

El uso de la unidad móvil de tomografía computarizada para mejorar la producción animal

Para implementar mejoras en la producción, ya sea a nivel de genética, nutrición o manejo, es necesario conocer la composición corporal de los animales de la manera más precisa posible, ya sea al final del engorde o haciendo un seguimiento a lo largo del crecimiento del animal. Para ello la tomografía computarizada (TC) es una herramienta de gran utilidad.

Maria Font i Furnols, Albert Brun y Marina Gispert. IRTA-Calidad y Tecnología de los Alimentos, 17121 Monells, Girona.

La tomografía computarizada (TC) (**figura 1**) es una tecnología basada en rayos X. La fuente de rayos X gira 360° alrededor del cuerpo a evaluar emitiendo rayos X y, en el lado opuesto, hay unos detectores que los captan determinando su atenuación. La atenuación es más o menos importante según la densidad de los tejidos que atraviesan, o sea, a mayor densidad, mayor atenuación. A partir de todos los datos de atenuación obtenidos a lo largo de la rotación y mediante algoritmos de reconstrucción, se obtiene una imagen del interior del cuerpo del animal. Esta imagen, aunque la vemos en 2D, en realidad es 3D, ya que tiene un grosor (entre 1 y 10 mm) que varía según el protocolo de adquisición usado. Se pueden obtener imágenes a lo largo de todo el cuerpo del animal o en una zona anatómica específica. Si las imágenes son consecutivas se puede reconstruir en 3D el cuerpo del animal (**figura 2**).

Con la TC obtenemos imágenes en las que se pueden distinguir los diferentes



Figura 1. Evaluación de un cerdo (izquierda) y una ternera (derecha) con el equipo de tomografía computarizada.

tejidos del cuerpo de un animal siempre que tengan diferente densidad y, por tanto, diferente atenuación de los rayos X (determinada con unidades *Hounsfield-HU*). Por ello, permite distinguir la grasa, el músculo y el hueso. Debido a que las imágenes están compuestas por varios vóxeles (píxeles en 3D) y que cada uno tiene un volumen definido, la clasificación de cada vóxel en un tejido, normalmente usando técnicas de segmentación, permite cuantificar el volumen de cada uno de ellos (**figura 3a**). También se puede trabajar

con la distribución de vóxeles asociados a cada HU para desarrollar ecuaciones de predicción de la composición tisular de un cuerpo (**figura 3b**). Este volumen se puede determinar de todo el cuerpo del animal o de alguna zona concreta, seleccionando las imágenes de dicha zona.

Así pues, con la TC se puede determinar el volumen de cada uno de los tejidos que componen el cuerpo del animal y, aplicando una densidad, el volumen se puede convertir en peso. Asimismo, de las imágenes obtenidas se pueden tomar medidas lineales, áreas y perímetros, y, de una determinada región de interés, se puede determinar su densidad media (**figura 4**). Por ello, con la TC podemos determinar las características del cuerpo de animal vivo, de manera no destructiva y precisa. El TC, al ser no invasivo, se puede aplicar en los animales vivos en diferentes momentos de

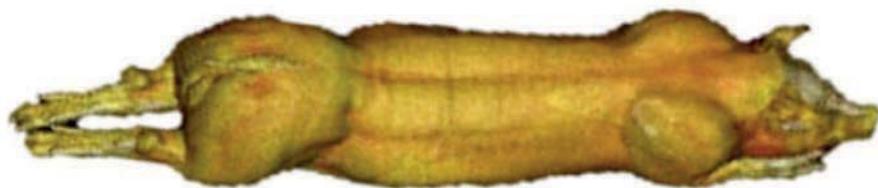


Figura 2. Reconstrucción en 3D de un cerdo a partir de las imágenes obtenidas con el equipo de tomografía computarizada.

