vivo (PV), y la huella hídrica entre 7,47 y 14,63 m^3 equivalente por kg de PV. El proceso que más contribuye a la huella de carbono y sobre todo a la huella hídrica es el consumo de pienso. Las emisiones estimadas en el análisis de ciclo de vida han presentado rangos de variación de 0,0041-0,0093 kg de NH_3 /kg PV, 0,00013-0,00023 kg N_2O /kg PV, y 0,039 -0,063 kg CH_4 /kg PV, mientras que las excreciones de nitrógeno fluctuaron entre 0,009 y 0,022 kg de nitrógeno urinario/kg PV y entre 0,016 y 0,029 kg nitrógeno total/kg PV. En conjunto, los animales más eficientes mantuvieron el crecimiento con menor consumo de alimento y de agua, presentaron mejor digestibilidad del alimento y tuvieron menores excreciones de nitrógeno y menos emisiones de amoníaco.

Estos resultados avalan la eficiencia alimentaria como objetivo de selección clave para mejorar la huella ambiental y el balance económico de la producción porcina. Se demostró el efecto mitigador sobre la huella ambiental, particularmente sobre las emisiones de nitrógeno, derivado de la reducción de proteína y la utilización de componentes vegetales alternativos en la dieta. También se constató el efecto beneficioso de la adición de ácido benzoico en la dieta, observándose crecimientos ligeramente superiores y sobre todo un mejor índice de conversión del alimento.

Por último, se evaluaron 32 parámetros bioquímicos y hematológicos sanguíneos como posibles biomarcadores de eficiencia e impacto ambiental. La concentración sérica de urea fue el parámetro más asociado con el índice de conversión y el rendimiento productivo de los animales, señalándose como potencial biomarcador del ajuste de la dieta y la eficiencia alimentaria. Los resultados obtenidos permiten desarrollar pautas y estrategias para mitigar la huella de carbono y mejorar el balance económico de la producción con distintas genéticas porcinas.

Objetivos

El objetivo general del proyecto OPTIPORC es contribuir a la mejora de la sostenibilidad medioambiental y el balance económico de la producción porcina con las distintas genéticas de las empresas catalanas de selección porcina mediante el desarrollo de conocimientos y estrategias que permitan mejorar la eficiencia

en el aprovechamiento de recursos, así como reducir las emisiones contaminantes y la huella de carbono en las granjas. Dentro de este objetivo general, los objetivos específicos han sido:

1. Caracterizar los principales tipos genéticos de cruces comerciales de las empresas catalanas de selección porcina con relación a la huella ambiental y la utilización de los recursos durante la fase de engorde.
2. Desarrollar y evaluar estrategias nutricionales y de selección que tengan un impacto mitigador sobre la huella ambiental de la producción porcina manteniendo el potencial productivo de los animales.
3. Identificar nuevos indicadores y biomarcadores de los niveles de emisiones, la eficiencia y el impacto ambiental de la producción porcina durante la fase de engorde, tanto a nivel individual como grupal.

Descripción de las actuaciones llevadas a cabo en el proyecto

Las actuaciones realizadas durante el proyecto se han estructurado en cuatro paquetes de trabajo:

Paquete 1. Diseño experimental, generación del material animal y formulación de los piensos.

El diseño experimental ha sido planteado para poder abordar los distintos objetivos del grupo operativo. A lo largo del grupo operativo las empresas han generado el material animal: un total de 896 animales de distintos orígenes y cruces (un total de 9 cruces diferentes), con diferentes pautas alimentarias (9 dietas), agrupados en un total de 14 grupos experimentales (promedio de 56 animales por grupo) y que fueron controlados en 5 lotes de engorde en el Centro de Control Porcino (CAP) del IRTA. En los lotes 1 y 2 se caracterizaron diferentes cruces/tipos genéticos. En los lotes 3 y 4 se testaron diferentes estrategias mitigadoras de la huella ambiental: 1) el efecto de piensos alternativos con nuevos componentes vegetales y menor porcentaje de proteína; y 2) las diferencias entre animales con distinto valor mejorante para la eficiencia alimentaria. En el lote 5 se testó el efecto de la adición de ácido benzoico sobre el rendimiento productivo, la eficiencia y las emisiones. En la **Tabla 1** muestra un esquema de los ensayos y grupos experimentales.

Paquete 2. Seguimiento productivo y de emisiones durante la fase de engorde.

El seguimiento y control de cada uno de los cinco lotes experimentales durante toda la fase de crecimiento y engorde se realizó en el Centro de Control Porcino del IRTA (CAP, Monells, Girona). Trasladados al CAP, los animales se alojaron a razón de un único grupo experimental por sala (unos 48-56 animales por sala). Cada sala disponía de 4 corrales y 2 fosas de purines; machos y hembras fueron alojados en diferentes corrales (12-14 animales por corral), compartiendo una fosa de purines por sexo. A lo largo del período crecimiento y engorde (entre los 70 y los 170 días de vida) los animales fueron alimentados *ad libitum* con una alimentación en 3 fases (inicial, crecimiento y finalización), con la dieta que correspondía a su grupo experimental (ver Tabla 1). Se realizó el control individual del peso y el depósito de grasa, así como del consumo individual de alimento con comederos electrónicos, y se registró también el consumo de agua y electricidad por sala. Así mismo se midieron los gases de efecto invernadero (GEI) y el amoníaco (NH₃), así como el volumen y la composición de los purines, en tres momentos del engorde. Por último, se tomaron muestras de sangre y de heces de 3 animales de cada corral para realizar las analíticas de biomarcadores y los estudios de digestibilidad.

Tabla 1. Diseño experimental del proyecto OPTIPORC: distribución de los ensayos y grupos experimentales en los cinco lotes de control en el Centro de Evaluación del Porcino del IRTA.

