

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE VETERINARIA



TESIS DOCTORAL

Estrategias para optimizar la eficiencia de las granjas intensivas de vacas de
leche

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Raquel Patrón Collantes

DIRECTORES

Juan Vicente González Martín,
Susana María Astiz Blanco
Natividad Pérez Villalobos

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

Facultad de Veterinaria

Departamento de Medicina y Cirugía Animal



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

TESIS DOCTORAL

**ESTRATEGIAS PARA OPTIMIZAR LA
EFICIENCIA DE LAS GRANJAS INTENSIVAS
DE VACAS DE LECHE**

Raquel Patrón Collantes

DIRIGIDA POR:

Juan Vicente González Martín

Susana María Astiz Blanco

Natividad Pérez Villalobos

A Valentina y Gonzalo, los amores de vida

“No es la especie más fuerte la que sobrevive, ni la más inteligente, sino la que responde mejor al cambio”.

Charles Darwin

“Hacer una tesis significa divertirse y la tesis es como un cerdo, en ella todo tiene provecho”.

Umberto Eco

AGRADECIMIENTOS

Son muchos años los que han pasado hasta que por fin ha llegado el momento. En todo este tiempo no solo ha crecido mi familia, sino que a mí me ha dado la oportunidad de crecer a nivel académico y personal, y a superar retos que parecen mucho más inmensos cuando los ves sobre el papel. Si he llegado hasta aquí ha sido gracias a todas esas personas que me han acompañado antes, durante y ahora, al final de este trayecto. Son muchas las que siguen conmigo, otras tomaron otros caminos dejando su esencia en el mío (un beso enorme al cielo) y otras, aunque sólo se cruzaron, dejaron huella. A todas ellas GRACIAS, por sus enseñanzas, por sus regaños, por sus ¡tú puedes! y su alegría.

En primer lugar, quiero dar gracias a mis hijos. A Valentina por su infinito amor y paciencia. Por hacerte una bolita todas las noches que me quedaba con el ordenador mientras dormías, primero en mi regazo y luego en mis piernas cuando fuiste más grande, por cambiar los planes y adaptarte a “mamá tiene que trabajar un poco en su tesis”, por acariciarme la cara cuando volvía a la cama y decirme: “mami, como estás más cansadita, te contaré yo a ti el cuento hoy!”, por guiar con tu luz a tu hermano...Eres una personita excepcional. A Gonzalo, que llegaste para darle más caña a nuestra vida, para enseñarme que cuando uno se propone las cosas, las consigue y si se complica, siempre es más fácil con los que quieres. Por tu cabezonería, por caerte mil veces y levantarte sin llorar, por tu constancia, por tu sonrisa desdentada y tus caricias nocturnas. Por aguantar las tardes sin teta para que pudiera sentarme a escribir y por ser el ovillito en mi regazo en las noches al ordenador y ahora mismo mientras escribo. Por todo el amor que me demuestras, aunque no puedas decirme nada. Nunca pensé que podría tener unos hijos tan maravillosos. A mi marido, a ese loco que es capaz de poner mi cabeza patas arriba o los pies en el suelo. Gracias por formar este equipazo, a nivel personal y laboral, y por ser capaz de sobrevivir a los malabares diarios y escucharme la mayoría de las veces 😊. Por ser capaz de bajarme la luna si yo te lo pido y por quererme tanto. Bien sabemos que no podríamos haber encontrado mejores compañeros de viaje.

A mi madre, la persona con más coraje, tenacidad y fuerza que he conocido. Gracias por estar siempre a mis seis, por ser paño de lágrimas y abrazo calentito, risa floja, cómplice y mi mejor amiga. Por ese almendrazo que llevas dentro del que tanto he aprendido, para bien y para mal. Por tu enorme amor. A mi tata, no imaginas lo que te echo de menos. Has dejado una huella imborrable en mí y seguro que ahora estás feliz y riéndote al estilo “lindo pulgoso” al ver que he

logrado un objetivo más. Gracias por siempre, has sido mi mejor ejemplo y espero que tanto tú como mamá os sintáis orgullosas. Papá y Rafa, gracias por estar siempre dispuestos a ayudarme con lo que sea que os pida, sea como y cuando sea que lo necesite, sin malas caras ni reproches, aunque a veces os meta en verdaderos líos. Y Pepín, gracias por tu apoyo siempre, por ser un padre para mí desde que tenía tres meses y por estar siempre disponible para mí, por pensar que soy capaz de todo.

Agradecer también a todas esas personitas que habéis estado siempre conmigo, codo con codo y que con el paso del tiempo ahí siguen. Y a todas aquellas que, por suerte, la vida ha puesto en mi camino. Gracias por interesaros siempre por cómo ha ido avanzando esta tesis, por el trabajo y mi vida, por tener un hueco para hablar. Por tantos años juntos, tantos momentos y tantas anécdotas. Por vuestras bromas, vuestros silencios y vuestros ánimos siempre. Por vuestras sonrisas y vuestros abrazos: Cristy, Belén, Álvaro, Nacho, Paty, Laura, Jose, Roci, César, Virgi. ¡Gracias por estar y por apoyarme tanto!

Por otro lado, a mis directores, a mis tres pilares, un gracias infinito. Su, has sido mi “Pepita”, mi guía espiritual en este proceso y nada de esto hubiera sido posible sin ti. Mil gracias por tu amistad, tu inmensa paciencia, por tanto cariño, por confiar en mí, por cuidarme y regañarme para lograr ser mejor, por alentarme e incluirme en este y en tantos proyectos. No tengo palabras. ¡Me siento muy afortunada! Y espero que sigamos recorriendo mucho camino. Qué decirte a ti, Juanvi, si eres como mi padre. Gracias por enseñarme tanto, por responder siempre a mis preguntas, por ayudarme a enfrentarme a desafíos, siempre al lado del teléfono. Por impulsarme a volar más alto. Por tus “madre mía de mi vida, ¡tienes que estudiar más!” y tus “pero ¡qué buena eres!” antes de colgar. Por hacerme la vida lo más fácil posible y por ayudarme a conciliar, algo tan difícil en cualquier trabajo. Me siento muy orgullosa de trabajar contigo. Y Nati, mentora, compañera, amiga. Gracias por tu enorme confianza en mí desde el principio, por estar siempre dispuesta a tenderme la mano si lo necesitaba, por guiarme y hacerme ver que mis alas podían ser más grandes de lo que pensaba y por contagiarme tu entusiasmo por las cosas. Gracias a los tres por ayudarme y enseñarme a ser mejor, dentro y fuera de esta tesis.

Me gustaría agradecer también todo el apoyo y el cariño y la experiencia que me transmiten mis compañeros de departamento: Almu, María, Víctor, Montse, Rubén, Álvaro, Stefanía, Eli. Gracias por estar siempre disponibles para aconsejarme y echarme un cable con una sonrisa. Y Jesús, qué decirte. Eres un *crack* y es un placer trabajar contigo. Gracias por tu constante trabajo, tu paciencia, tu buen humor y por hacerlo todo tan fácil.

Además, me gustaría agradecer a todos los veterinarios que han colaborado en los artículos de investigación que presentamos en esta tesis, sus horas de trabajo y dedicación: Irene, Jose Luis, Paco, Miguel, Octavi y Javier. A Pedro y Iago del Dpto. de apoyo a la investigación de la UCM.

Por último, pero no menos importante, gracias a todos aquellos que sois la base de todo este trabajo, de mi forma de vida: ganaderos y ganaderas. Gracias por, a pesar de la que está cayendo, sacar ganas, motivación e ilusión para dedicarme vuestro tiempo, vuestras sonrisas y vuestro buen humor. Gracias por confiar en mí, en mi trabajo. Espero que todo nuestro esfuerzo se valore y redunde en un mejor futuro para vosotros y para el campo, para toda la sociedad.

Gracias de todo corazón.

