

IMPACTO DEL AMBIENTE PRENATAL EN LA VIDA POSTNATAL DE LOS TERNEROS

Albina Sanz^{1*}, Isabel Casasús¹, Leire López de Armentia¹, Olaia Akesolo-Atutxa¹, Javier Ferrer¹, Guillermo Ripoll¹, Nieves Escalera-Moreno², Ester Molina², Beatriz Serrano², Javier Álvarez-Rodríguez², Daniel Villalba², Eva Monleón³, Agustí Noya¹

¹ Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA) de Aragón. Instituto Agroalimentario de Aragón – IA2 (CITA-Universidad de Zaragoza). Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza, España. *Autor para correspondencia: asanz@aragon.es

² Dpto. Ciencia Animal, Universidad de Lleida, Avda. Rovira Roure 191, 25198 Lleida, España.

³ Dpto. Anatomía e Histología Humanas. Universidad de Zaragoza. C/Domingo Miral s/n, 50009 Zaragoza, España.

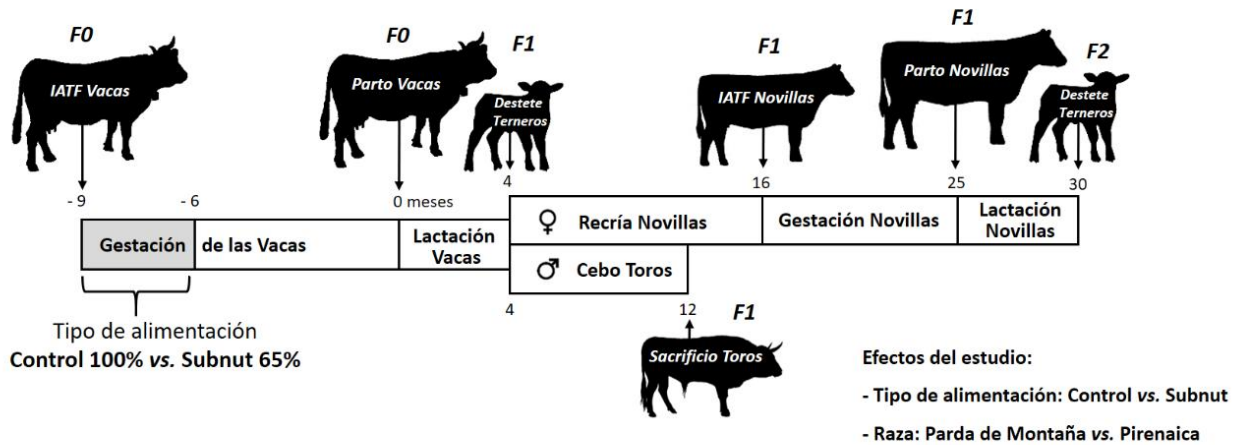
1. INTRODUCCIÓN

El sistema de producción en la vaca nodriza se desarrolla en condiciones cada vez más extensivas para reducir los costes de alimentación, por lo que es habitual que las vacas sufran periodos de subnutrición durante su ciclo de producción. El efecto que puede tener un periodo de subnutrición en la vaca nodriza dependerá de la fase del ciclo productivo en la que se encuentre. Los efectos negativos de una restricción alimentaria en el último tercio de gestación y/o durante la lactación sobre los rendimientos de las vacas nodrizas han sido objeto de múltiples estudios, con el objetivo de mejorar su eficiencia productiva (Sanz et al., 2001; Sanz et al., 2004). En la última década, investigadores del CITA de Aragón y las Universidades de Lleida y Zaragoza nos hemos centrado en analizar los efectos que puede tener la **subnutrición durante la gestación temprana**, periodo en el que se producen procesos clave para el desarrollo embrionario o fetal, sobre los rendimientos del conjunto vaca-ternero. Ante un ambiente uterino adverso, el feto modificará su programación fetal mediante mecanismos epigenéticos para desarrollar un fenotipo “ahorrador” (Barker et al., 1989), adoptando nuevas estrategias fisiológicas para hacer frente a la escasez de nutrientes. Estas adaptaciones fisiológicas pueden provocar cambios irreversibles e incrementar el riesgo de desarrollar enfermedades metabólicas durante la vida postnatal del individuo y de las siguientes generaciones (Long et al., 2010). En esta ponencia se resumen los principales efectos de la subnutrición materna observados a corto, medio y largo plazo sobre el conjunto vaca-ternero en los ensayos realizados por este grupo de trabajo.