	SALA 1	SALA 2	SALA 3	SALA 4
LOT 1 Març - juny 2022	Origen 1 Pi-(Lw-Ld) Dieta D _{Magre}	Origen 1 Du-(Lw-Ld) Dieta D _{Greix}	Origen 2 Pi-(Lw-Ld) Dieta D _{Magre}	Origen 2 Du1-(Lw-Ld) Dieta D _{Greix}
LOT 2 Juliol - nov. 2022	Origen 2 Pi-(Lw-Ld) Dieta D _{Magre}	Origen 2 Du2-(Lw-Ld) Dieta D _{Magre}		
LOT 3 Gen - maig 2023	Origen 3 Pi-(Ld-Lw) Dieta HP	Origen 3 Pi-(Ld-Lw) Dieta Mitigació	Origen 4 Pi-(Ld-Du)_IG_high Dieta D _{bat}	Origen 4 Pi-(Ld-Du)_IG_std Dieta D _{bat}
LOT 4 Abril - set. 2023	Origen 4 Pi-(Ld-Du)_IG_high Dieta C _{bat}	Origen 4 Pi-(Ld-Du)_IG_std Dieta C _{bat}	Origen 5 Pi-(Ld-Lw) Dieta 1	Origen 5 Pi-(Ld-Lw) Dieta 2
LOT 5 Maig - agost 2024			Origen 1 F1 Lw-Ld Control	Origen 1 F1 Lw-Ld Addició Àc.orgànic

ASPECTES AVALUATS

- ✓ Tipus genètic
- ✓ Efecte de la dieta
- ✓ Valors genètics (IG)
- ✓ Addició d'àcid benzòic

5 orígens (empreses)
9 tipus genètics
9 dietes / tractaments

Paquete 3. Analíticas de emisiones, digestibilidad, bioquímica y hematología.

A partir de las muestras obtenidas durante los ensayos se realizó el análisis de la composición de los purines, las heces y el pienso en cada uno de los corrales, en tres puntos experimentales a lo largo del engorde. Estas analíticas permitieron determinar:

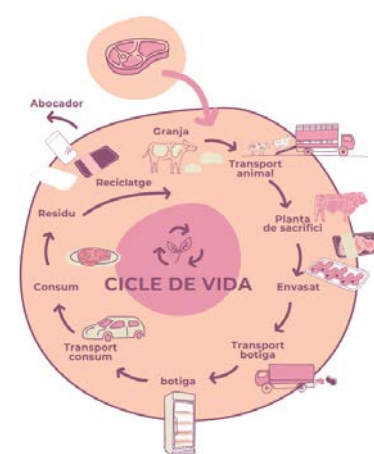
- la digestibilidad del alimento en cada corral en dos puntos (fase crecimiento y fase de finalización)
- el volumen y composición del purín en cada fosa (mismo grupo experimental y sexo) en tres puntos
- las emisiones de gases efecto invernadero (CH₄, N₂O y CO₂) y amoníaco (NH₃) en cada sala / grupo

Así mismo se realizó el análisis de 32 parámetros bioquímicos y hematológicos de las muestras de sangre de 3 individuos por corral (un total de 190 individuos) en dos puntos distintos del engorde (125 y 170 de vida).

Paquete 4. Análisis de los datos y obtención de los resultados. Todos los datos generados se analizaron para dar respuesta a los distintos objetivos del grupo operativo:

- **Caracterizar el potencial productivo, de eficiencia alimentaria y de emisiones** contaminantes de los diferentes tipos genéticos bajo los distintos sistemas de alimentación considerados. Se testaron las diferencias utilizando modelos lineales para corregir los efectos sistemáticos y estimar las medias mínimo-cuadráticas (LSmeans) de cada grupo experimental para los parámetros productivos (básicamente crecimiento, consumo de alimento, índice de conversión y depósito de grasa), la digestibilidad del alimento y las emisiones.

- **Obtener la huella de carbono y la huella hídrica** de los diferentes sistemas analizados (combinación tipo genético*alimentación). Se utilizó la metodología de **análisis de ciclo de vida (ACV)** que permite cuantificar, entre otros indicadores, la categoría de Cambio Climático o huella de carbono y la categoría de Consumo de Agua o huella hídrica. Para los estudios de ACV se siguió la metodología definida en las ISO 14040-14044, marco que se complementa con iniciativas como la Product Environmental Footprint (European Commission, 2013), la Product Category Rules (International EPD System, 2020) o el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, entre otros. Los datos obtenidos en el grupo operativo permitieron realizar una cuantificación de los recursos empleados, los residuos y las emisiones en cada uno de los escenarios evaluados.



- **Evaluar el efecto mitigador sobre la huella ambiental de diferentes estrategias alimentarias y de la adición de ácidos orgánicos.** El efecto de dietas alternativas con menor contenido de proteína

(experimentos de los Lotes 3 y 4, orígenes 3 y 5) y la adición de ácido benzoico a la dieta (experimento Lote 5, origen 1) se testaron comparando las LSmeans de los parámetros productivos y de eficiencia, la digestibilidad y las emisiones con las obtenidas en las dietas control con el mismo tipo genético.

- Evaluar la **relación entre la eficiencia alimentaria y la huella ambiental**. Se utilizaron conjuntamente todos los datos obtenidos, corrigiendo previamente el efecto grupo experimental con modelos lineales de medidas repetidas, para evaluar la asociación entre los parámetros productivos, el eficiencia, digestibilidad y emisiones a partir de análisis de correlaciones.
- Identificar posibles **biomarcadores de eficiencia y huella ambiental**. Se estudió la asociación de 32 parámetros bioquímicos y hematológicos con la eficiencia alimenticia de los animales. Mediante análisis de correlación y regresión se determinó el valor predictivo de diferentes metabolitos y enzimas. Se desarrollaron modelos predictivos considerando todas las variables bioquímicas y hematológicas utilizando modelos de regresión múltiple con medidas repetidas y técnicas de regularización mediante procedimientos de machine learning.