Raquel

PÁGINA DE PRESENTACIÓN

PÁGINA DE PRESENTACIÓN

La presente tesis, titulada: “**Estrategias para optimizar la eficiencia de las granjas intensivas de vacas de leche**” es un compendio de tres trabajos publicados. Dichos artículos quedan referenciados como sigue:

1. **Patron-Collantes R**, Lopez-Helguera I, Pesantez-Pacheco JL, Sebastian F, Fernández M, Fargas O, Astiz S. Early postpartum administration of equine chorionic gonadotropin to dairy cows calved during the hot season: Effects on fertility after first artificial insemination. *Theriogenology* **2017**,92:83–89. doi: 10.1016/j.theriogenology.2017.01.019
2. **Patron R**, López-Helguera I, Sebastián F, Pesantez-Pacheco JL, Pérez-Villalobos N, Vicente González Martín J, Fargas O, Astiz S. Influence of practitioner expertise during early pregnancy diagnosis on pregnancy loss rate: A controlled, blinded trial. *Reprod. Domest. Anim.* **2017**, 52(6):1145–1148. doi: 10.1111/rda.13033
3. **Patron R**, Lopez-Helguera I, Pesantez-Pacheco JL, Perez-Villalobos N, Heras J, Vicente Gonzalez J, Fargas O, Astiz S. Resynchronization with the G6G protocol: A retrospective, observational study of second and later timed artificial inseminations on commercial dairy farms. *Reprod. Domest. Anim.* **2019**, 54(2):243–251. doi: 10.1111/rda.13343

Se decide la presentación en formato artículos para esta tesis, puesto que los trabajos referenciados anteriormente quedan interrelacionados entre sí, presentando el objetivo común de evaluar el efecto de distintas estrategias de manejo reproductivo en vacas de leche de alta producción, aportando nuevos puntos de vista y alternativas a tratamientos y pautas de manejo, cuya profundización facilitará y mejorará el trabajo de los veterinarios de bovino de aptitud láctea. De este modo, se han estudiado una serie de factores que influyen en la eficiencia reproductiva de las vacas de leche, considerado hoy en día uno de los principales escollos de nuestros rebaños. Actualmente, aunque el uso de tratamientos hormonales en la reproducción está muy sistematizado, no siempre se evalúa su efectividad e idoneidad en función de las características de cada rebaño o granja. Es por ello que se ha querido evaluar el uso de una hormona, que en estudios previos ha tenido efectos beneficiosos sobre la reproducción en bovino lechero sometido a estrés por calor, concluyendo con una serie de consideraciones que ponen en cuestión el hecho de protocolizar actuaciones sin haber comprobado antes su eficacia. En segundo lugar, considerando el papel fundamental del veterinario en el manejo reproductivo

del rebaño, se ha estudiado el grado de experiencia que debe tener para disminuir el riesgo de pérdida de gestación temprano tras el diagnóstico ecográfico, pretendiendo normalizar y facilitar la capacitación y ahondando, de nuevo, en la necesidad de la formación en nuestro campo. Por último, reconociendo la importancia del uso de la inseminación a tiempo fijo en ganado lechero, se ha querido valorar si protocolos más largos, pero con mayor fertilidad esperada, pueden resultar eficaces para segundas y posteriores inseminaciones. Con estos resultados aportamos evidencias científicas que faciliten a cada veterinario elegir las actuaciones más adecuadas para cada granja, mejorando así su rentabilidad y eficiencia.

Por todo ello, se considera que la presentación de esta tesis en formato artículos es adecuada.

RESUMEN/ABSTRACT

RESUMEN

Satisfacer las necesidades crecientes de leche a nivel mundial implica inevitablemente, un aumento de la producción. Este incremento solo puede conseguirse a través de sistemas de gestión y manejo optimizados. A su vez, en el marco actual en el que se desarrolla la ganadería, en concreto de vaca lechera y la situación tan complicada que atraviesa el sector, aumentar la producción con el mínimo coste (económico, social, animal y medioambiental) es fundamental, por lo que mejorar la eficiencia de las granjas se convierte en una necesidad.

La eficiencia es un concepto muy general, pudiendo aplicarse a los distintos factores que influyen en la producción de leche y consiste en lograr los resultados deseados con los mínimos recursos posibles. El manejo reproductivo es uno de los factores más importantes, ya que la producción de leche en sí misma está ligada a la reproducción. La eficiencia reproductiva exige mejorar la fertilidad, disminuir los días abiertos y el porcentaje de pérdida de la gestación. No existe una herramienta universal para mejorarla, sino que cada veterinario, de entre todas las herramientas de manejo reproductivo disponibles, debe escoger las que mejor se adapten a cada granja, considerando los animales, el manejo general, su producción, las características ambientales y los costes, para optimizar el nivel de eficiencia, lo que, por otro lado, también implica una constante formación.

Así pues, el objetivo principal del trabajo experimental de la presente tesis Doctoral buscaba evaluar el efecto de distintas estrategias de manejo reproductivo en vacas de leche, de alta producción, españolas, sobre la eficiencia reproductiva. Este fin, a su vez, se dividió en tres objetivos secundarios o específicos.

Para el objetivo 1 realizamos un ensayo aleatorio en 401 vacas holstein pertenecientes a una misma granja comercial, con distinto número de partos; para evaluar si la administración de gonadotropina coriónica equina (eCG) durante el postparto temprano, en animales sometidos a estrés por calor, mejora la salud uterina, la funcionalidad ovárica y la fertilidad tras la primera inseminación artificial postparto. Los resultados del trabajo revelaron que la administración temprana de eCG después del parto no mejora ninguno de los aspectos contemplados en nuestra hipótesis. En conclusión, nuestros resultados no respaldan el uso de esta hormona en estas circunstancias, considerando necesarias otras opciones para mejorar la fertilidad postparto bajo estas condiciones ambientales de calor.

En el objetivo 2 se quiso determinar en qué grado el nivel de experiencia en el diagnóstico ecográfico de gestación por parte del técnico, influía sobre la tasa de pérdida de gestación antes del día 65 post inseminación. En este trabajo participaron dos veterinarios con distinto nivel de experiencia que desempeñaron su trabajo en una misma granja comercial y no mantuvieron contacto entre ellos ni conocían el objetivo del trabajo. Tras un total de 915 diagnósticos de gestación, nuestro estudio reveló que el riesgo de pérdida temprana de la gestación puede aumentar como consecuencia de la falta de pericia en el diagnóstico ecográfico durante el período embrionario tardío-fetal temprano (49–56 d tras la inseminación), lo que respalda la necesidad de formación específica.

Finalmente, el objetivo 3 tenía como finalidad valorar la eficacia de la implementación, en granjas comerciales, del protocolo “G6G” [prostaglandina $F_{2\alpha}$ (PGF) día 0; hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) días 2 y 8; PGF días 15 y 16 días, GnRH día 17; inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) día 18], para segundas y posteriores inseminaciones (“reinseminaciones”), ya que, aunque más largo que otros protocolos más frecuentemente usados, se asocia a una mayor fertilidad. Para ello registramos, mediante un estudio retrospectivo, las tasas de concepción y de gestación tras 1368 reinseminaciones realizadas mediante dos protocolos instaurados de forma paralela y aleatoria en cuatro granjas y tanto en estación fría como calurosa: G6G y el protocolo “Ovsynch® de 5 días” (5DO; GnRH día 0; PGF días 5 y 6; GnRH día 7; IATF día 8). Los resultados observados muestran que tanto la temporada del año (fría) como el protocolo utilizado (G6G), afecta significativamente mejorando la tasa de concepción, al contrario de lo que ocurre con el número de partos. Además, nuestro estudio sugiere que el protocolo G6G puede resultar adecuado para segundas y posteriores IATF y resalta la importancia de considerar el protocolo y la temporada cuando se diseñan estrategias para las reinseminaciones en las granjas lecheras.

Con todo ello, esperamos haber contribuido positivamente al conocimiento en el ámbito de la reproducción bovina, aportando más información sobre la necesidad de cuestionar la eficacia de protocolos en función de cada rebaño y circunstancia, la relación entre pérdidas gestacionales posiblemente yatrogénicas en vacuno de leche debidas a la falta de experiencia del técnico que realiza el diagnóstico de gestación y aumentando el abanico de opciones en cuanto a los protocolos de IATF disponibles para la resincronización.

ABSTRACT

Milk worldwide growing demand inevitably implies an increase in milk yield. This increase can only be achieved through optimized management and handling systems. In turn, the current framework in which livestock is developed, specifically dairy cows and the complicated situation that the sector is going through, makes increasing production at the lowest cost (economic, social, animal and environmental costs) essential. This is maximizing the efficiency of farms.

Efficiency is a very general concept and can be applied to the different factors affecting milk yield, and consists on achieving results with the minimum resources. Reproductive management is one of the most important factors, since milk yield is directly linked to reproduction. Reproductive efficiency implies improving fertility, reducing open days and the percentage of pregnancy loss. There is no universal tool to achieve it, and each veterinary consultant must choose the ones that best suit each farm among all available tools, considering the animals, the general management, the yield level, the environment, the costs, and a continuing education plan.

Thus, the main objective of this Doctoral Thesis was to evaluate the effect of different reproductive management strategies in Spanish high-producing dairy cows on reproductive efficiency. This, in turn, was divided into three secondary objectives.