2. MATERIAL Y METODOS

Se realizó un amplio estudio, dividido en 4 fases, en función de la etapa fisiológica de los animales, desde el inicio de la gestación de las vacas nodrizas hasta el destete de sus nietos (Figura 1). La fase de GESTACIÓN se inició con la sincronización de celos e inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) de 115 vacas multíparas (F0) de las razas Parda de Montaña y Pirenaica que estaban criando a su ternero. Las vacas se distribuyeron en dos lotes en función del nivel de alimentación cubierto durante los primeros 82 días de gestación (100 vs. 65% necesidades de mantenimiento, gestación y lactación). A continuación, todas las vacas recibieron una dieta que cubrió el 100% de sus necesidades durante el resto de la gestación y de la siguiente lactación. En la fase de LACTACIÓN los terneros (F1) se alimentaron únicamente de leche materna (dos periodos diarios de 30 min de acceso a la madre), y se destetaron a los 120 días de edad. En la fase de RECRÍA, las terneras hembras (a partir de ahora, novillas) se alimentaron con 2 kg/animal/día de concentrado y heno de pradera y paja ad libitum. A los 16 meses de edad se sometieron a un tratamiento de sincronización de celos e IATF. Tras el parto, los terneros (F2, nietos de las vacas sometidas a los dos niveles de alimentación durante el primer tercio de gestación) se alimentaron exclusivamente de leche de sus respectivas madres, a las que tuvieron acceso ilimitado, y se destetaron a los 105 días de edad. En la fase de CEBO, los terneros F1 machos (a partir de ahora toros) se alimentaron con una dieta a base de concentrado y paja ad libitum durante un periodo de 8 meses, y se sacrificaron al año de vida. De forma muy breve, durante el estudio se registraron regularmente, entre otros, los pesos de los animales, la condición corporal de las vacas y novillas (CC, escala de 1 a 5), y se recogieron muestras periódicas de sangre para analizar la evolución de las concentraciones plasmáticas de diversos metabolitos y hormonas, así como la expresión de genes estimulados por el interferón tau (IFN- τ) como el OAS1 y MX1.

Figura 1. Diseño experimental del estudio de los efectos de la subnutrición durante el primer tercio de gestación de las vacas nodrizas (Proyecto INIA-RTA2013-059-C02) (IATF, inseminación artificial a tiempo fijo; Control, vacas alimentadas al 100% de sus necesidades durante el primer tercio de gestación; Subnut, vacas alimentadas al 65%).



3. RESULTADOS

3.1. Efectos sobre las vacas y sus terneros durante la fase de GESTACIÓN

Durante el periodo en el que se aplicó la subnutrición (primeros 82 días de gestación), las vacas subnutridas redujeron su peso vivo y su condición corporal (Noya et al., 2020). La subnutrición aplicada se vio reflejada en los perfiles metabólicos, endocrinos y hematológicos de estos animales (Noya et al., 2019a). En las vacas subnutridas se observó una mayor concentración de ácidos grasos no esterificados (AGNE) a causa de una mayor movilización de las reservas lipídicas, una menor concentración plasmática de IGF-1 y una disminución del recuento de granulocitos y plaquetas. Estos efectos fueron más severos en la raza Pirenaica que en la Parda de Montaña.

La restricción alimentaria no afectó a la tasa de fertilidad (77%) obtenida tras la subnutrición aplicada, que fue elevada dada la técnica utilizada (IATF), debido, entre otros, al protocolo de sincronización usado y a la óptima CC de las vacas en el momento de la IATF (2,8 sobre 5). La subnutrición temprana no afectó al reconocimiento y mantenimiento de la gestación (Serrano-Pérez et al., 2020). La dieta no influyó en la expresión de genes estimulados por el IFN- τ los días 18 y 21 post-IATF, aunque la subnutrición podría haber incrementado el riesgo de pérdidas embrionarias. Por otra parte, se observó un aumento de la expresión de enzimas antioxidantes (SOD1) en las vacas subnutridas respecto al grupo control, lo que sugiere un mayor daño oxidativo asociado a la restricción alimentaria (Serrano-Pérez et al., 2021). Los cambios en la expresión de los genes OAS1 y MX1 entre el día 18 y 21 post-IATF fueron un buen indicador para diagnosticar el estado de preñez de una vaca. Los niveles de progesterona y PSPB (Proteínas asociadas a la preñez tipo B) en vacas gestantes y no gestantes no se vieron afectados por su nivel de alimentación, debido al buen estado nutricional de las vacas (Noya et al., 2020). En las vacas gestantes, los niveles plasmáticos de PSPB aumentaron desde el día 25 al día 28 post-IATF, independientemente de la dieta del animal, mientras que en vacas no gestantes los niveles de PSPB disminuyeron ligeramente. En nuestras condiciones de trabajo (mínimo 73 días desde el último parto), el kit comercial usado para el análisis de PSPB mostró unos buenos resultados de sensibilidad y especificidad a partir del día 26 post-IATF.

A partir del primer tercio de gestación, los terneros que las vacas estaban criando durante los tratamientos nutritivos se destetaron y finalizaron los tratamientos diferenciados. La dieta aplicada durante los últimos 6 meses de gestación (100% de sus necesidades) permitió que las vacas subnutridas en el primer tercio de gestación restablecieran sus parámetros hematológicos, con valores similares a los del grupo control en el último mes de gestación (Noya et al., 2019a). Tampoco se observó ningún efecto de la dieta recibida ni de la raza sobre la concentración plasmática de inmunoglobulinas G (IgG) y M (IgM) de las vacas un mes antes de la fecha prevista de parto (Noya et al., 2019b).

3.2. Efectos sobre las vacas durante la siguiente fase de LACTACIÓN

Las vacas subnutridas en el primer tercio de gestación presentaron un peso al parto similar al de las vacas control, ya que durante los dos últimos tercios de la gestación compensaron la diferencia establecida por el tratamiento nutritivo. No obstante, su CC al parto fue inferior a la de las vacas control, hecho que influyó en la mayoría de los parámetros productivos de vacas y terneros durante la lactación (Noya et al., 2019b), destacando el importante papel que juega el estado nutricional de un animal dentro de su ciclo de producción, siendo la alimentación un pilar básico en el buen funcionamiento de una explotación ganadera.