Resultados finales y recomendaciones prácticas

CARACTERIZACIÓN DE LA EFICIENCIA Y LAS EMISIONES DE DIFERENTES TIPO GENÉTICOS

Los 896 animales pertenecientes a diferentes cruces de las empresas catalanas de selección porcina monitorizados bajo un ambiente controlado durante el período de crecimiento y engorde mostraron bastante diversidad entre tipos genéticos y pautas alimentarias en cuanto al rendimiento/potencial productivo, la eficiencia alimentaria y la digestibilidad del alimento, el consumo de agua, las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y de amoníaco, y las excreciones de nitrógeno y fósforo. En la **Tabla 2** se muestran los rangos de variabilidad obtenidos en el conjunto del grupo operativo por algunas de estas variables.

Tabla 2. Rangos de variación de las medias de los diferentes grupos experimentales por los parámetros productivos, la digestibilidad del alimento, las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y amoníaco, y las excreciones de nitrógeno y fósforo expresado por kg de purín.

Parámetros Productivos	Rango
Crecimiento diario (g/día)	0,83 – 1,14
Consumo diario de pienso (kg/día)	1,82 – 2,31
Índice de conversión (kg pienso / kg crec)	1,93 – 2,66
Edad al Final del engorde (días)	160 – 177
Peso al final del engorde (kg)	106 - 124
Grasa dorsal al final del engorde (mm)	8,15 – 15,93

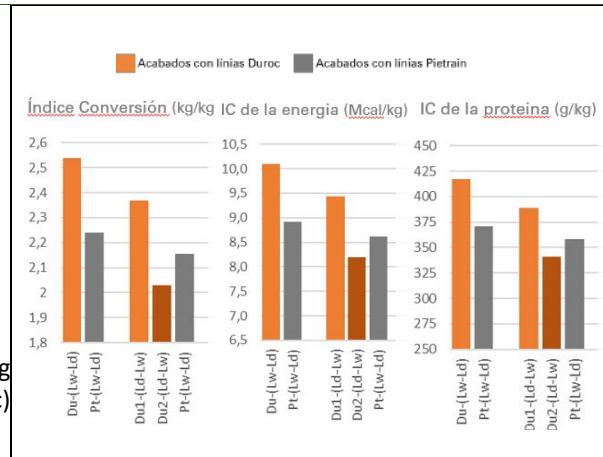
Emisiones de GEI y amoníaco	Rango
Conc. Metano - CH ₄ (mg/m ³)	1,9 – 15,3
Conc. Óxido nitroso - N ₂ O (mg/m ³)	1,17 – 1,81
Conc. Dióxido de carbono - CO ₂ (mg/m ³)	414 – 1244
Conc. Amoníaco - NH ₃ (mg/m ³)	1,9 – 59,0

Digestibilidad	Rango
Dig. Materia seca (%)	78,62 – 91,87
Dig. Proteína bruta (%)	76,11 – 94,32
Dig. Energía bruta (%)	77,69 – 92,29
Dig. Calcio (%)	16,54 – 65,52
Dig. Fósforo (%)	37,36 – 72,97
Dig. Cenizas (%)	29,54 – 70,43
Dig. Materia Orgánica (%)	80,16 – 93,10

Excreciones de N i P (purín)	Rango
Nitrógeno Total (g/kg)	3,25 – 8,21
Nitrógeno Amoniacal (g/kg)	1,51 – 5,45
Fósforo total (g/kg)	0,84 – 2,23

Por lo general, los animales de líneas genéticas más magras (normalmente los cruces terminados con Pietrain) tienden a ser más eficientes en la conversión del alimento que los animales con mayor depósito de grasa (en general cruces terminados con Duroc), si bien hubo alguna excepción, poniendo de manifiesto que la selección de las líneas parentales y la dieta son principales determinantes del potencial productivo y de eficiencia más allá del origen racial.

Figura 2. Índice de conversión (IC) del pienso (kg/kg crec.), la energía (Mcal/kg crec.) y la proteína (g/kg crec.) en diferentes tipos genético de dos orígenes.



El consumo de agua fue de 9 L por animal y día, fluctuando entre 3,4 – 19,3 L/animal y día. La generación media de purín fue 2,85 L por animal y día, con valores máximos de 5,70 L por animal y día en los lotes donde hubo un consumo excesivo de agua, normalmente por un mal uso (juegos con el bebedero, etc). El purín generado equivale al 31% del agua consumida (9% min, 54% máx). El contenido de materia seca (ST) del purín generado al final del engorde está comprendido entre el 4,9 y 13,2%, y la concentración de nitrógeno total sobre la materia seca varió en gran medida con la sequedad del purín (N total entre 4,1 y 12,4% de la materia seca; entre 3,25 y 8,21 g/kg de purín). El contenido de fósforo en los purines fue aumentando a lo largo de los días de almacenamiento en la fundición, situándose en valores que fluctuaban entre el 0,7 y 6,0 % de la materia seca, entre 0,84 y 2,23 gr de P por kg de purín.

En cuanto a las emisiones de GEI, la descomposición de la materia orgánica por la actividad microbiana causó emisiones de metano (CH₄) entre 5 y 20 mg por m³ de aire al final del ensayo, y de óxido nitroso (N₂O) entre 0,5 y 1,16 mg por m³ de aire de forma constante. La concentración de amoníaco aumentó lentamente los primeros días en control, manteniéndose por lo general por debajo de 20 mg de NH₃ por m³ de aire, aunque algunos de los grupos, principalmente los alimentados con piensos más proteicos y con peor eficiencia, dieron lugar a valores superiores a 75 mg NH₃/m³.