For the objective 1, a randomized trial was carried out in 401 Holstein cows belonging to the same commercial farm, with different parity, to assess whether equine chorionic gonadotrophin (eCG) administration at the early postpartum, in animals under heat stress, improves uterine health, ovarian function, and fertility after the first postpartum artificial insemination. The results of this work revealed that the early administration of eCG after calving does not improve any of the aspects considered. In conclusion, our results do not support the use of this hormone under these circumstances. Therefore, other options are required to improve postpartum fertility under these environmental conditions of heat stress.

In objective 2, we aimed at determining how the level of training of the veterinarian at performing ultrasound diagnosis of pregnancy influenced pregnancy loss rate (before day 65 post insemination). Two veterinarians with different levels of experience carried out the pregnancy checks at the same commercial farm. After a total of 915 diagnoses, we observed

that the risk of early pregnancy loss may increase because of the lack of expertise in ultrasound diagnosis during the late embryonic period (49–56 d), which supports the need of training.

Finally, objective 3 aimed at assessing the efficacy of the implementation of the "G6G" protocol [F_{2α} prostaglandine (PGF) day 0; gonadotropin release hormone (GnRH) days 2 and 8; PGF days 15 and 16, GnRH day 17; timed artificial insemination (TAI) day 18], for second and subsequent FTAI (fixed time artificial re-inseminations), in commercial farms. This protocol is associated with greater fertility, although it takes longer than other protocols more frequently used. With this objective conception and pregnancy rates were recorded after 1368 ≥2nd or more FTAIs following two protocols established in parallel and randomly, at four farms and both, during cold and hot seasons: G6G and the "5 days Ovsynch[®]" protocol (5DO; GnRH day 0; PGF days 5 and 6; GnRH day 7; TAI day 8). The results show that two factors, season and the protocol significantly affect the conception rate, contrary to what happens with the number of births. Ultimately, our study suggests that the G6G protocol may be suitable for second and subsequent FTAIs and highlights the importance of considering protocol together with season when designing strategies to re-inseminate at dairy farms.

With all this, we hope to have contributed positively to the knowledge in the field of bovine reproduction, generating more information on the efficacy of protocols, which depends on herd and concrete circumstances; on the relationship between iatrogenic gestational losses in dairy cattle due to lack of experience of the veterinarian performing pregnancy checks; and increasing the options regarding FTAI-protocols available for resynchronization.

ÍNDICES

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
1 La leche en el mundo	3
1.1 Importancia de la producción y consumo de leche en el mundo	6
1.1.1 Producción de leche a nivel mundial.....	7
1.1.2 Granjas de bovino lechero en el mundo: censos y eficiencia	9
1.1.3 Consumo mundial de leche y productos lácteos	12
1.1.4 Demanda mundial de leche y productos lácteos. Precios	13
2 Producción de leche de vaca en Europa	15
2.1 El sector lácteo en Europa.....	16
2.2 Granjas de bovino lechero en Europa: censos y eficiencia	18
3 Producción de leche de vaca en España	20
3.1 Tipos de granja en España: producciones y censos	21
3.2 Rendimiento lechero de las granjas españolas y precio de la leche	27
3.3 Consumo de leche y productos lácteos en España	29
3.3.1 Consumo per cápita y por CC.AA.	31
4 Sistemas productivos intensivos en vacuno lechero en España	32
4.1 Características	32
4.1.1 Personal y plantilla laboral	33
4.1.2 Márgenes económicos de producción de leche.....	33
4.1.3 Sostenibilidad y resiliencia	39
5 Eficiencia reproductiva en sistemas intensivos de producción de leche bovina	48
5.1. Impacto del rendimiento reproductivo sobre la eficiencia productiva	49
5.2. Indicadores de eficiencia reproductiva	52
5.3. Factores que influyen en la eficiencia reproductiva	56
5.3.1. Factores individuales.....	56
5.3.2 Factores extrínsecos.....	61
5.4. Estrategias para la mejora de la eficiencia reproductiva	63
JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	73
PLAN DE TRABAJO/METODOLOGÍA.....	79
RESULTADOS.....	83
Mejora de la reproducción en vacas con estrés térmico mediante el uso de eCG.....	87

Influencia de la experiencia del ecografista en la pérdida de gestación en vacas lecheras.....	99
Uso del protocolo G6G en segundas y posteriores inseminaciones.....	105
DISCUSIÓN.....	117
CONCLUSIÓN.....	129
BIBLIOGRAFÍA.....	134
ANEXO- PUBLICACIONES ASOCIADAS.....	182

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Número de vacas lecheras a nivel mundial, por país (en miles de cabezas).....	10
Gráfico 2. Porcentaje de cada clase de granja (en función del número de vacas lecheras) en las distintas regiones del mundo.....	11
Gráfico 3. Clasificación IFCN de las granjas en función del tamaño del rebaño.....	12
Gráfico 4. Producción de leche y recogidas en la UE (en millones de Tm). 2021.....	18
Gráfico 5. Número de vacas (millón de cabezas) y rendimiento lechero (kg/vaca) en la UE-15 y UE-13. 2021.....	19
Gráfico 6. Tamaño de granja (hembras>24 meses/granja). 2021	23
Gráfico 7. Evolución censo de hembras >24 meses en España hasta marzo de 2022.....	24
Gráfico 8. Evolución del censo de novillas (8–24meses) en España hasta marzo de 2022	26
Gráfico 9 Ganaderos con entregas declaradas de leche cruda 2021–2022.	26
Gráfico 10. Rendimientos por granja (kg/granja) por CC.AA., en 2016 y 2020	28
Gráfico 11. Entrega declarada de leche cruda en Tm. 2022.....	28
Gráfico 12. Distribución media de ingresos de las granjas lecheras españolas.....	34
Gráfico 13. Estructura de costes en las granjas típicas españolas. 2020.....	35
Gráfico 14. Retorno de la mano de obra (€/hora). 2020.....	36
Gráfico 15. Liquidez de las granjas típicas españolas expresada en porcentaje (%). 2018	36
Gráfico 16. Beneficio según cuenta de explotación excluyendo los pagos directos desacoplados e incluyendo el coste de oportunidad de la mano de obra familiar. 2020	37
Gráfico 17. Representación de los ingresos y costes totales de la actividad lechera expresados en €/100 Kg SCM. 2018.....	38
Gráfico 18. Relación entre productividad e intensidad de emisión de dióxido de carbono asociado a la producción de leche (promedios nacionales). 2011.....	45
Gráfico 19. Variación regional de la producción de leche de vacuno e intensidades de emisión de GEI. .	46

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del ganado bovino raza holstein frisian en 2010.....	6
Figura 2. Producción de leche de vaca en países seleccionados por el USDA. 2020.....	8
Figura 3. Consumo mundial de leche, queso y mantequilla (miles de Tm) en países seleccionados por el USDA, 2020.....	13
Figura 4. Variación del precio de la leche al inicio de la “crisis láctea” entre febrero y mayo de 2020.	14
Figura 5. Entregas de leche de vaca comparada entre 2018 y 2021.	17
Figura 6. Distribución geográfica de las Unidades y localización de las granjas típicas que integran RENGRAI, 2019.	22
Figura 7. Variación porcentual del tamaño de las explotaciones de vacuno de leche por CC.AA. Periodo 2015–2019.....	24
Figura 8. Censo de vacas de ordeño mayores de 24 meses (cabezas), por CC.AA en 2019..	25
Figura 9. Consumo per cápita de leche y productos lácteos por comunidad autónoma, l/kg por persona y año, 2018.....	32
Figura 10. Costes de producción de leche en 2017	35

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estratificación de la dimensión productiva en España (kg)	27
--	----

INDICE DE ABREVIATURAS

AECOSAN

Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición

AHDB

Junta de Desarrollo de la Agricultura y la Horticultura, del inglés *Agriculture and Horticulture Development Board*

AICA

Agencia de Información y Control Alimentarios

BEN

Balance energético negativo

CC

Condición corporal

CC.AA.

Comunidades autónomas

CEE

Comunidad Económica Europea

CH₄

Metano

CL

Cuerpo lúteo

CO₂

Dióxido de carbono

CR

Tasa de concepción o fertilidad, del inglés *Conception Rate*

CWG-SAP

Grupo de Trabajo Colaborativo en Producción Animal Sostenible, del inglés, *Working Group on Sustainable Animal Production*

DA

Días abiertos

DCanz

Asociación de Empresas Lácteas de Nueva Zelanda, del inglés, *Dairy Companies Association of New Zealand*

DE

Detección de celo

DEL

Días en leche

DG

Diagnóstico de gestación

Double- Ovsynch^{®®}

Variación del método Ovsynch[®] desarrollada por Souza *et al.* (2008) con dos inyecciones de GnRH separadas 17 días y entre medias una prostaglandina (PGF)

DOUE

Diario Oficial de la Unión Europea

eCG

Gonadotropina coriónica equina, del inglés *equine Chorionic Gonadotropin*

EE.UU.