La dieta recibida durante la gestación temprana no afectó a la concentración plasmática de IgG e IgM de las vacas en el momento del parto, pero se observó un descenso en su concentración desde el último mes de gestación (en el caso de las IgM este descenso no fue significativo). Unas semanas antes del parto, la vaca empieza a producir calostro y las Ig son transferidas desde el plasma sanguíneo a la glándula mamaria, produciéndose una reducción fisiológica en su concentración plasmática (Franklin et al., 2005; Herr et al., 2011). El calostro de las vacas Pirenaicas subnutridas tuvo una menor concentración de IgG que sus homólogas Pardas, mientras que no hubo diferencias entre razas en los grupos control. Esta caída de IgG en calostro no se reflejó en los niveles plasmáticos de Ig de los terneros los primeros 10 días de vida. Independientemente de la dieta durante la gestación temprana y de la raza, se observó que durante las primeras horas postparto la concentración de Ig en el calostro disminuía alrededor de un 50% debido a que, inmediatamente después del parto, se detiene la transferencia de Ig desde la sangre materna al calostro (Barrington y Parish, 2001), de ahí la importancia de asegurar en el recién nacido la ingesta de calostro dentro de las primeras 4 horas de vida para la correcta transferencia de inmunidad pasiva.

En cuanto a la producción de leche tres semanas después del parto, la subnutrición durante el primer tercio de gestación disminuyó el porcentaje de grasa de la leche. Esta disminución podría estar asociada a la menor producción de leche (aunque no de forma significativa) de las vacas subnutridas, produciéndose un efecto de concentración en sus constituyentes (Jenkins y McGuire, 2006).

La restricción alimentaria en la gestación previa no afectó a la duración del anestro postparto de las vacas, debido a la adecuada CC parto. A lo largo de la lactación (120 días de duración), todas las vacas perdieron peso excepto el grupo de vacas Pirenaicas subnutridas; contrariamente, la CC fue aumentando. Una vez disminuyeron las grandes necesidades nutricionales derivadas de las últimas etapas de gestación y del inicio de la lactación, las vacas empezaron a reponer sus reservas de tejido graso (Noya et al., 2019b). En las primeras etapas postparto son frecuentes estas discordancias entre la evolución del peso vivo y la CC. El aumento de CC que observamos se reflejó en los perfiles metabólicos de las vacas, ya que al aumentar las reservas corporales los niveles de AGNE se reducían, coincidiendo con la disminución de la producción de leche una vez pasado el pico de producción.

3.3. Efectos sobre los terneros durante la fase de LACTACIÓN

La subnutrición materna durante el primer tercio de gestación no afectó al peso al nacimiento de los terneros, ni al test de vitalidad realizado a los neonatos. Sin embargo, los terneros Pirenaicos tuvieron mejores resultados que los Pardos, debido probablemente a que su menor peso al nacimiento facilitó el proceso del parto y redujo el sufrimiento fetal (Noya et al., 2019a,b).

Los valores de los parámetros hematológicos de los terneros al nacimiento no se vieron afectados por la subnutrición materna, pero se observó un retraso en la maduración de su sistema hematopoyético (Noya et al., 2019a). Durante el desarrollo fetal, a consecuencia de un ambiente uterino de hipoxia relativa, los eritrocitos son de mayor tamaño y contienen hemoglobina fetal. A partir del nacimiento, estos eritrocitos se van sustituyendo por nuevos eritrocitos de menor tamaño que contienen hemoglobina B (Brun-Hansen et al., 2006). En nuestro estudio, en los terneros procedentes de madres control se observó durante los primeros días de vida una reducción fisiológica de los valores de hematocrito, hemoglobina, hemoglobina corpuscular media y volumen corpuscular medio, mientras que en los terneros procedentes de madres subnutridas no llegó a observarse dicha reducción. Estos resultados indicarían que una subnutrición fetal en la gestación temprana ha podido incidir también en el desarrollo embrionario del sistema hematopoyético, que empieza a partir de la tercera semana post-concepción

y se mantiene durante toda la gestación (Tchernia, 1989).

Los parámetros metabólicos y endocrinos de los terneros al nacimiento también se vieron afectados por la alimentación materna durante la gestación temprana. En los terneros procedentes de madres subnutridas se observó una reducción de la concentración plasmática de IGF-1 (Noya et al., 2019a). En línea con los resultados descritos por Gallaher et al. (1998), la subnutrición materna pudo haber afectado al sistema de regulación de la IGF-1 durante el desarrollo fetal, alterando los niveles de esta hormona en el recién nacido. Contrariamente, la concentración plasmática de cortisol en terneros procedentes de madres subnutridas estuvo incrementada al nacimiento. La subnutrición materna podría haber aumentado la producción de cortisol en el feto y haber alterado la funcionalidad del eje hipotalámico-hipofisario-adrenal. Estos resultados muestran cómo, a través de un estímulo o situación ambiental durante el desarrollo gestacional, el embrión o feto desarrolla estrategias adaptativas (en las que la epigenética juega un papel fundamental) que modificarán sus respuestas fisiológicas ante un estímulo. Sin embargo, si estos cambios fenotípicos persisten durante la vida adulta del animal, nos encontraremos ante un individuo con una fisiología que no se adaptará a las condiciones habituales de las explotaciones ganaderas, aumentando la posibilidad de desarrollar enfermedades crónicas (síndrome metabólico, adiposidad o diabetes).