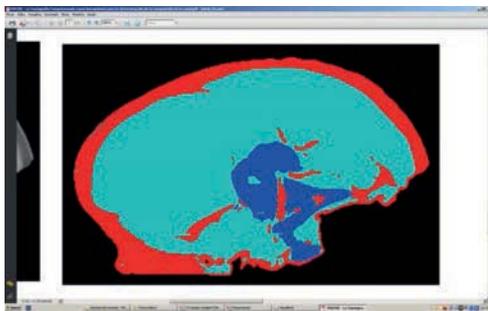
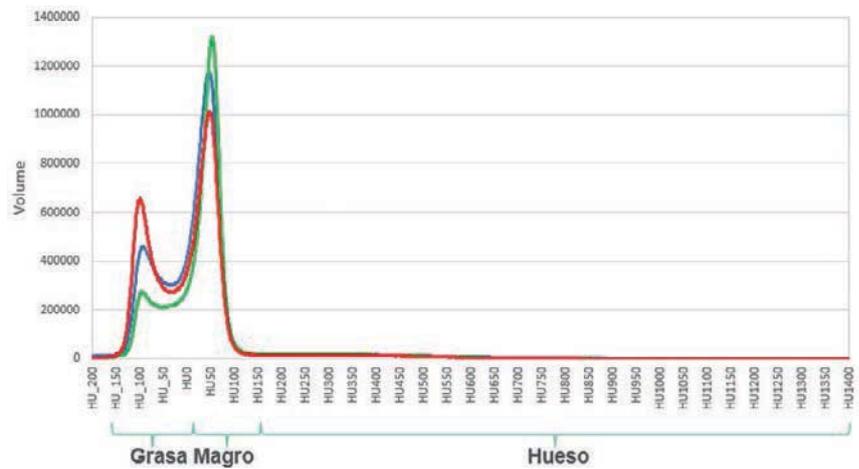


Figura 3. Segmentación en grasa, músculo y hueso de jamón de una canal de cerdo (izquierdo) y volumen asociado a cada valor Hounsfield de escanear tres cerdos, uno más grasoso (rojo), uno intermedio (azul) y uno más magro (verde) (derecha).



su crecimiento. Esto permite determinar la composición corporal en cada momento para poder ver la evolución con el tiempo y poder obtener curvas de crecimiento de los diferentes tejidos.

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA DIETA O LA ESTRATEGIA ALIMENTARIA SOBRE LA COMPOSICIÓN CORPORAL Y LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS HUESOS

La optimización de la dieta del animal es básica para obtener el producto final deseado, para una producción más eficiente y más sostenible, para no tener problemas de crecimiento derivados de una alimentación incorrecta y para temas relacionados con el bienestar animal, como tener animales con los huesos fuertes para evitar cojeras o problemas más importantes. Por ello la TC se puede usar para evaluar las características del animal, ya sea en un momento específico de su crecimiento, o bien para hacer un seguimiento de dicho crecimiento para ver si evoluciona de manera correcta.

La alimentación es la parte de la cría de los animales con mayores costes. Asimismo, la alimentación afecta considerablemente a la composición corporal, modificando la cantidad de grasa y magro depositados. Para intentar reducir costes de alimentación sin afectar al producto final o mejorándolo, se han estudiado estrategias alimentarias como puede ser la alimentación a voluntad durante todo el crecimiento, la alimentación

restringida o la combinación entre alimentación restringida en volumen o energía (ya sea en la fase de engorde o finalización) y la alimentación a voluntad. Font-i-Furnols *et al.* (2020) estudiaron el crecimiento de los diferentes tejidos del cuerpo de cerdos evaluándolos con el equipo de TC a diferentes momentos del crecimiento (30, 70, 100 y 120 kg). Los cerdos habían recibido diferentes estrategias alimentarias, (a) a voluntad todo el crecimiento (AL-AL), (b) a voluntad en la fase de engorde y restringido en volumen en la fase de finalización (AL-RV); i (c) restringido en volumen en la fase de engorde y a voluntad en la fase de finalización (RV-AL).