Estados Unidos de América

ER

Eficiencia reproductiva

EU-13

Nuevos países que se han agregado a la Unión Europea desde 2004: Bulgaria, Croacia, Chipre, República Checa, Estonia, Hungría, Letonia, Lituania, Malta, Polonia, Rumania, Eslovaquia y Eslovenia

EU-15

Número de países miembros de la Unión Europea antes de la adhesión de 10 países candidatos el 1 de mayo de 2004. Comprendía a Austria, Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Países Bajos, Portugal, España, Suecia y Reino Unido

FAO

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FAWEC

Centro de Educación sobre Bienestar de Animales en Granja, del inglés *Farm Animal Welfare Education Centre*

FEGA

Fondo Español de Garantía Agraria

FEN-FINUT

Fundación Española de Nutrición - Fundación Iberoamericana de Nutrición

FENIL

Federación Nacional de Industrias Lácteas

FSH

Hormona folículo estimulante, del inglés *Follicle Stimulating Hormone*

G6G

Variación del Ovsynch® propuesta por Bello y Pursley en 2007, que consiste en poner una GnRH 6 días antes del método Ovsynch®

GEI

Gases efecto invernadero

GLEAM

Modelo global de evaluación ambiental de la ganadería, del inglés, *Global Livestock Environmental Assessment Model*

GnRH

Hormona liberadora de gonadotropina, del inglés, *Gonadotropin Releasing Hormone*

GOS

Galactooligosacáridos

ha

Hectárea. Valor igual a 10.000 metros cuadrados

hab/km²

Habitantes por kilómetro cuadrado

IA

Inseminación artificial

IATF

Inseminación artificial a tiempo fijo

ICFN

Red de comparación internacional agrícola del inglés, *International Farm Comparison Network*

INFOLAC

Sistema unificado de información del sector lácteo

INLAC

Organización Interprofesional Láctea

IP1ªIA

Intervalo parto primera inseminación artificial

IPCC

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, del inglés, *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IPP

Intervalo parto-parto o intervalo entre partos

LH

Hormona luteinizante, del inglés, *Luteinizing Hormone*

l/kg

Litros/kilogramo

LNGP

Leche con contenido normalizado de materia grasa y proteína

MAPA

Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación

MFGM

Membrana del glóbulo de grasa de la leche de vaca, del inglés, *Milk Fat Globule Membrane*

MITECO

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

N₂O

Óxido nitroso

OCDE

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

OCLA

Observatorio de la cadena láctea argentina

OCM

Organización Común de Mercados

ONU

Organización de las Naciones Unidas

Ovsynch®

Programa de sincronización planteado por Pursley en 1995, que sincroniza el desarrollo folicular, la regresión lútea y la ovulación, pudiendo efectuarse la inseminación a tiempo fijo sin necesidad de detección del celo

PEV

Periodo de espera voluntario

PL

Pérdidas de gestación, del inglés, *Pregnancy Loss*

PR

Tasa de preñez, del inglés, *Pregnancy Rate*

Presynch-10

Modelo de sincronización planteado por Stevenson en 2011, que consiste en aplicar dos inyecciones de PGF con una diferencia de 14 días a 10 días del Ovsynch®

Presynch-11

Método de sincronización planteada por Galvão *et al.* (2007), consistente en dos inyecciones de PFG administradas con una diferencia de 14 días, 11 días antes del Ovsynch®

RACVE

Real Academia de las Ciencias Veterinarias de España

RENGRATI

Red Nacional de Granjas Típicas

Resynch-21d**RPO**

Compensación de retención equivalente, del inglés, *Projected Relative Profit*

SCAR (Grupo)

Comité Permanente de Investigación Agropecuaria, del inglés, *Standing Committee for Agricultural Research*

SCM

Leche corregida por sólidos (4,0% de grasa y 3,3% de proteína verdadera). Factor de corrección $\% \text{ de grasa} + \% \text{ proteína verdadera} / 7,3$

SENC

Sociedad Española de Nutrición Comunitaria

SILAC

Sistema de Información Lácteo de la Interprofesional Láctea Inlac

SITRAN

Sistema Integral de Trazabilidad Animal

THI

Índice de Temperatura y Humedad, del inglés, *Temperature-Humidity Index*

Tm

Toneladas métricas

TMR

Alimentación con todos los componentes de la ración mezclados, del inglés, *Total Mixed Ration*

Toneladas de CO₂-eq

Toneladas equivalentes de CO₂ es la cantidad de gases de efecto invernadero, expresada como el resultado del producto del peso de los gases de efecto invernadero en toneladas métricas por su potencial de calentamiento atmosférico

UAB

Universidad Autónoma de Barcelona

UE

Unión Europea

UE-27

Unión Europea en referencia a la totalidad de Estados miembros

UG

Unidad ganadera: equivalente a una cabeza de ganado de referencia. Las unidades ganaderas se emplean en estadística y economía con el propósito de poder realizar análisis globales y comparativos de las explotaciones ganaderas

UPA

Unión de Pequeños Agricultores y Ganaderos

USDA

Departamento de Agricultura de Estados Unidos del inglés, *United States Department of Agriculture*

5DO

5-day Ovsynch. Método de sincronización planteada por Bisinotto *et al.* (2010) que consiste en una dosis de GnRH el día 0, dos dosis de prostaglandina los días 5 y 6, GnRH el día 7 (tarde) y finalmente IATF el día 8

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

1 La leche en el mundo

La leche es el fluido biológico que segregan las hembras de los mamíferos cuyo papel es aportar la energía y los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo del recién nacido de la especie correspondiente durante los primeros meses de vida. El ser humano, a diferencia del resto de los animales, consume la leche de otras especies de mamíferos para alimentarse, bien de forma directa o mediante la elaboración de productos lácteos. En el caso de Europa Occidental, el consumo de lácteos se basa en la leche de vaca y sus derivados, seguida de las de cabra y de oveja (Baró *et al.*, 2010).

La leche es un elemento nutritivo fundamental en la alimentación humana durante cualquier etapa de la vida (Marangoni *et al.*, 2019). Desde el Neolítico, el hombre ha utilizado la leche de diferentes especies, en particular de los rumiantes, ya que posee un elevado valor nutritivo debido a su composición (FEN-FINUT 2015). Las campañas que promueven una menor ingesta de productos lácteos debido a dudas en su efecto beneficioso sobre la salud humana tienen una influencia negativa en el consumo de los productos lácteos y a pesar de su extraordinario valor nutricional en la nutrición humana, la leche y los derivados se han convertido, cada vez más, en objeto de debate en el ámbito científico. Este cuestionamiento se centra en el ámbito pseudocientífico, a través de medios de comunicación, prensa no especializada y redes sociales, donde suele aparecer información arbitraria, y a menudo engañosa, que difunden información sobre lácteos y efectos en la salud, con muy poca base científica o con una interpretación sesgada o incorrecta de algunos estudios publicados, lo que ha contribuido al descenso del consumo de leche en España en los últimos años (Fernández Fernández *et al.*, 2015; Ortega *et al.*, 2019; Marangoni *et al.*, 2019). Teniendo en cuenta los datos acumulados durante el 2021 (enero-noviembre) por el MAPA, el consumo de leche en España desciende un 4,9%, el de leche fermentada un 4,4% y el consumo de quesos un 10,9% (MAPA, 2022).