La subnutrición materna aplicada en nuestro estudio no afectó a la transferencia de inmunidad pasiva y, a pesar de que el calostro procedente de madres Pirenaicas subnutridas presentó una menor concentración de IgG, no se vieron afectadas las concentraciones plasmáticas de IgG e IgM de los terneros a las 48 horas de vida (Noya et al., 2019b). Estos resultados indican que la concentración de inmunoglobulinas presentes en el calostro es elevada *per se*, para asegurar la correcta transferencia de anticuerpos aún en el caso de que, por diferentes circunstancias, se reduzca su concentración. Estos resultados también indican que la subnutrición materna no afectó al desarrollo durante la gestación de los mecanismos de absorción de las células del epitelio intestinal para poder transferir estos anticuerpos desde el lumen intestinal a la circulación sanguínea. En nuestro estudio, no se detectaron diferencias en la morbilidad o mortalidad de los terneros analizados en función de su alimentación materna o raza, asumiendo una correcta transferencia de inmunidad pasiva en todos los grupos. No obstante, sí que se estableció una relación positiva entre la concentración de anticuerpos presentes en el calostro y en el plasma de los terneros y el crecimiento de éstos durante la lactación.

A la tercera semana de lactación los terneros Pirenaicos procedentes de madres subnutridas registraron un consumo de leche inferior al de sus homólogos del grupo control, a pesar de que no había diferencias en la producción de leche de sus respectivas madres. Esto indicó que, especialmente en la raza Pirenaica, una restricción alimentaria durante la gestación podría haber limitado el desarrollo del aparato digestivo, ya fuera durante el desarrollo fetal, o durante las primeras semanas de vida, reduciendo su capacidad de ingesta y con evidentes consecuencias en su posterior desarrollo. Estos terneros Pirenaicos tuvieron un menor crecimiento durante la lactación, con un peso al destete un 19% inferior respecto a los terneros Pirenaicos del grupo control. Durante la primera semana de vida no se registraron diferencias entre las medidas morfométricas de los terneros, pero al destete los valores de estas medidas fueron menores en aquellos terneros procedentes de madres subnutridas. Estos resultados indican que la subnutrición causó una desaceleración en el desarrollo corporal de los terneros, especialmente en la raza Pirenaica. Un menor peso del ternero al destete, a consecuencia de un retraso en su crecimiento, generará un impacto económico inmediato en aquellas explotaciones de vacas nodrizas que, una vez destetados, optan por vender sus terneros para su engorde en otras explotaciones.

Estas diferencias de crecimiento se vieron reflejadas en los perfiles metabólicos y endocrinos de los terneros. En el caso de la IGF-1, hormona relacionada directamente con el crecimiento muscular y el desarrollo corporal, la concentración plasmática de los terneros Pirenaicos procedentes de madres subnutridas fue inferior a la de sus homólogos del grupo control durante los dos primeros meses de lactación. Además, hasta donde llega nuestro conocimiento, es la primera vez que se describe una relación transgeneracional entre la concentración plasmática de IGF-1 de la madre durante el primer tercio de la gestación, condicionada por la dieta, y la de su ternero durante la lactación 6 meses más tarde. Como se ha indicado anteriormente, la subnutrición materna durante la gestación temprana induciría cambios en la programación fetal del individuo para adaptarse a ese ambiente uterino restringido, aumentando la probabilidad de desarrollar patologías o alteraciones metabólicas durante su vida adulta (Velazquez, 2015).

En nuestro estudio, el retraso de la maduración del sistema hematopoyético en los terneros subnutridos, la alteración de sus perfiles endocrinos y su reducida capacidad de ingestión durante los primeros días de vida (cuando todavía era muy

pequeña la influencia que hubiera podido tener en el ternero la producción y composición de leche de su madre u otros factores ambientales) evidenciaron los efectos “congénitos” que la subnutrición materna había provocado durante el desarrollo fetal. La repercusión de estos efectos fue incrementándose durante la lactación, siendo más severos en la raza Pirenaica, de tal forma que al destete los terneros de esta raza procedentes de madres subnutridas manifestaron un importante retraso en su crecimiento y desarrollo.

3.4. Efectos sobre las novillas y su descendencia durante las fases de RECRÍA, GESTACIÓN y LACTACIÓN

La alimentación materna de las vacas durante la gestación temprana tuvo repercusiones a largo plazo en las terneras (a partir de ahora, novillas) durante su recría (Noya et al., 2019c). Al principio de la recría (4 meses de edad), las novillas procedentes de madres subnutridas tenían un peso un 15% inferior a las novillas cuyas madres recibieron una alimentación control. Durante la recría, estas diferencias desaparecieron, con pesos y medidas morfométricas similares entre grupos a la llegada a la pubertad (12 meses de edad) y en el momento de la IA (16 meses de edad). La ganancia media diaria de las novillas que procedían de madres subnutridas fue mayor que la de sus homólogas, aunque no de forma significativa. Estos resultados muestran que el retraso en el desarrollo corporal que sufrieron las novillas pudo ser compensado mediante una adecuada alimentación durante la recría, en línea con los resultados descritos por Freetly et al. (2000).

Consecuentemente, las novillas procedentes de madres subnutridas incrementaron sus necesidades energéticas y metabólicas, como reflejaron sus perfiles metabólicos con una mayor concentración plasmática de AGNE, urea y colesterol. Serán necesarios más estudios para determinar si esta alteración metabólica fue puntual y consecuencia únicamente de este crecimiento acelerado, o se debe a una alteración permanente del metabolismo lipídico de estos animales.