Los resultados mostraron como los cerdos durante la fase RV depositaban menos grasa que en la fase AL. Asimismo, se pudo ver que la estrategia RV-AL conseguía tener al final animales con un contenido en grasa similar a los AL-AL, debido al efecto compensatorio. También en cerdos, Lambe *et al.* (2013) estudiaron el efecto de la composición corporal de cerdos de una dieta baja en proteína y alta o baja en aminoácido esenciales mediante TC. Los resultados mostraron que una dieta insuficiente en aminoácidos esenciales producía cerdos más grasos, aunque no afectó a la distribución de la grasa total en el cuerpo del animal.

En terneros de leche, la TC se usó para determinar el efecto de la suplementación con lisina, metionina y treonina sobre la composición de la canal (Terré *et al.*, 2018),

previamente puesta a punto para este propósito alimentando terneros con leche de diferente composición (Font-i-Furnols *et al.*, 2021 a). En la producción de patos de foie, se ha estudiado el desarrollo morfológico del hígado de los animales, estudiando los cambios producidos en estas características durante la fase de alimentación forzada (Locsmándi *et al.*, 2005). El efecto de la dieta sobre el tejido óseo también se ha estudiado con la TC y se desarrollará en una sección específica más adelante.

EFECTO DE LA GENÉTICA SOBRE LA COMPOSICIÓN CORPORAL

Para la mejora genética es determinante conocer la composición corporal de los animales, de manera que se puedan seleccionar como reproductores los que presentan las características más adecuadas. Algunas características importantes son el contenido en grasa y magro, espesores de grasa y área del lomo, entre otras.

La TC es importante en mejora genética porque, al ser no destructiva y muy precisa, permite evaluar directamente el mismo reproductor, obteniendo medidas directas en lugar de medidas indirectas a través de la evaluación de los hermanos y medio hermanos. La aplicación de la tomografía permite acelerar el progreso genético en un 30% para el contenido en magro (Gjerlaug-Enger *et al.*, 2012, Kongsro, 2014). Por ejemplo, la empresa Topigs Norvin fue la primera en usar la TC para la mejora genética de porcino, y

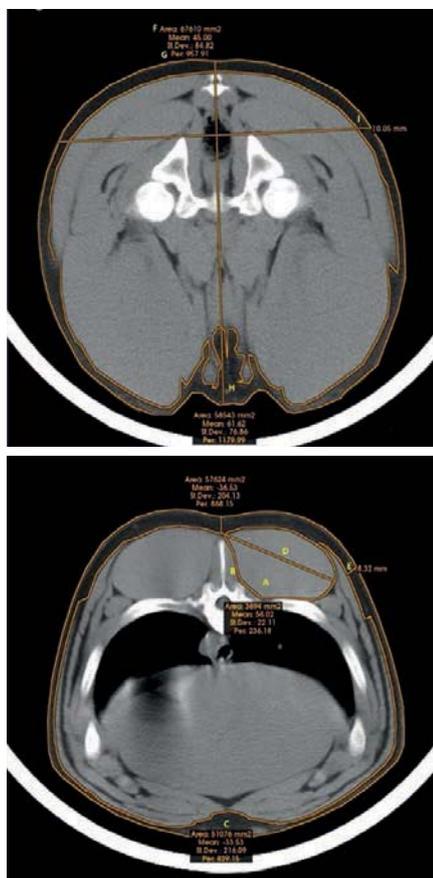


Figura 4. Ejemplo de medidas lineales y áreas realizada en un tomograma de la zona del jamón (arriba) y del lomo (abajo) de un cerdo vivo.

escanea alrededor de 3500 cerdos machos al año para seleccionar los mejores reproductores (Kongsro, 2014). En ovino, en Escocia, los programas de mejora genética usaron y continúan usando la TC y los ultrasonidos para incrementar el contenido en magro sin incrementar el engrasamiento (Bünger *et al.*, 2014). Asimismo, la TC también se ha usado en ovino para realizar selección genética (Karamichou *et al.*, 2007) y determinar el efecto de la selección genética sobre la composición corporal y muscularidad de las ovejas, permitiendo evaluar de nuevo los programas de cría actuales con referencia a los futuros motores económicos (Lambe *et al.*, 2008).