Comparando tipos genéticos se observó que los grupos de animales con mayor depósito de grasa tendían a consumir más agua y mostraban más emisiones de amoníaco que los tipos genéticos más magros (**Figura 3**).

Las menores concentraciones de amoníaco se obtuvieron en el grupo de animales alimentados con piensos alternativos con baja concentración de proteína y minerales (ver Figura 5B).

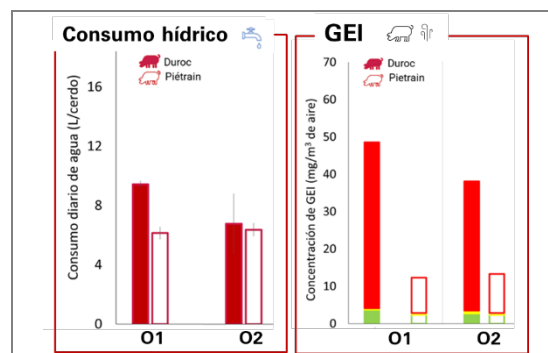


Figura 3. Consumo experimental de agua y emisiones de GEI en dos tipos de cruces acabados con Duroc y con Pietrain en L1.

HUELLA DE CARBONO Y HUELLA HÍDRICA

La **huella de carbono** en los distintos tipos genéticos y sistemas evaluados fluctuó entre 3,92 y 5,44 kg de CO₂equivalente por kg de peso vivo (PV), y la **huella hídrica** entre 7,47 y 14,63 m³ equivalente por kg de PV. En los cruces diferenciados entre machos y hembras, los machos presentan una huella de carbono e hídrica menor. Los grupos experimentales con menor huella de carbono correspondían a los grupos con dietas menos

proteicas y con menos contenido mineral, y se observa una tendencia a tener menos huella de carbono en aquellos grupos que mostraban mayor eficiencia en la utilización del alimento.

En la **Figura 4** se muestra la contribución de los distintos procesos a la huella de carbono y la huella hídrica. Los procesos con mayor peso en la huella de carbono son el consumo de piensos que contribuye en un 37,8%, seguido de las emisiones derivadas de la gestión de las deyecciones con un 36,2% y la producción de los lechones para engorde (animales de entrada a la explotación) con un 22,6%.

En cuanto a la huella hídrica, el proceso que más contribuye es básicamente la alimentación animal, que representa el 91,2%.

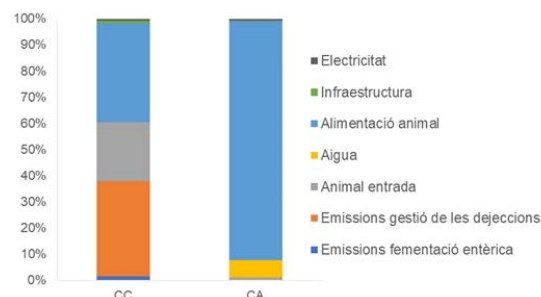


Figura 4. Contribución (%) de los diferentes procesos a las categorías de impacto ambiental CC (cambio climático o huella de carbono) y CA (consumo de agua o huella hídrica).

Las emisiones estimadas en el estudio del análisis de ciclo de vida han presentado rangos de variación de 0,0041-0,0093 kg de NH₃/kg PV, 0,00013-0,00023 kg N₂O/kg PV, y 0,039 -0,063 kg CH₄/kg PV, mientras que las excreciones de nitrógeno fluctuaron entre 0,009 y 0,022 kg de nitrógeno urinario/kg PV y entre 0,016 y 0,029 kg nitrógeno total/kg PV. Estos datos fueron comparados con los datos experimentales de emisiones. En una comparación preliminar se observa que los parámetros de emisión (NH₃, CH₄ y N₂O) calculados por ACV y los experimentales coinciden en su tendencia, pero existen desviaciones debido a las condiciones experimentales.

ESTRATEGIAS ALIMENTARIAS MITIGADORAS DE LA HUELLA AMBIENTAL

Los animales alimentados con una “dieta mitigación” que contenía componentes vegetales alternativos y un 30% menos de proteína bruta mostraron mejor digestibilidad del alimento, una mejor eficiencia en la conversión de la energía y sobre todo de la proteína, y una reducción hasta el 50% en los niveles de amoníaco, manteniendo un crecimiento similar que los animales con una dieta rica en proteína (dieta HP). Los principales resultados se muestran en la **Figura 5A**.

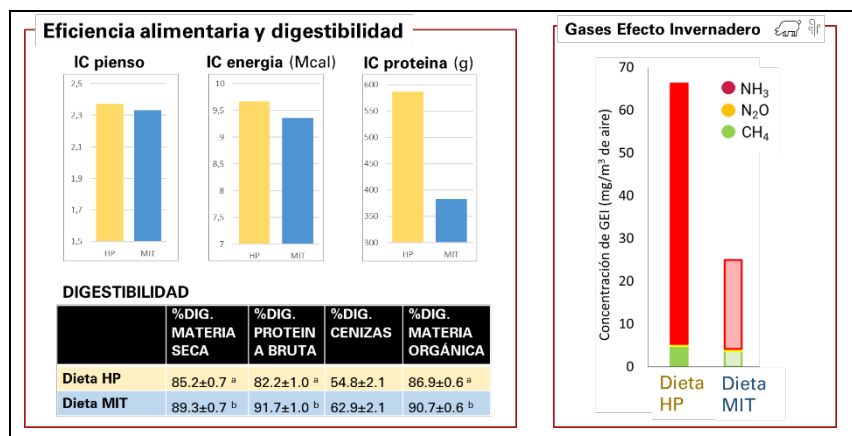


Figura 5A. Eficiencia alimentaria, digestibilidad y emisiones con una dieta con componentes vegetales alternativos y baja proteína (dieta MIT) vs una dieta alta en proteína (dieta HP) en el experimento L3-O3.