La subnutrición fetal no afectó a la edad a la pubertad, pero se vio una disminución del número de folículos antrales a los 16 meses de edad. Nuestros resultados, en línea con los obtenidos por Mossa et al. (2013), demostraron el efecto que puede ejercer un ambiente uterino adverso sobre la diferenciación de los folículos primordiales durante el desarrollo fetal del ovario, reduciendo el tamaño de la reserva ovárica. A pesar de esta disminución en el número de folículos antrales, se obtuvo una tasa de fertilidad media a la IATF del 80%, sin diferencias entre grupos. Estos buenos resultados se atribuyen al buen estado de desarrollo corporal de las novillas en el momento de la IATF. En nuestro estudio, las novillas tenían un peso superior al 70% de su peso adulto estimado, superando el umbral del 65% del peso adulto recomendado por Gasser (2013). No obstante, esta reducción del número de folículos antrales podría comprometer los rendimientos reproductivos de estas novillas en el futuro. Diferentes autores relacionan un mayor recuento de folículos antrales con una mayor eficiencia y duración de la vida reproductiva de un animal (Mossa et al., 2012), por lo que será necesario seguir analizando los parámetros reproductivos de estas novillas para determinar si la subnutrición materna puede afectar a largo plazo su eficiencia reproductiva.

La subnutrición materna no afectó al peso ni a la CC de las novillas en su primer parto, ni al peso de sus terneros al nacimiento, ni a los crecimientos de las novillas y su descendencia durante la siguiente lactación (destete a 100 días). No obstante, teniendo en cuenta que estos animales no alcanzan su peso y talla adulta hasta los 5 años de edad (Cano et al., 2016), serán necesarios más estudios para determinar si las diferencias de peso encontradas en la lactación se revirtieron definitivamente a la entrada a la pubertad, o pudieron haberse silenciado durante esta fase y reaparecer durante el posterior desarrollo de la novilla. En nuestro ensayo, cabe destacar que, a pesar de las diferencias registradas en los ritmos de crecimiento de las novillas en sus diferentes etapas, la edad al primer parto fue de 25 meses en todas ellas, independientemente de su alimentación materna y raza. En España, solo un 53% de las vacas nodrizas tienen su primer parto entre los 2 y los 3 años de edad (MAPA, 2018). Nuestro estudio puso de manifiesto la importancia de realizar un adecuado y constante manejo alimentario de una ternera, especialmente en la fase de recría, para mejorar la eficiencia reproductiva de una explotación. Por otro lado, estos resultados indican que la subnutrición peri-implantacional no tuvo consecuencias en los crecimientos de la descendencia de las novillas durante la lactación (tercera generación). Según nuestras referencias, muy pocos estudios han evaluado los efectos de la subnutrición materna a partir de la segunda generación en el ganado bovino. La dificultad logística, temporal y económica que entraña un estudio de tales características pone de manifiesto el valor de este estudio.

3.5. Efectos sobre los terneros machos durante la fase de CEBO

La alimentación materna durante el primer tercio de gestación afectó al crecimiento de los terneros Pirenaicos. Los terneros Pirenaicos de madres subnutridas fueron un 16% y un 12% más ligeros al destete y al sacrificio, respectivamente, que sus homólogos del grupo control (Noya et al., 2022). Algunos estudios, que describen un retraso en el crecimiento del ternero a causa de una alimentación materna deficiente, reportan un crecimiento compensatorio en las siguientes etapas de crecimiento si el ternero tiene acceso a una dieta de alta calidad y cantidad (Freetly et al., 2000; Greenwood y Cafe, 2007; Noya et al., 2019c). De hecho, Long et al. (2010) reportaron que terneros con una alimentación prenatal deficiente tendieron a ser más pesados en el momento del sacrificio que terneros que tuvieron una correcta alimentación prenatal durante la gestación temprana. En cambio, acorde con los resultados obtenidos en este estudio, Greenwood y Cafe (2007) afirmaron que la capacidad de crecimiento postnatal compensatorio tras una alimentación prenatal deficiente era limitada. En nuestro experimento, a pesar de que la alimentación era ad libitum, los terneros Pirenaicos de madres subnutridas no fueron capaces de compensar las diferencias de peso a sacrificio, lo que implicó un impacto negativo en el rendimiento económico de los terneros.

Los terneros Pirenaicos de madres subnutridas tuvieron una mayor concentración de AGNE a lo largo del periodo de cebo, debido probablemente a una mayor movilización de ácidos grasos procedentes de sus reservas lipídicas. Teniendo en cuenta que los terneros tenían una alimentación ad libitum, la movilización de sus reservas energéticas podría sugerir alguna alteración en el metabolismo energético.

Los terneros Pirenaicos de madres subnutridas tuvieron una menor concentración de IGF-1 durante la primera mitad del periodo de cebo, que estaría relacionada con el menor crecimiento y desarrollo corporal de éstos. Sin embargo, a partir de la segunda mitad del cebo no se detectaron diferencias significativas entre los grupos, lo que podría sugerir que los terneros Pirenaicos de madres subnutridas podrían empezar a compensar sus índices de crecimiento. De acuerdo con estos resultados, Maresca et al. (2018) describieron cómo terneros procedentes de madres subnutridas, con bajas concentraciones de IGF-1 al nacimiento, compensaron sus concentraciones durante su crecimiento postnatal.