La leche y los productos lácteos son fuente principal de calcio y riboflavina y son una de las tres fuentes principales de proteínas de alto valor biológico, proporcionando todos los aminoácidos esenciales en cantidades elevadas, y también cobalamina (vitamina B12), vitamina A, magnesio y zinc. Son fuente de hidratos de carbono, fundamentalmente lactosa, grasas, otros minerales como fósforo, yodo y selenio, y otras vitaminas como la piridoxina (B6), niacina (B3), biotina (B8)

y ácido pantoténico (vitamina B5), así como ácidos grasos esenciales y algunos antioxidantes (Ortega *et al.*, 2019; Khan *et al.*, 2019). Esto la convierte en un alimento muy rico para la población general y particularmente niños, embarazadas y ancianos, siendo difícil obtener estos nutrientes en las cantidades recomendadas si restringimos el consumo de lácteos (Rozemberg *et al.*, 2016). La grasa de la leche y sus derivados tiene una composición compleja con importantes funciones biológicas como la de vehicular las vitaminas liposolubles (A, D, E y K). Los ácidos grasos de cadena corta y media que aportan los lácteos presentan actividad antiviral y antibacteriana, teniendo el ácido butírico en concreto, además de actividad antimicrobiana, efecto antiinflamatorio, que favorece la salud intestinal y se asocia con menor incidencia de cáncer de colon (Salas-Salvadó *et al.*, 2018; Shiotani *et al.*, 2019; Tricarico *et al.*, 2020). La lactosa, a su vez, aumenta la absorción de calcio (Ilesanmi-Oyelene *et al.*, 2020). Otros componentes como nucleótidos, poliaminas y galactooligosacáridos (GOS) juegan un papel fundamental en el control del crecimiento y desarrollo. Por ejemplo, el de las poliaminas en la maduración del tubo digestivo del lactante o los GOS, que mejoran el equilibrio mineral y la estructura ósea. Los GOS además, provocan un aumento de bífidobacterias en el intestino, estableciendo la microbiota o manteniéndola (efecto prebiótico). La vitamina D por su parte, regula algunos aspectos de la expresión génica en la etapa inicial del desarrollo (Fischer *et al.*, 2018; Ilesanmi-Oyelene *et al.*, 2020). Las principales recomendaciones de consumo de alimentos, guías y objetivos nutricionales alimentarios asocian el consumo de leche y los productos lácteos a dietas variadas, más saludables y de mayor calidad (FEN, 2020; Comisión Europea, 2019; 2015–2020 *Dietary Guidelines for Americans*). Su consumo no se asocia, e incluso previene la obesidad en niños, adolescentes y adultos jóvenes (Geng *et al.*, 2018; Dougkas *et al.*, 2019; White *et al.*, 2020). Los lácteos también aportan péptidos bioactivos (fragmentos específicos de las proteínas de la leche generados tras su digestión) que, además de su valor nutricional, regulan procesos fisiológicos importantes por sus propiedades antimicrobianas, inmunomoduladoras, antihipertensivas y antitrombóticas. Además, favorecen el transporte y la absorción de minerales, ya que pueden atravesar el epitelio intestinal y llegar a tejidos periféricos a través de la circulación sistémica (Salas-Salvadó *et al.*, 2018; Ortega *et al.*, 2019). Las membranas de los glóbulos grasos de leche bovina (MFGM por sus siglas en inglés), incluidos en diversas fórmulas lácteas para bebés, se han asociado con efectos saludables (Zabaleta *et al.*, 2011; Timby *et al.*, 2014; 2015; 2017; He *et al.*, 2019) como protección frente a la obesidad (Baars *et al.*, 2016; Lecomte *et al.*, 2016; Norris *et al.*, 2016, 2017; 2019) y mejora de la función cognitiva (Liu *et al.*, 2014; Moukarzel *et al.*, 2018). El consumo de leche se ha asociado, asimismo, con un menor riesgo de enfermedad cardiovascular, coronaria e infarto de miocardio, hipertensión arterial, cáncer colorrectal y

vejiga, diabetes tipo 2 y síndrome metabólico (*World Cancer Research Fund International*, 2018, Salas-Salvadó *et al.*, 2018; Gil *et al.*, 2019).

Por otro lado, la leche juega un papel clave en el tratamiento de la desnutrición tanto en los países industrializados (donde casi todos los productos utilizados para la alimentación enteral de niños y adultos desnutridos hospitalizados son a base de leche) como en los países en vías de desarrollo, donde las dietas infantiles implican un bajo nivel de ingestión de grasas y un acceso limitado a otros alimentos de origen animal (Stobaugh *et al.*, 2016; Suri *et al.*, 2016; Grenov *et al.*, 2016; 2018). El uso de productos lácteos en bebés y niños pequeños es reconocido por su eficacia en cuanto al aumento de la supervivencia infantil, mejora en el crecimiento (Muehlhoff *et al.*, 2013; Headey *et al.*, 2018) y también, en la función cognitiva (Balehegn *et al.*, 2019).

De hecho, la leche es, a nivel mundial, el quinto mayor proveedor de energía y el tercer gran proveedor de proteínas y grasas para los seres humanos (DDOR *Global Dairy Fact*, 2019). Concretamente proporciona el 3—4% del suministro de energía alimentaria en África y Asia, en comparación con el 9% en Europa y Oceanía; el 6—8% del suministro de proteínas alimentarias en África y Asia, en comparación con el 19% en Europa; y el 7% de las grasas alimentarias en África y Asia, en comparación con Europa, Oceanía y las Américas, donde proporciona el 12—14% (FAO, 2019). También se han utilizado con éxito otros productos lácteos en el tratamiento de la desnutrición moderada en los niños, como es el caso de las leches fermentadas (yogur y productos similares; Givens, 2020).

Sin embargo, la leche y sus derivados no son sólo de gran importancia en la población infantil y adolescente, sino también en la población mayor de 65 años, que pueden tener dificultades para cubrir sus necesidades nutricionales como consecuencia de su dificultad para ingerir algunos alimentos. En este caso, los lácteos cobran un papel fundamental al ser alimentos apetecibles, de fácil consumo y masticación, que pueden satisfacer los requerimientos energéticos aportando además nutrientes importantes en esta etapa de la vida, como proteínas, calcio, vitamina B12, vitamina D, vitamina B2 (FENIL, 2014), pudiendo reducir el riesgo de fragilidad, sarcopenia y fracturas vertebrales (Gil *et al.*, 2019; Ortega *et al.*, 2019, Givens, 2020).

Han quedado patentes los beneficios del consumo regular de leche. Para garantizar el abastecimiento a nivel mundial de este producto en cantidad y en calidad adecuada para su consumo, es fundamental un sistema de producción profesionalizada.

1.1 Importancia de la producción y consumo de leche en el mundo

La producción lechera tiene una gran importancia social y es esencial para el desarrollo económico y para la sostenibilidad de las comunidades en áreas rurales (Doupbrate *et al.*, 2013). Es el soporte económico de unos 1.000 millones de personas en todo el mundo, ya que los 120 millones de granjas de vacuno de leche que existen crean 71 millones de puestos de trabajo (charla IFCN- Alltech, 2019).

Bajo la denominación de bovinos se conoce a los mamíferos herbívoros domesticados del género *Bos*, pertenecientes a la familia de los bóvidos (Bovidae), de gran importancia para el hombre, dado que son la base de la producción de leche, carne y otros productos comerciales como el cuero o la gelatina, desde los inicios de la domesticación de los animales (Wilson y Reeder's; 2005; Myers, 2018; AECOSAN, 2014). En comparación con otras especies animales, el ganado vacuno presenta muchas ventajas referentes a la producción lechera como facilidad de ordeño, tamaño de la ubre y nivel productivo, lo cual influye positivamente en el rendimiento lechero (**¡Error! Referencia de hipervínculo no válida.**). Por todos estos factores representa la mayor parte del total de la producción lechera mundial, alrededor de un 82%, seguido por la de leche de búfala (14%), de cabra (2%) y de oveja (1%) o camella (0,3%; FAO, 2019).

Las razas lecheras especializadas se utilizan casi exclusivamente en regiones templadas y desarrolladas. Dentro del bovino productor lechero, la raza holstein o frisona es la predominante a nivel mundial desde, al menos, los últimos 40 años, debido al éxito de la selección encaminada a la mejora de la producción de leche (Heins *et al.*, 2012), estando presente en todas las regiones y en más de 150 países (FAO, 2019; **Figura 1**).

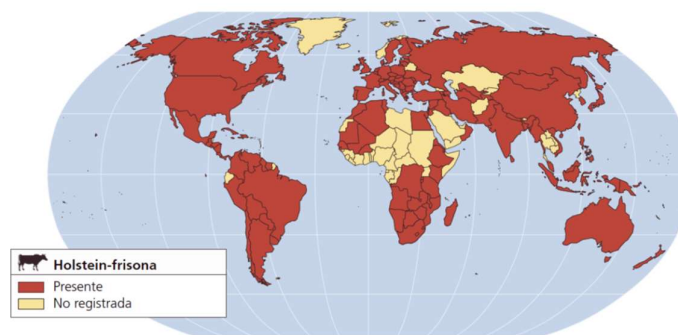


Figura 1. Distribución del ganado bovino de raza holstein frisian en 2010. Situación de los recursos zoogenéticos mundiales para la alimentación y la agricultura (FAO 2010).

1.1.1 Producción de leche a nivel mundial

En los países desarrollados casi toda la producción es de leche bovina, mientras que, en los países en desarrollo, aproximadamente un tercio de la producción lechera procede de búfalos, cabra, camellos y ovejas. Además, en muchos de estos países en desarrollo la productividad es baja por el acceso a alimentos de baja calidad para los animales, mayor incidencia de enfermedades debido a una baja dotación de servicios de salud, bajo potencial genético, capacitación insuficiente y poco acceso a mercados y al crédito. El clima muy cálido y húmedo, presente en muchos de ellos tampoco resulta favorable para la producción lechera bovina (Gomes y Oddone, 2017).