IC: Índice de conversión del pienso (kg/kg crec.), la energía (Mcal/kg crec.) y la proteína (g prot/kg crec)

GEI: Concentraciones de amoníaco (NH₃), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

De todos los grupos controlados en el proyecto, las menores excreciones de nitrógeno en el purín y las menores emisiones de amoníaco se obtuvieron en el ensayo L4-O5, usando dos dietas alternativas con reducido contenido de proteína (en torno al 14%) y de minerales (Figura 5B).

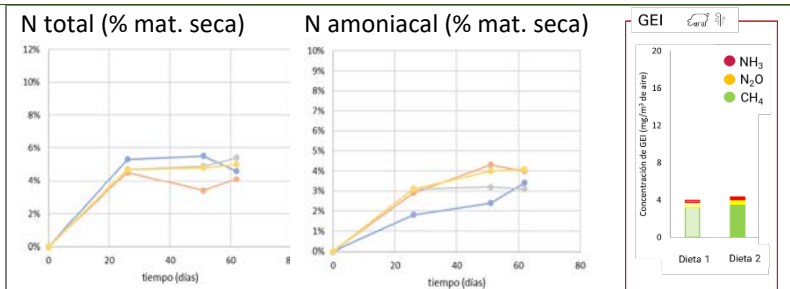


Figura 5B. Evolución de las concentraciones de nitrógeno total y amoniacal en el purín a lo largo de los días de control, y concentración de gases efecto invernadero (GEI), en el ensayo L4-O5.

La **adición de ácido benzoico** a la dieta mejoró la eficiencia alimentaria debido a una mayor tasa de crecimiento a menor ingesta (Figura 6). Los cerdos criados con la dieta enriquecida con ácidos benzoico tenían también menor depósito de grasa. Se demuestra una mejora de la huella de carbono y de nitrógeno a través de la mejor conversión de la energía y la proteína del alimento, y se espera además que la adición de los ácidos orgánicos contribuya a reducir aún más las emisiones de nitrógeno a partir de la acidificación del purín.

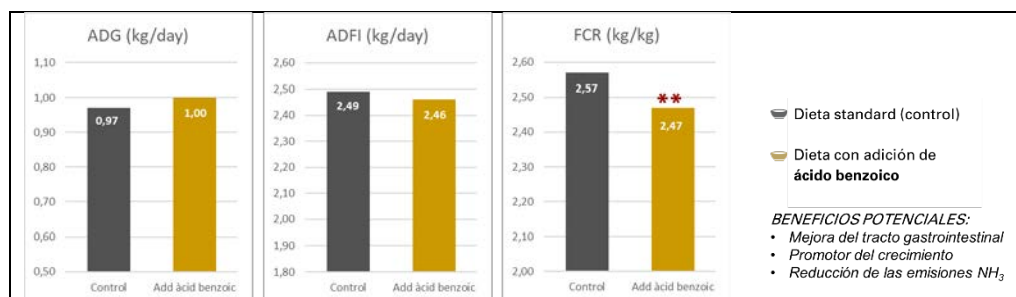
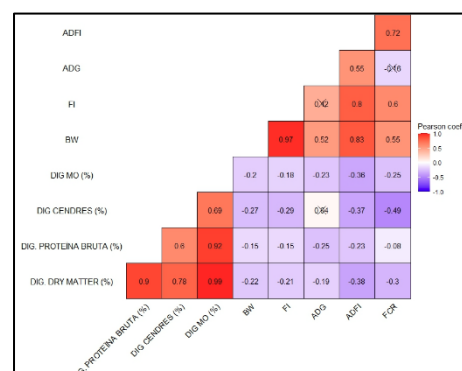


Figura 6. Crecimiento diario (ADG), consumo diario de pienso (ADFI) e índice de conversión (FCR) de los animales con dieta enriquecida con ácido benzoico vs el grupo de animales control. Todos los animales eran de un mismo tipo genético: machos F1 (LdxLw).

ASOCIACIÓN ENTRE PRODUCCIÓN, EFICIENCIA, DIGESTIBILIDAD y HUELLA AMBIENTAL

Según las correlaciones obtenidas en los animales Optiporc (Figura 7) la variación en el índice de conversión estuvo más asociada a la variación en el consumo de alimento que a la variación en el crecimiento. Se observa una correlación negativa de estas variables con la digestibilidad del alimento. Los animales con consumos más elevados, a pesar de asociarse con un cierto incremento del crecimiento, son por lo general animales con un peor índice de conversión y que tienen menor digestibilidad del alimento.

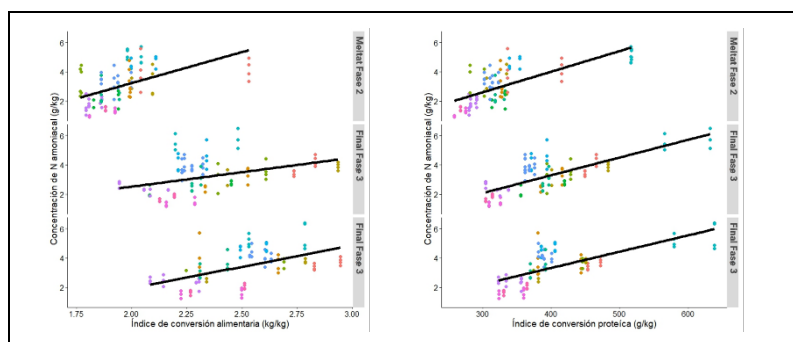
Figura 7. Correlaciones residuales entre el índice de conversión del alimento (FCR), el consumo alimenticio diario (ADFI), el crecimiento diario (ADG), el peso de los animales (BW) y la digestibilidad de la proteína, las cenizas y la materia orgánica.