Una vez sacrificados los terneros, todas las canales tuvieron una conformación y rendimientos similares, lo que significa que el porcentaje de peso vivo atribuible a las vísceras, piel, cabeza y extremidades distales fue similar en todos los grupos. Sin embargo, el peso medio de las canales de los terneros Pirenaicos de madres subnutridas fue un 12% inferior al de las canales de los terneros Pirenaicos control, penalizando el rendimiento económico de estos animales. Long et al. (2010) no encontraron efecto de la alimentación prenatal temprana en el peso de las canales de terneros sacrificados a 22 meses de edad. En nuestro estudio, los terneros Pirenaicos de madres subnutridas tuvieron una mayor cobertura grasa en sus canales. Eso sugiere que, acorde con la hipótesis del “fenotipo ahorrador”, estos terneros (que tuvieron un menor peso al sacrificio) priorizaron parte de la energía metabolizable de la ingesta a incrementar sus depósitos de tejido graso periférico, en detrimento de su crecimiento muscular. En otros estudios, Greenwood et al. (2006) reportaron un incremento de grasa subcutánea en la grupa (punto P8) en terneros procedentes de vacas alimentadas en pastos de baja calidad desde el día 80 de la gestación hasta el parto.

4. CONSIDERACIONES FINALES

- La subnutrición en el primer tercio de gestación (35%) tuvo efectos a corto plazo en las vacas nodrizas, que movilizaron sus reservas para afrontar el balance energético negativo.
- La subnutrición materna no afectó al desarrollo corporal del feto, pero sí modificó los mecanismos de regulación de su sistema endocrino.
- En la raza Pirenaica, la subnutrición materna redujo el crecimiento postnatal de los terneros (-19% peso a destete). Esta diferencia fue evidente hasta el sacrificio a 12 meses de los terneros machos cebados (-12%), que además mostraron una canal con más cobertura grasa, mientras que en el caso de las hembras la diferencia desapareció durante la recría.
- Los efectos de la subnutrición materna en el desarrollo corporal de la descendencia no se transmitieron a la segunda generación, al menos durante la lactación estudiada (100 días).

- La raza Pirenaica presentó una mayor sensibilidad que la raza Parda de Montaña a la restricción alimentaria, poniendo de manifiesto la modulación de los efectos de la subnutrición en función de la base genética de los animales.
- Del estudio se desprende la necesidad de que los ganaderos garanticen una adecuada alimentación de las vacas preñadas que a su vez estén criando un ternero, haciendo cambios sustanciales en el manejo de sus explotaciones, para permitir que las vacas nodrizas y su descendencia expresen su máximo potencial genético.

Para completar el estudio descrito y para tratar de dar respuesta a los resultados contradictorios encontrados en la bibliografía (Waldon et al., 2023), se está desarrollando en la actualidad el proyecto “Subnutrición fetal y suplementación con hidroxitirosol en un sistema productivo de vacuno de carne” (FETALNUT), en el que se estudia: (1) el efecto de la **subnutrición materna durante el último tercio de gestación** sobre la vida postnatal de la descendencia, ya que en el último tercio de gestación se da el 75% del crecimiento fetal; y (2) el **uso de hidroxitirosol** (polifenol presente en las hojas del olivo) en la dieta de las vacas como posible estrategia para prevenir o aliviar las consecuencias negativas de la subnutrición materna en la productividad de la descendencia, dado que aumenta la capacidad antioxidante del plasma y reduce el estrés oxidativo en la unidad fetoplacentaria, principales problemas en la restricción del crecimiento intrauterino relacionada con la subnutrición prenatal (García-Contreras et al., 2019). Se mostrarán los primeros resultados obtenidos en este proyecto (López de Armentia et al., 2022; Escalera-Moreno et al., 2023) en la presente ponencia.

Agradecimientos: Al personal de la Finca “La Garcipollera”, del CITA de Aragón y de la UdL; a Graciela Quintans (INIA Treinta y tres, Uruguay); al INIA (INIA-RTA2013-059-C02, Contrato de FPI A. Noya; INIA-RZP 2015-001); a la Agencia Española de Investigación (MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033 (FETALNUT), Contrato FPI de L. López de Armentia, Contratos de A. Noya y O. Akesolo); al Gobierno de Aragón (Grupo de investigación INPASS A25_23R); a la Generalitat de Cataluña (2021 SGR 01361); a la Universidad de Lleida (Contrato predoctoral de N. Escalera-Moreno).

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barker D.J., Osmond C., Golding J., Kuh D., Wadsworth M.E. 1989. Growth in utero, blood pressure in childhood and adult life, and mortality from cardiovascular disease. *British Medical Journal* 298: 564-567. <https://doi.org/10.1136/bmj.298.6673.564>
- Barrington G M., Parish S M. 2001. Bovine neonatal immunology. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 17: 463-476. [https://doi.org/10.1016/s0749-0720\(15\)30001-3](https://doi.org/10.1016/s0749-0720(15)30001-3)
- Brun-Hansen H C., Kampen A H., Lund A. 2006. Hematologic values in calves during the first 6 months of life. *Veterinary Clinical Pathology* 35: 182-187. <https://doi.org/10.1111/j.1939-165x.2006.tb00111.x>
- Cano G., Blanco M., Casasús I., Cortés-Lacruz X., Villalba D. 2016. Comparison of B-splines and non-linear functions to describe growth patterns and predict mature weight of female beef cattle. *Animal Production Science* 56: 1787-1796. <https://doi.org/10.1071/AN15089>
- Escalera-Moreno N., Álvarez-Rodríguez J., Villalba D., Molina E., Martín-Alonso M.J., López de Armentia L., Sanz A., Serrano-Pérez B. 2023. Efecto de la subnutrición preparto y el hidroxitirosol en el equilibrio pro- y anti-oxidante de la sangre durante el último tercio de gestación. XX Jornadas de Producción Animal AIDA. Zaragoza, 13-14/06/2023. Página 197. <http://hdl.handle.net/10532/6550>
- Franklin S.T., Newman M.C., Newman K.E., Meek K.I. 2005. Immune parameters of dry cows fed mannan oligosaccharide and subsequent transfer of immunity to calves. *Journal of Dairy Science* 88: 766-775. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72740-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72740-5)
- Freetly H C., Ferrell C L., Jenkins T G. 2000. Timing of realimentation of mature cows that were feed-restricted during pregnancy influences calf birth weights and growth rates. *Journal of Animal Science* 78: 2790-2796. <https://doi.org/10.2527/2000.78112790x>