La producción de leche de vaca supone, aproximadamente, $\frac{3}{4}$ de la producción lechera del África subsahariana, alrededor del 60% en Asia y casi la totalidad de la leche producida en América Latina. En estas regiones, la raza predominante es el cebú (*Bos indicus*) y sus cruces, particularmente en los trópicos húmedos (Portal lácteo FAO, 2019), en contraposición a la raza holstein predominante en el resto del mundo.

En la parte del mundo que denominamos “desarrollada”, casi toda la leche procede de ganado vacuno, con una tendencia a la reducción del censo global de cabezas y de granjas, pero con un aumento claro de la productividad por vaca (Cruz, 2011). A pesar de esta tendencia global, los rendimientos lecheros varían ampliamente entre países, debido fundamentalmente a las diferencias en los sistemas de producción.

El crecimiento de la producción mundial de leche de vaca en 2019 fue del 1,4%, menor del esperado (2,3%), impulsado fundamentalmente por India, tercer país productor mundial con 95,2 millones de Tm (RENGRATI, 2020), Oceanía, África y Oriente. A pesar de los problemas del mercado a consecuencia de la pandemia de COVID-19 y que las exportaciones mundiales de productos lácteos disminuyeron por las dudas de los países importadores, la producción mundial de leche resistió (FAO 2020), creciendo un 1,94% en 2020 respecto a 2019, según la OCLA (**Figura 2**). En los primeros meses de 2021 se observó un fuerte crecimiento de la producción de leche, +2,4% de crecimiento interanual (excluyendo India y Pakistán; Informe SILAC-IFCN, 2021), principalmente debido a la producción en América del Norte y Asia. Esto se ha debido a la constante modernización de las granjas chinas y la acción de las cooperativas de las aldeas en la India y Pakistán (FAO, 2020). La UE-27 tiene la mayor producción (155,9 millones de Tm), seguida por EE. UU. con 100,8 millones de Tm (RENGRATI, 2020) y ambas marcan el ritmo de crecimiento mundial por su alta participación tanto en la producción como en el comercio internacional

(OCLA, 2021; Informe SILAC-IFCN, 2021). Sin embargo, se producen aumentos moderados en América Central, Caribe, Oceanía y África, compensados en parte por ligeros descensos en la UE y Sudamérica (FAO, 2020).

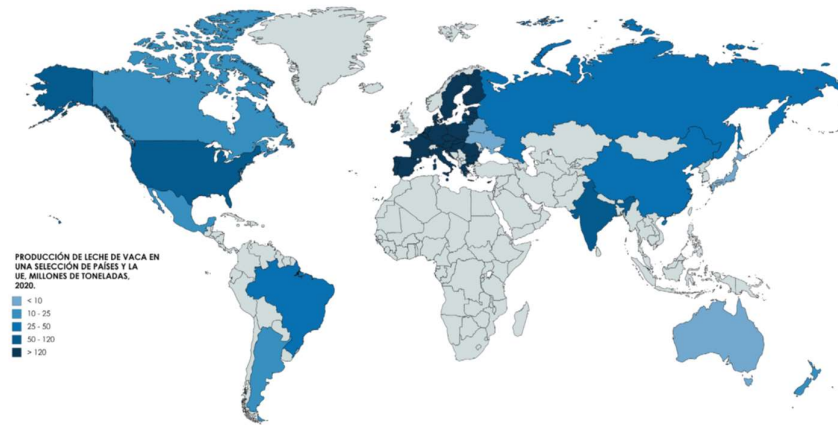


Figura 2. Producción de leche de vaca en países seleccionados por el USDA, cuya producción total fue de 529 millones de toneladas en el 2020. Elaborado por RENGRAFI. Fuente: United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service, 2020.

La pandemia de COVID-19 sigue afectando tanto la producción como los precios a consecuencia del alto coste de los piensos y la menor demanda en hostelería. Sin embargo, ha estimulado la demanda de productos lácteos a nivel minorista, en China principalmente, debido a “que se promueven como un producto saludable y hay una creciente concienciación sobre la nutrición” (Informe SILAC-IFCN, 2021). Nueva Zelanda recupera la producción (OCLA, 2021), beneficiada por esta situación, dada su proximidad al país asiático. Este país produce aproximadamente el 3% de la leche mundial, aunque exporta el 95% de la leche que produce, fundamentalmente en polvo (DCanz, 2019). Además, los países quieren tener garantía de abastecimiento acumulando producto en forma de leche en polvo (Informe SILAC-IFCN, 2021).

En Australia, donde la producción continúa siendo muy estacional en las regiones lecheras del sureste, ligadas a los pastos, disminuye la producción de leche (-0,1%) a causa del incremento de los costes y las condiciones climáticas, aunado a que los precios de propiedades y ganado han subido y aprovechan para su venta (IFCN-Alltech, 2019; Informe SILAC-IFCN, 2021).

Llama la atención el aumento de la producción de los principales países importadores (2,6% entre enero y mayo de 2021), como son China, Rusia y América latina, debido

fundamentalmente al crecimiento de la primera. Ya en 2017 se preveía un consumo en Asia meridional cifrado en un 125% para el 2030, por lo que su producción y el sector productivo se incrementará en general en el mundo, aún más (Montesdeoca *et al.*, 2017). China ha aumentado un 4,5% su producción de leche, estimulada por las inversiones realizadas con granjas muy grandes, mejora de la calidad y producción de la leche, los altos precios de leche en granja, así como la demanda local de leche líquida. En Rusia, a pesar del elevado precio de la leche en granja y del desarrollo de empresas, el crecimiento se ralentiza ligeramente (+1,3%; frente al +2,7% en 2020), debido a la situación económica y la disminución de subvenciones. Por su parte, todos los países latinoamericanos excepto Brasil aumentaron en un 1,3% su producción en 2021, gracias a las inversiones y el aumento del rendimiento lechero. Todo ello a pesar de la devaluación general en toda Latinoamérica, que condujo a mayores costes en la producción de leche, limitando el tamaño de los rebaños y los ingresos de los ganaderos (IFCN-Alltech, 2019; Informe SILAC-IFCN, 2021, FAO *Dairy Market Review*, 2021).

El crecimiento de la producción en la segunda mitad del 2021 hasta mediados de 2022 puede verse significativamente limitado por la evolución del precio de los piensos, ya que, si siguen altos y la demanda se ralentiza, ejercerán mayor presión sobre los márgenes de los ganaderos.

A futuro, la sostenibilidad medioambiental será un importante motor de producción. Se estima que, en 2030, el crecimiento de la producción de leche en Nueva Zelanda disminuirá (0,4% anual), pero los rendimientos lecheros serán mayores; al igual que en los EE.UU., donde la producción podría crecer un 0,8% anual. La UE será la que más contribuirá al aumento de la producción de leche mundial, en torno al 7% (*European Commission*, 2021).

1.1.2 Granjas de bovino lechero en el mundo: censos y eficiencia

El censo de vacas a nivel mundial fue, aproximadamente, de 138 millones en 2021 (**Gráfico 1**. USDA, 2021, Statista, 2022), localizadas principalmente en India (58 millones), seguido por la UE-27 (22,5 millones) y Brasil (16,4 millones). Si consideramos la evolución de estos, África destaca por ser la zona que más ha crecido, junto a América y Asia, mientras que en Europa y Oceanía, disminuyen los censos (RENGRATI, 2020).