También se observó una asociación entre la eficiencia en la utilización del alimento y las excreciones de nitrógeno (Figura 8). Las excreciones nitrogenadas y las emisiones de amoníaco tenían una regresión positiva sobre el índice de conversión de los animales de los diferentes grupos y sobre todo sobre el índice de conversión de la proteína (Figura 8), indicando que los sistemas/animales con mejor eficiencia alimentaria

tienen menos emisiones de N y amoníaco. Esta relación no se observó sin embargo con la concentración de los gases efecto invernadero CH_4 y N_2O , que más bien estaban positivamente asociadas con el crecimiento.

Figura 8. Regresión de los niveles de excreción de nitrógeno amoniacal en los purines sobre el índice de conversión del alimento (kg pienso / kg crecimiento) y el índice de conversión de la proteína (g proteína / kg crecimiento).



En definitiva, los animales más eficientes mantienen el crecimiento con menor consumo de alimento y agua, presentan mejor digestibilidad del alimento y tienen unos menores niveles de excreción de nitrógeno y menos emisiones de amoníaco. Estos resultados confirman la eficiencia alimentaria como el principal *proxy* de la huella ambiental derivada del engorde porcino con distintos tipos genéticos y pautas alimentarias, y avalan la importancia de considerar la eficiencia alimentaria como un objetivo de selección clave en las líneas genéticas porcinas para mejorar la huella de carbono y el balance económico de la producción porcina.

BIOMARCADORES DE LA EFICIENCIA ALIMENTARIA Y LA HUELLA AMBIENTAL

Entre los 32 parámetros bioquímicos y hematológicos analizados, la concentración de urea sérica fue el más correlacionado con las variables productivas y de eficiencia: los animales con mayores niveles de ingesta y peor conversión del alimento (*i.e.* menos eficientes) tenían concentraciones más elevadas de urea sérica. En la **Figura 9** se presenta la regresión (general y dentro de grupo experimental) del índice de conversión del alimento a lo largo de todo el engorde sobre los niveles de urea sérica de los animales. A pesar de las diferencias entre grupos (tipo genéticos*dieta), se observa que en todos los casos existe una asociación positiva: con distintas genéticas y pautas alimentarias los animales más eficientes (menor índice de conversión) tienen menores concentraciones de urea en suero. Se concluye que los metabolitos derivados de la utilización de proteínas como es el caso de la urea pueden explicar y predecir el rendimiento global de los cerdos mejor que los metabolitos de la asimilación de proteínas como por ejemplo la concentración total de proteínas o la concentración de albúmina.

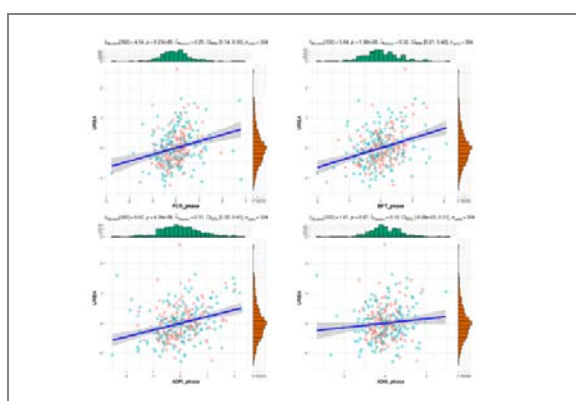


Figura 9a. Gráficos de dispersión de los residuos centrados y estandarizados de FCR, BFT, ADFI y ADG con las concentraciones de urea sérica en la fase de crecimiento (rojo) y de acabado (verde).

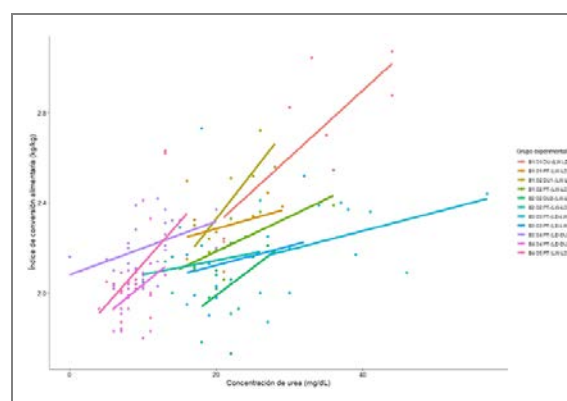


Figura 9b. Regresión dentro de grupo experimental del índice de conversión del alimento de todo el período de control sobre las concentraciones de urea a los 125 días de edad.

Los modelos predictivos considerando conjuntamente todos los parámetros sanguíneos incorporaron, una vez realizada la regularización de la regresión múltiple, nos indican las principales variables bioquímicas y

hematológicas con potencial predictivo del rendimiento productivo y la eficiencia de los animales (**Figura 10**). La concentración sérica de urea, la relación albúmina-globulina, la concentración de creatinina, el colesterol, la bilirrubina y la cantidad de fosfatasa alcalina fueron en conjunto indicadores potenciales de la eficiencia de la producción durante el engorde porcino. Tras procedimientos de validación cruzada se comprobó que la proporción de varianza explicada por estos modelos era no obstante limitada. El consumo de alimento fue la variable productiva que mejor se podía predecir a partir de los parámetros sanguíneos, que explicaban hasta un 25% de la varianza del carácter. En el caso del índice de conversión, el conjunto de variables bioquímicas y hematológicas explicaban entre el 9% y el 17% de la varianza.