- Gallaher B., Breier B., Keven C., Harding J., Gluckman P. 1998. Fetal programming of insulin-like growth factor (IGF)-1 and IGF-binding protein-3: Evidence for an altered response to undernutrition in late gestation following exposure to periconceptual undernutrition in the sheep. *Journal of Endocrinology* 159: 501-508. <https://doi.org/10.1677/joe.0.1590501>
- García-Contreras C., Vázquez-Gómez M., Barbero A., Pesantez J.L., Zinellu A., Berlinguer F., González-Añover P., González J., Encinas T., Torres-Rovira L., Nuñez Y., Ballesteros J., Ayuso M., Astiz S., Isabel B., Ovilo C., González-Bulnes A. 2019. Polyphenols and IUGR pregnancies: Effects of maternal hydroxytyrosol supplementation on placental gene expression and fetal antioxidant status, DNA-methylation and phenotype. *International Journal of Molecular Sciences* 20: 1-16. <https://doi.org/10.3390/ijms20051187>
- Gasser, C.L. 2013. Joint Alpha-ruminant species symposium: Considerations on puberty in replacement beef heifers. *Journal of Animal Science* 91: 1336–1340. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-6008>
- Greenwood P.L., Cafe L.M. 2007. Prenatal and pre-weaning growth and nutrition of cattle: Long-term consequences for beef production. *Animal* 1: 1283-1296. <https://doi.org/10.1017/S175173110700050X>
- Greenwood P.L., Cafe L.M., Hearnshaw H., Hennessy D.W., Thompson J.M., Morris S.G. 2006. Long-term consequences of birth weight and growth to weaning on carcass, yield and beef quality characteristics of piedmontese- and wagyu-sired cattle. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46: 257-269. <https://doi.org/10.1071/EA05240>
- Herr M., Bostedt H., Failing K. 2011. IgG and IgM levels in dairy cows during the periparturient period. *Theriogenology* 75: 377-385. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.09.009>
- Jenkins T.C., McGuire M A. 2006. Major advances in nutrition: Impact on milk composition. *Journal of Dairy Science* 89: 1302-1310. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72198-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72198-1)
- Long N.M., Prado-Cooper M.J., Krehbiel C.R., DeSilva U., Wettemann R.P. 2010. Effects of nutrient restriction of bovine dams during early gestation on postnatal growth, carcass and organ characteristics, and gene expression in adipose tissue and muscle. *Journal of Animal Science* 88: 3251-3261. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2512>
- López de Armentia L., Álvarez-Rodríguez J., Lamoglia L, Noya A., Sanz A., Serrano-Pérez B., Blanco-Penedo I. 2022. The effect of undernutrition and supplementation with hydroxytyrosol in late pregnancy on beef cattle social behavior. 1st Meeting of the Red CIBA and ISAE South West Europe Region. Barcelona, 14-15/07/2022. Book of abstracts, Página: 45. <http://hdl.handle.net/10532/6083>
- MAPA 2018. Estudio del sector español de vacas nodrizas. Subdirección General de Productos Ganaderos, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios.
- Maresca S., Lopez-Valiente S., Rodriguez A.M., Long N.M., Pavan E., Quintans G. 2018. Effect of protein restriction of bovine dams during late gestation on offspring postnatal growth, glucose-insulin metabolism and IGF-1 concentration. *Livestock Science* 212: 120-126. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.04.009>
- Mossa F., Carter F., Walsh S.W., Kenny D.A., Smith G.W., Ireland J.L.H., Hildebrandt T.B., Lonergan P., Ireland J., Evans A.C.O. 2013. Maternal undernutrition in cows impairs ovarian and cardiovascular systems in their offspring. *Biology of Reproduction* 88: 1-9. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.112.107235>
- Mossa F., Walsh S.W., Butler S.T., Berry D.P., Carter F., Lonergan P., Smith G.W., Ireland J.J., Evans A.C.O. 2012. Low numbers of ovarian follicles ≥ 3 mm in diameter are associated with low fertility in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 95: 2355-2361. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4325>
- Noya A., Casasús I., Ferrer J., Sanz A. 2019b. Long-term effects of maternal subnutrition in early pregnancy on cow-calf performance, immunological and physiological profiles during the next lactation. *Animals* 9: 936. <https://doi.org/10.3390/ani9110936>
- Noya A., Casasús I., Ferrer J., Sanz A. 2019c. Effects of developmental programming caused by maternal nutrient intake on postnatal performance of beef heifers and their calves. *Animals* 9: 1072. <https://doi.org/10.3390/ani9121072>