Además de la mejora genética, estudiar el efecto de la genética sobre las características corporales de los animales es

importante para escoger la mejor genética según el tipo de producto deseado (Carabús *et al.*, 2014). Asimismo, entender el desarrollo de los diferentes depósitos de tejido adiposo según la genética es importante para poder entender la variación de este desarrollo según la genética y de esta manera poder determinar el potencial para producir cambios genéticos. En este sentido, Kolstad (2001) encontró diferencias en la deposición y distribución de la grasa según el genotipo estudiado (Landrace, Duroc y un cruce entre el Landrace noruego y la línea LP seleccionada para tener más grasa subcutánea y menor ratio de crecimiento). El cruce estudiado presentaba mayor contenido en grasa subcutánea mientras que el Duroc presentaba mayor grasa intermuscular e intramuscular a pesos elevados.

Las diferencias en composición según la genética y el sexo se han estudiado con TC en pavo (Andrássy-Baka *et al.*, 2003). Asimismo, Dewez *et al.* (2018) evaluaron el efecto de la selección genética sobre la composición corporal, determinando el volumen de grasa, músculo y hueso de animales a diferentes edades. Concluyeron que la TC es una herramienta precisa para usar en la mejora genética de pavos y poder seleccionar los animales más adecuados para la reproducción y el crecimiento. Grandhaye *et al.* (2019) llegaron a la misma conclusión estudiando la composición corporal de broilers con TC.

En conejos se usó la TC para seleccionar los conejos con mayor volumen de los músculos del cuarto trasero. Los resultados mostraron que, además de aumentar dichos músculos y, por tanto conseguir un aumento en la producción de carne, se observó un efecto colateral que consistió en la mejora del ratio de conversión de los alimentos y, por tanto, de los parámetros productivos (Szendrő *et al.*, 2012). La TC también se ha aplicado en pescado y crustáceos de piscifactoría, ya sea para diferenciar la composición del filete de cuatro especies de carpas (Romvári *et al.*, 2002) o para caracterizar al centollo (Castejón *et al.*, 2019).

EFFECTO DEL SEXO SOBRE LA COMPOSICIÓN CORPORAL

El sexo del animal tiene un efecto muy importante sobre su composición corporal. Esta composición evaluada con TC en diferentes momentos del crecimiento permite ver la evolución de los diferentes tejidos con el crecimiento del animal. En este sentido, en porcino, los animales machos enteros son más magros que las hembras y éstas más magras que los machos castrados. Esta diferencia es más importante al aumentar el peso de los animales (Giles *et al.*, 2009). Si estudiamos los machos inmunocastrados, se puede ver como estos engrasan igual que los enteros hasta la segunda vacuna, en que empiezan a engrasar más rápidamente y alcanzan a las hembras (Carabús *et al.*, 2017) aunque probablemente este engrasamiento podría ser incluso mayor modificando las pautas de inmunocastración e aplicando una inmunocastración más temprana (Font-i-Furnols *et al.*, 2021b). Diferencias entre sexos en el contenido en proteína, grasa, humedad, cenizas, Ca y P de sus canales obtenidas a partir del escaneo de cerdos vivos con el TC se han determinado en el estudio de Zomeño *et al.*, (2016).

MINERALIZACIÓN DE LOS HUESOS Y OSTEOCONDROSIS

Un importante problema que pueden presentar las hembras reproductoras son las cojeras que afectan a la viabilidad de estos animales para la producción. Las cojeras también son un problema que tiene relación con el bienestar animal, por lo que es importante asegurar que los huesos son suficientemente fuertes y los cartílagos bien desarrollados para evitar este problema.