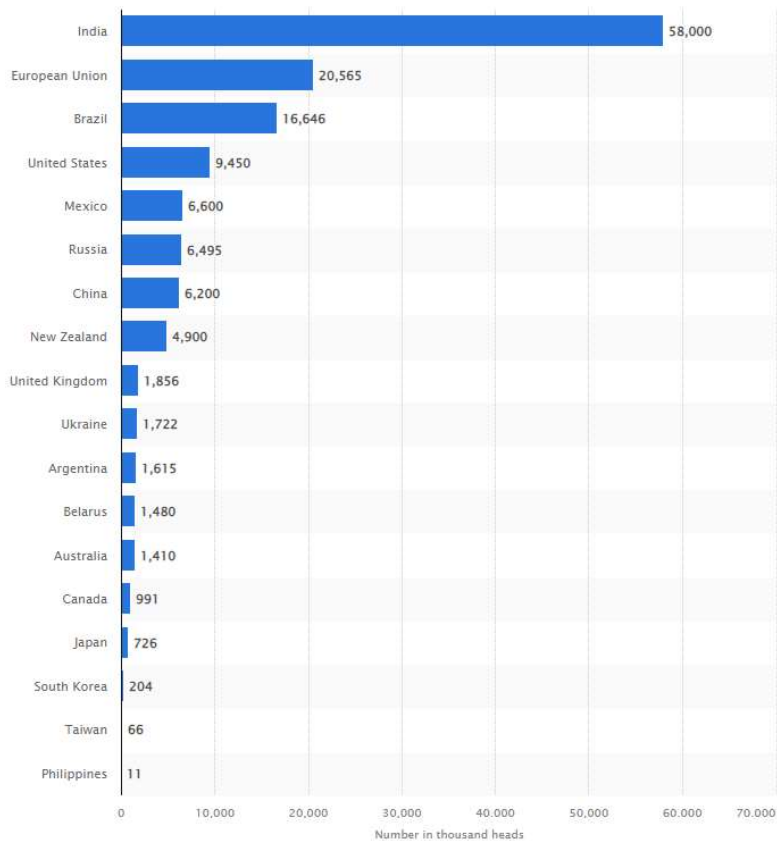


Gráfico 1. Número de vacas lecheras a nivel mundial, por país (en miles de cabezas). Elaborado por Statista 2022 según los datos de USDA 2021 (<https://www.statista.com/statistics/869885/global-number-milk-cows-by-country/>).

Tanto la distribución de granjas según tamaño, como su cantidad son dinámicas y su análisis aporta elementos para entender hacia dónde se dirige el mercado global de la producción de leche. A nivel mundial, hay 116 millones de granjas con un promedio de 3,2 vacas/granja, pero en general, están experimentando un profundo cambio estructural. Durante el periodo de 1996 a 2014 se observa en India un aumento del censo en las granjas de 30 a 100 animales (Reyes, 2018). En Brasil el aumento de censo por granja es mucho más marcado, y en Estados Unidos la tendencia de aumento en el número de las granjas con más de 1.000 animales es aún más clara. Todo ello lleva a plantearse el problema de la resiliencia de las granjas en tiempos de bajos precios de la leche y la importancia de la rentabilidad de estas. Dentro de la Unión Europea se observa la misma tendencia, apreciándose una disminución del número de granjas pequeñas y medianas (10 – 30 y 30 – 100) y el aumento de las grandes (100 – 300; Reyes, 2018). Ante esta perspectiva, debe tenerse en cuenta que, aunque cierto número de granjas abandonara el

mercado, la granja promedio en la UE y los EE. UU. experimentó un aumento anual del 8% en la producción de leche entre 2013–2018 gracias a los aumentos en la producción individual y del tamaño del rebaño (IFCN, 2019). La tendencia, por tanto, es a un progresivo aumento de la profesionalización y del tamaño de las granjas, acercándose al modelo de Estados Unidos o de Nueva Zelanda (**Gráfico 2**).

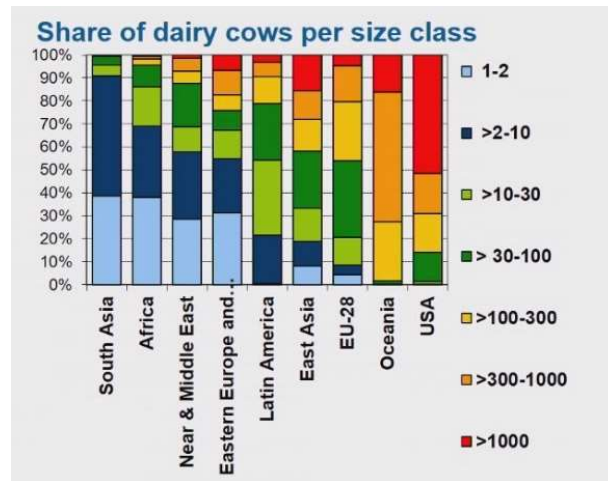


Gráfico 2. Porcentaje de cada clase de granja (en función del número de vacas lecheras) en las distintas regiones del mundo. IFCN 2019.

Estados Unidos se mantiene como uno de los mayores productores de leche de vaca a nivel mundial gracias, tanto a sus recursos naturales, como a la introducción de prácticas agrícolas más eficientes. La mayoría de las granjas son de propiedad familiar. La vaca promedio de EE.UU. produce 10.150 kg de leche/lactación. Esto se compara con la producción por vaca de alrededor de 6.200 kg en la Unión Europea, 5.800 kg en Australia y 4.100 kg en Nueva Zelanda (USDA, 2020). Sin embargo, la tendencia en EE.UU. es la misma que en el resto del mundo, donde el número de granjas disminuye de forma constante mientras que el tamaño medio de granja y su producción aumenta de forma más o menos mantenida, dependiendo del clima (**Gráfico 3**).

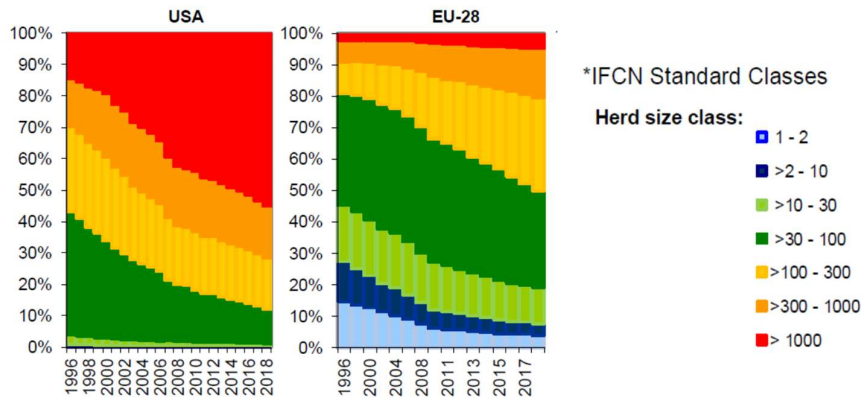


Gráfico 3. Clasificación IFCN de las granjas (Red de Comparación Internacional Agrícola, del inglés, International Farm Comparison Network) en función del tamaño del rebaño. Considera siete clases definidas por igual para todos los países. Los datos de las estadísticas nacionales se asignaron a las clases individuales para el número de vacas y granjas. IFCN 2019.

1.1.3 Consumo mundial de leche y productos lácteos

Considerado en volumen, la leche líquida es el lácteo más consumido en todo el mundo en desarrollo. De hecho, más de 6.000 millones de personas en el mundo consumen leche y productos lácteos. Desde 1960, el consumo de leche per cápita de los países en desarrollo se ha casi duplicado. Sin embargo, su consumo ha aumentado más lentamente que el de otros productos pecuarios, como la carne, que se ha triplicado o el de los huevos, que se ha quintuplicado (FAO 2019).

El consumo de leche líquida está liderado por la India, con 80,8 millones de Tm consumidas en 2020, seguida por la UE-27 (33,26 millones de Tm) y Estados Unidos (21,4 millones de Tm; **Figura. 3**).

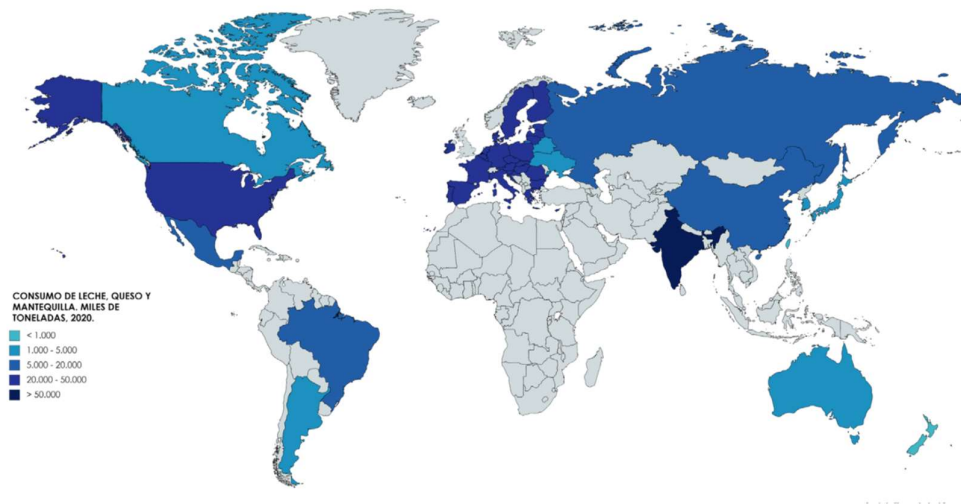


Figura 3. Consumo mundial de leche, queso y mantequilla (miles de Tm) en países seleccionados por el USDA, 2020. Elaborado por RENGRATI 2020. Fuente: United States Department of Agriculture Foreign Agriculture Service 2020.