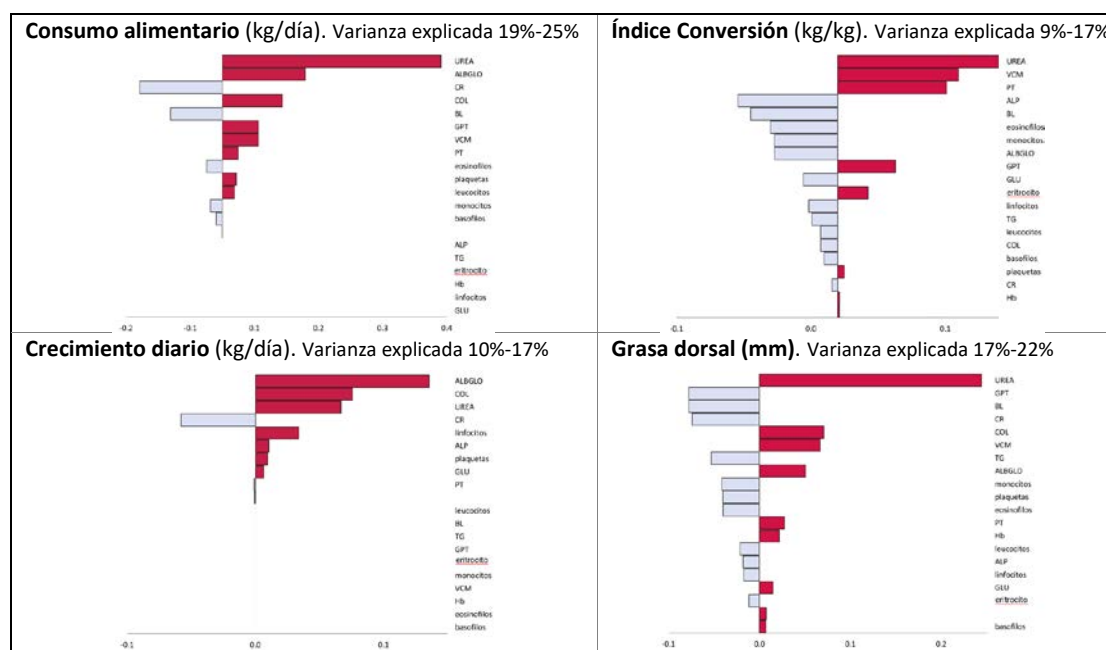


Figura 10. Coeficientes de regresión parcial y peso relativo de cada parámetro sanguíneo en el mejor modelo lineal creado mediante técnicas de regularización para predecir el índice de conversión de alimento, la ingesta diaria y el crecimiento (ganancia media diaria) y el depósito de grasa dorsal.

RECOMENDACIONES

- Las diferencias observadas entre genéticas con relación a la eficiencia alimentaria, el potencial productivo, la digestibilidad, el potencial de emisiones y el impacto ambiental deben ser tenidas en cuenta a la hora de implementar las MTDs más adecuadas para mitigar el impacto ambiental de cada tipo genético/sistema.
- La alimentación de los animales es el proceso que más contribuye a la huella de carbono y sobre todo a la huella hídrica, por lo que es de gran importancia ajustar al máximo las dietas a las necesidades fisiológicas y el potencial productivo de cada tipo genético y buscar ingredientes alternativos con menor impacto ambiental.
- Buscar fórmulas alternativas de pienso que cubran las necesidades de los animales con una menor cantidad de proteína tiene una incidencia directa en la huella ambiental del engorde porcino, comportando menores emisiones nitrogenadas y concentraciones de amoníaco que además empeoran el bienestar de los animales.
- Suplementar la dieta con ácido benzoico tiene efectos beneficiosos sobre el trato gastrointestinal de los cerdos de engorde que se traducen en mayor crecimiento y mejora la eficiencia alimentaria, además de contribuir a reducir las emisiones de amoníaco.
- Las mejoras en la eficiencia alimentaria y el uso de la proteína contribuyen también a reducir la concentración total de nitrógeno liberado, aunque es necesario desarrollar estrategias para fijar este nitrógeno amoniacal líquido y evitar las emisiones de gases efecto invernadero, sobre todo N_2O .

- La concentración sérica de urea puede ser, dentro de un mismo tipo genético y pauta alimentaria, un buen indicador del ajuste de la dieta a las necesidades y de la eficiencia alimenticia de cada animal.
- La eficiencia alimentaria es un *proxy* principal de la huella ambiental durante el engorde, y debe ser un objetivo de selección en las líneas genéticas porcinas, pues incide tanto en la mejora de la sostenibilidad medioambiental como en el balance económico de la producción porcina.

Conclusiones

El proyecto OPTIPORC ha permitido obtener valores de referencia en relación con la eficiencia en la utilización de los recursos, la huella ambiental y la huella hídrica de diferentes genéticas de las empresas catalanas de selección porcina. Las diferencias observadas deben tenerse en cuenta a la hora de implementar las MTDs más adecuadas para mitigar el impacto ambiental de cada sistema/tipo genético.

Los animales más eficientes mantienen el crecimiento con menor consumo de alimento y agua, presentan mejor digestibilidad del alimento, tienen unos menores niveles de excreción de nitrógeno y menos emisiones de amoníaco. Se pone por tanto de manifiesto que la eficiencia alimentaria es un buen indicador de la huella ambiental durante el engorde porcino, además de tener una incidencia directa en el balance económico de la producción, y debe ser un objetivo de mejora en las líneas porcinas.