Por lo que respecta al efecto de la dieta sobre el tejido óseo, Tous *et al.* (2021) evaluaron la respuesta ósea a la adición de diferentes cantidades de fitasa en una dieta basal con niveles limitados de Ca i P. En este trabajo los huesos se evaluaron con la TC y se obtuvo su densidad. Se pudo ver como el incremento de las fitasas en la dieta con bajo Ca i P permitió optimizar la



Figura 5. Unidad móvil de tomografía computarizada del IRTA.

mineralización y densidad de los huesos de cerdos con dietas limitantes en P. Anteriormente, Bertaud du Chazaud *et al.* (2015) también mostraron diferencias en la mineralización ósea determinada con TC según la dieta del animal tuviera más o menos P digestible. El efecto de la adición de minerales (Zn, Mn y Cu), metionina o la combinación de ambos sobre las características de los huesos fue estudiada por Fabà *et al.* (2019) mediante TC. Observaron que el volumen óseo de mayor densidad fue superior en animales en los que se adició minerales y metionina, por separado, en la dieta comparado con los que se alimentaron con una dieta control. En cambio, cuando se adicionaban los dos componentes, el volumen fue intermedio entre el de los cerdos alimentados con la dieta control y de los cerdos alimentados con dietas en que se adició minerales o metionina. Una de las principales causas de cojeras es la osteocondrosis que está relacionada con lesiones en los cartílagos. La osteocondrosis se ha estudiado en animales vivos mediante la TC en programas de mejora genética porcina (Aasmundstad *et al.*, 2013a, 2013b). En algunos peces, es habitual que se encuentren problemas en el esqueleto. Por ello, Gisbert *et al.* (2012) evaluaron el potencial de la TC para conocer las características del esqueleto de corvina, en comparación con los rayos X.

LA TECNOLOGÍA AL ALCANCE DE LA GANADERÍA

En algunas ocasiones mover los animales en el centro donde se encuentra el TC es difícil por temas de sanidad animal y bioseguridad. Por ello, disponer de un equipo móvil de TC tiene muchas ventajas respecto a un equipo fijo. En el IRTA se dispone de un equipo móvil de TC. Consiste en un tráiler que en el interior contiene un equipo de TC Philips Brilliance 16 (figura 5). El tráiler se puede desplazar a las granjas para la evaluación in situ de los animales, evitando así el movimiento de éstos. Es importante aplicar programas de limpieza y desinfección del equipo para asegurar la bioseguridad de la unidad móvil.

IMPLICACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

Todos los estudios comentados anteriormente se pueden realizar en un momento específico o durante el crecimiento del animal, permitiendo, en este caso, la obtención de curvas de crecimiento de los diferentes tejidos ya sea según el sexo, la alimentación o la genética (Kolstad *et al.*, 1996, Giles *et al.*, 2009, Zomeño *et al.*, 2016, Carabús *et al.*, 2017, Font-i-Furnols *et al.*, 2020). Lo más importante del uso de la TC en ganadería, ya sea para la mejora genética o para conocer el efecto de diferentes sistemas productivos o manejo de los animales, es que es una tecnología no destructiva y además es precisa. Estos dos aspectos son básicos y definen esta tecnología. Así pues, los resultados obtenidos y publicados en diferentes trabajos científicos, así como los usos de la tecnología principalmente por empresas de genética permiten concluir que es una tecnología con un gran potencial en ganadería. Además, la disponibilidad de una unidad móvil permite ampliar los usos de la tecnología y poderla aplicar en cualquier lugar y en cualquier momento. Aunque el artículo se centra en el uso de la TC en producción animal, dicha tecnología también puede usarse para evaluar la composición y las características de las canales y las piezas a nivel de matadero o sala de despiece y para estudiar y optimizar el procesado de alimentos como, por ejemplo, el jamón curado. ■

**Válvulas con sistema
"BOLA DE MORDIDA"
40% menos desperdicio
de agua**



**Ahora con control
automático del flujo de agua**

AquaGlobe®
LIVESTOCK DRINKING SYSTEMS

www.aquaglobe.se • info@aquaglobe.se