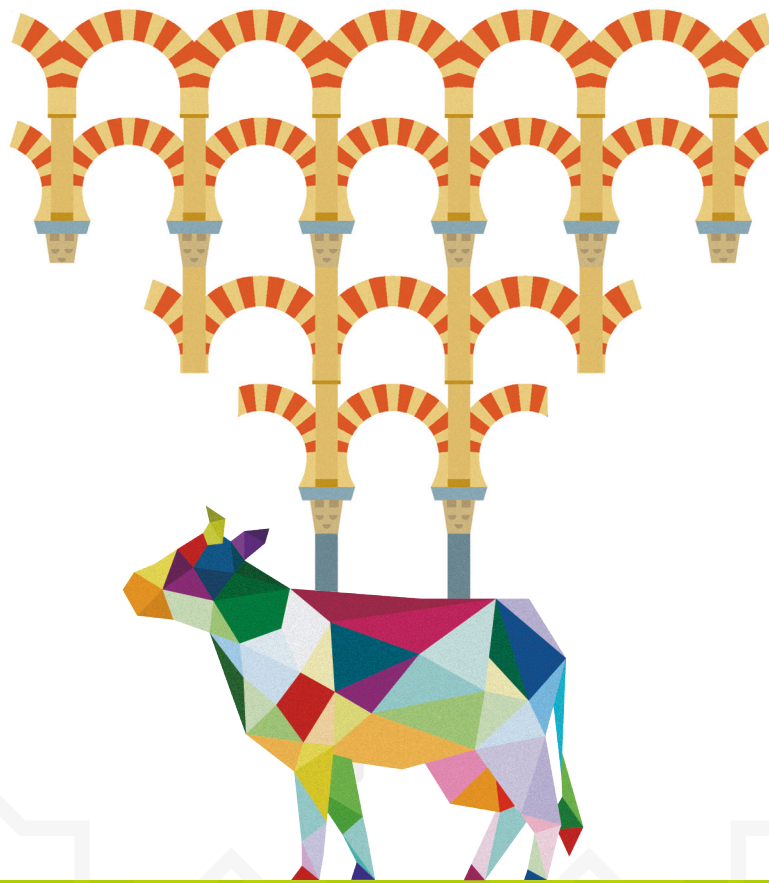
- Noya A., Casasús I., Ripoll G., Sanz A. 2022. Long-term effects of early maternal undernutrition on the growth, physiological profiles, carcass and meat quality of male beef offspring. *Research in Veterinary Science* 142: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2021.10.025>
- Noya A., Casasús I., Rodríguez-Sánchez J.A., Ferrer J., Sanz A. 2020. A negative energy balance during the peri-implantational period reduces dam IGF-1 but does not alter progesterone or pregnancy-specific protein B (PSPB) or fertility in suckled cows. *Domestic Animal Endocrinology* 72: 106418. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2019.106418>
- Noya A., Serrano-Pérez B., Villalba D., Casasús I., Molina E., López-Helguera I., Sanz A. 2019a. Effects of maternal subnutrition during early pregnancy on cow hematological profiles and offspring physiology and vitality in two beef breeds. *Animal Science Journal* 90: 857-869. <https://doi.org/10.1111/asj.13215>.
- Sanz A., Bernués A., Villalba D., Casasús I., Revilla R. 2004. Influence of management and nutrition on postpartum interval in Brown Swiss and Pirenaica cows. *Livestock Production Science* 86: 179-191. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00165-9](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00165-9)
- Sanz A., Casasús I., Bernués A., Revilla R. 2001. Reinicio de la actividad folicular en vacas nodrizas sometidas a diferentes niveles de alimentación antes y después del parto. *ITEA-Información Técnica Económica Agraria Vol. Extra* 22: 727-729.
- Serrano-Pérez B., Carbonell A., Noya A., Casasús I., Sanz A., López Helguera I., Álvarez Rodríguez J., Molina E., Villalba D. 2021. Maternal subnutrition increases antioxidant defences during peri-implantation period in beef cattle. 72st Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP), pp. 476. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-918-3>.
- Serrano-Pérez B., Molina E., Noya A., López-Helguera I., Casasús I., Sanz A., Villalba D. 2020. Maternal nutrient restriction in early pregnancy increases the risk of late embryo loss despite no effects on peri-implantation interferon-stimulated genes in suckler beef cattle. *Research in Veterinary Science* 128: 69-75. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.10.023>
- Tchernia G. 1989. Erythropoiesis and erythrocytes in children, physiology and standards. *Revue du Praticien* 39: 2111-2116.
- Velazquez M.A. 2015. Impact of maternal malnutrition during the periconceptional period on mammalian preimplantation embryo development. *Domestic Animal Endocrinology* 51: 27-45. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2014.10.003>
- Waldon N., Nickles K., Parker A., Swanson K., Relling A. 2023. A review of the effect of nutrient and energy restriction during late gestation on beef cattle offspring growth and development *Journal of Animal Science* 101: 1-6. <https://doi.org/10.1093/jas/skac319>



XXVI

CONGRESO INTERNACIONAL
ANEMBE DE MEDICINA BOVINA

Córdoba 24-26 abril 2024



La sostenibilidad, pilar clave de nuestro progreso

LIBRO DE PONENCIAS, COMUNICACIONES ORALES Y POSTER



ANEMBE

ASOCIACIÓN NACIONAL
DE ESPECIALISTAS
EN MEDICINA BOVINA
DE ESPAÑA