La alimentación de los animales es el proceso que más contribuye a la huella de carbono y sobre todo a la huella hídrica. La utilización de dietas menos proteicas y con componentes vegetales alternativos tiene un efecto mitigador de la huella ambiental, especialmente de las emisiones de nitrógeno. La adición de ácido benzoico a la dieta determina una mejor eficiencia alimentaria y contribuye a reducir las emisiones de amoníaco. La concentración sérica de urea puede ser un potencial biomarcador del ajuste de la proteína y de la eficiencia alimenticia de los animales dentro de una misma población y pauta alimentaria.

El conjunto de resultados obtenidos en el proyecto permiten desarrollar pautas y estrategias para mitigar la huella de carbono y mejorar el balance económico de la producción con diferentes genéticas porcinas.

Líder del Grupo Operativo

ENTIDAD: SELECCIÓN BATALLÉ SA

Coordinador del Grupo Operativo

ENTIDAD: IRTA

Otros miembros del Grupo Operativo (perceptores de ayuda)

ENTIDAD: BARO GERMANS SA

ENTIDAD: GRUP GEPORK SA

ENTIDAD: PINSOS SANT ANTONI SA

ENTIDAD: UPB GENETIC WORLD SL

Otros miembros del Grupo Operativo (no perceptores de ayuda)

ENTIDAD: ASSOCIACIÓ CATALANA DE CRIADORS DE BESTIAR PORCÍ SELECTE

Ámbito/s territorial/s de aplicación

PROVINCIA/S	COMARCA/S
Barcelona, Girona, Lleida	Osona, Bages, Vallès Oriental, Selva, Baix Empordà, Noguera

Difusión del proyecto (publicaciones, jornadas, multimedia...)• Notas de Prensa en los medios especializados y generalistas:

1. “La Asociación Catalana de Criadores de Ganado Porcino Selecto y el IRTA ponen en marcha un proyecto para mejorar la sostenibilidad medioambiental y económica de la producción porcina”. NdP en la que se informó sobre el proyecto puesto en marcha y sus objetivos. La noticia se difundió en numerosos medios generalistas y especializados, así como en webs de asociaciones y productores. 20 de octubre de 2022.

2. “Proyecto OPTIPORC: herramientas y conocimiento para mejorar la sostenibilidad ambiental y económica de la producción porcina”. NdP en el que se informa sobre los principales resultados y recomendaciones derivados del proyecto OPTIPORC. La noticia se difundirá en medios generalistas y especializados, así como webs de asociaciones y productores. Prevista para el 8 de octubre de 2024.

• Presentaciones en Congresos:

Optimization of resource use and reduction of environmental impact in different pig genetics. M. Andón, B. Fernández, D. Torrallardona, J.P. Sánchez, L. Tey, M. Piñero, A. Arrazola, M. Ruiz, M. Nuñez, R. Quintanilla. Presentat at 14th International Conference on Life Cycle Assessment of Food 2024 (LCA Food 2024) “Healthy food systems for a healthy planet”. 8-11 September 2024, Barcelona, Spain

• Jornadas:

“Optimización del uso de los recursos y reducción del impacto ambiental en diferentes genéticas porcinas”. Jornada celebrada en Torre Marimón el 26 de septiembre de 2024. En la Jornada, incluida en el Plan de Transferencia Tecnológica de la Generalitat, se expusieron y debatieron los resultados de la innovación obtenidos en el Grupo Operativo OPTIPORC. La jornada contó con la asistencia de criadores, productores y profesionales del sector porcino, permitiendo transferir al sector de la producción y selección porcina herramientas y conocimiento para que puedan orientar las estrategias para mejorar su sostenibilidad ambiental y económica. El programa y contenidos se pueden encontrar en: <https://transferencia.irta.cat/activitats/optimitzacio-de-lus-dels-recursos-i-reduccio-de-limpacte-ambiental-en-diferents-genetiques-porcines/>

• Publicaciones (cuatro publicaciones actualmente en desarrollo):

- Life Cycle Assessment of pig production with different genetic lines.
- Physiological proxies of feed efficiency in pigs: exploring the predictive value of blood biochemical and haematological parameters.
- Production efficiency and environmental footprint, associated issues.
- Feeding strategies to reduce the pig production pollutant emissions.

Página web del proyecto

La información sobre el proyecto se ha publicado en el portal del IRTA (www.irta.cat) y en las páginas web de las empresas integrantes del Grupo Operativo: <https://www.batalle.com/>, <https://www.gepork.es/> i <https://upbgw.wordpress.com/>

Otra información del proyecto

DATOS DEL PROYECTO	PRESUPUESTO TOTAL
Fecha de inicio: Julio 2021	Presupuesto total: 246.452,54 €
Fecha final: Septiembre 2024	Financiamiento DACC: 113.972,67 €
Estado actual: Finalizada	Financiamiento UE: 85.979,39 €
	Financiamiento propio: 46.500,48 €

Con el financiamiento de:

Proyecto financiado a través de la Operación 16.01.01 (Cooperación para la innovación) a través del Programa de desarrollo rural de Catalunya 2014-2020.

Orden ARP/113/2021, de 20 de mayo, por la que se aprueban las bases reguladoras de las ayudas a la cooperación para la innovación a través del fomento de la creación de grupos operativos de la Asociación Europea para la Innovación en materia de productividad y sostenibilidad agrícolas y la realización de proyectos piloto innovadores por parte de estos grupos, y Resolución ARP/1660/2021, de 27 de mayo, por la que se convoca la mencionada ayuda.



Generalitat de Catalunya
**Departament d'Acció Climàtica,
Alimentació i Agenda Rural**



**Fons Europeu Agrícola
de Desenvolupament Rural:**
Europa inverteix en les zones rurals