El consumo de leche líquida per cápita es, según datos de la FAO (2019) y de USDA (2020) el siguiente:

- Elevado (>150 kg per cápita/año): en América del Norte, Argentina, Armenia, Australia, Nueva Zelanda, Costa Rica, Europa, Israel, Kirguistán y Pakistán.
- Medio (30–150 kg per cápita/año): en India, Japón, Canadá, Kenia, México, Mongolia, Nueva Zelanda, República Islámica de Irán, África septentrional y meridional, la mayoría de Oriente Próximo y la mayor parte de América Latina y el Caribe.
- Bajo (<30 kg pc/año): en Vietnam, Senegal, la mayoría de África central y la mayor parte de Asia oriental y sudoriental.

1.1.4 Demanda mundial de leche y productos lácteos. Precios

La demanda de productos lácteos se ha incrementado un 60% en los últimos 20 años y desde el año 2007 crecía una media del 3% anual (Conferencia Anual de Alltech-IFCN, 2019).

Desde 2019 la demanda se ha ralentizado, consecuencia del aumento de consumo de productos alternativos a la leche en los países ricos y la baja disponibilidad de leche en los países con economías emergentes.

Bajo estas circunstancias el precio de la leche aumentó un 6% de media mundial (IFCN, 2020) y un 1,9% en Europa (Informe SILAC-IFCN, 2021), pero no supuso un desahogo para muchas granjas en UE y EE. UU. De hecho, hay que tener en cuenta, observando el margen global del IFCN sobre el coste del pienso, que los márgenes que obtienen los ganaderos son muy ajustados desde hace dos años (IFCN 2020; Informe SILAC-IFCN, 2021). A mediados de 2020 los precios descendieron un 4,6% y el IFCN (Red de Comparación Internacional Agrícola, del inglés, *International Farm Comparison Network*) identifica como “epicentro de la crisis láctea” a dos países: Estados Unidos e India, con caídas del -29% y -19%, respectivamente (IFCN, 2020; **Figura 4**).

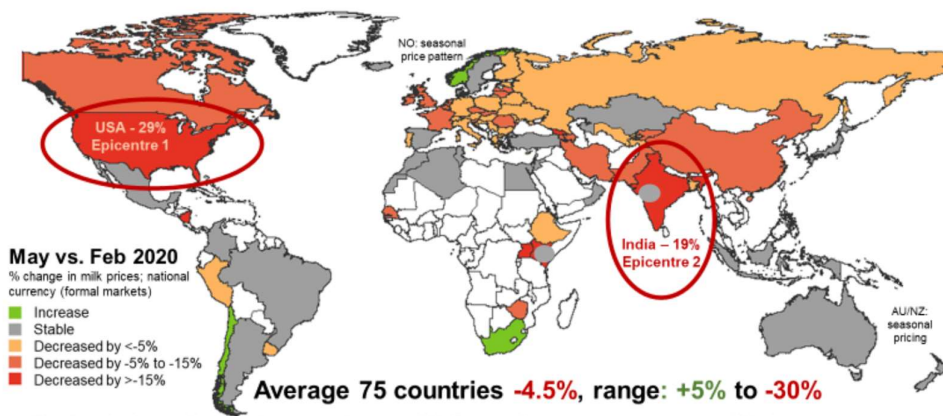


Figura 4. Variación del precio de la leche al inicio de la “crisis láctea” entre febrero y mayo de 2020. IFCN Dairy Conference 2020.

Finalmente, aunque la pandemia impactó de forma diferente según las regiones; tanto en los países desarrollados como en regiones de Asia, en 2020 aumentó la demanda (FAO, 2020) y el Indicador del Precio Mundial de la Leche IFCN comenzó a subir a finales del 2020, manteniéndose hasta abril del 2021 y comenzando a descender de nuevo en mayo.

A futuro, el precio mundial de la leche dependerá de la demanda interna (si continúa la demanda minorista y aumenta la proveniente de la restauración) y de la importación, dependiente, a su vez, de la recuperación económica y de que la sociedad tome conciencia de la salubridad del producto. También influye la competencia que haya entre los países exportadores y la oferta de leche y por último, las condiciones meteorológicas son determinantes (Informe SILAC-IFCN, 2021).

La mayor incertidumbre durante el 2021 fue el aumento de la demanda, ya que puso de manifiesto el “impacto real de la COVID-19 en el gasto y el poder adquisitivo de los consumidores”.

2 Producción de leche de vaca en Europa

El sector bovino lechero europeo, conjuntamente con el mercado de la leche y los productos lácteos, ha sido uno de los sectores agrarios con mayor importancia económica (*European Commission*, 2017) y geopolítica, asociado al mantenimiento de la renta agraria y al anclaje de la población a las áreas rurales (Gámiz Ramírez, 2011).

En las décadas posteriores a la 2ª Guerra Mundial, el consumo de leche comenzó a disminuir en Europa, mientras que el consumo de productos lácteos (queso, yogur o mantequilla) aumentó, tendencia que se ha mantenido a lo largo del s. XX y hasta la actualidad (Collantes, 2014; RENGRATI, 2020).

La producción de leche y productos lácteos está integrada en la Organización Común de Mercados (OCM), establecida en 1964. Esta, mediante el Reglamento (CEE) nº 804/68 del Consejo, de 27 de junio de 1968, fijaba un precio indicativo para la leche, precios umbral para determinados productos lácteos piloto que sirviesen para fijar el precio de las importaciones y un precio de intervención de la mantequilla con el fin de implantar las bases para potenciar y proteger el mercado europeo del resto de mercados mundiales (DOUE, 1968).

El constante aumento de la producción y el desequilibrio entre oferta y demanda llevó a la UE a establecer el sistema de cuotas en 1984, modificando el Reglamento 804/68 por el nº 856/84 del Consejo, de 31 de marzo de 1984. A partir de este momento se suceden una serie de modificaciones del Reglamento y creación de nuevas medidas con el objetivo de aportar estabilidad al sistema (regímenes de intervención de excedentes, ayudas al almacenamiento privado, ayuda a la comercialización, establecimiento de normas de comercialización y denominación de la leche o el sistema de cuotas; DOUE, 1984; OCDE-FAO, 2009).

Sin embargo, desde 2003 el sector lácteo se ha visto afectado por la desregularización progresiva del mercado (*European Commission*, 2009b), disminuyendo el apoyo al precio interno de los lácteos por las compras en intervención (Comisión Europea, 2010a). En consecuencia, se ha

favorecido el desarrollo de tres grandes crisis en cuanto a márgenes de la leche; 2009, 2012 y 2015, coincidiendo, esta última, con la eliminación de las cuotas (*European Commission, 2018*).

La eliminación de las medidas expuestas anteriormente asociadas al sistema de cuotas lecheras ha provocado que el mercado europeo adquiriera la misma volatilidad que el internacional. La producción europea supone tan sólo un 7% de la producción mundial y el comercio exterior de leche cruda es insignificante, pudiéndose producir variaciones drásticas en los precios ante pequeños desequilibrios en la balanza comercial. La situación ha empezado a mejorar en 2017, debido a la disminución de recogida de la leche y el aumento de la demanda de grasas y queso (*European Commission, 2018*).

2.1 El sector lácteo en Europa

En la actualidad, el sector lácteo es el segundo sector agrícola más grande de la UE y representa más del 12% de la producción agrícola total. El 97% de toda la leche producida en la UE procede de ganado bovino y el 92% de esta leche es entregada a industrias lecheras, de la cual, el 20% se procesa para su consumo como leche líquida, un 10% en otros productos lácteos frescos y el 70% restante se destina a la producción de derivados lácteos no frescos (queso, leche en polvo y mantequilla; *European Parliament, 2017*).

Los principales productores son Alemania, Francia, Polonia, Países Bajos, Italia y España, los cuales representan casi el 70% de la producción de la UE (Comisión Europea, 2021).

El total de la producción lechera de la UE se estima en unos 155 millones de toneladas anuales (Comisión Europea, 2021). En 2020, el sector estaba formado por 700.000 granjas. Al haber mejorado el rendimiento lechero por vaca, el rebaño lechero de la UE ha ido disminuyendo durante los últimos años. En 2018 había en la UE alrededor de 21 millones de vacas, con una media de 7.000 kilos de leche por animal (según datos del *Annual Report of the European Dairy Association*, Comisión Europea, 2021). El censo total de vacas lecheras en la UE en el 2020, tras el Brexit, fue de 20,5 millones, un 1,1% menos que en el 2019 (AHDB, 2021).

La producción de leche aumentó y los mercados se diversificaron tras la abolición del régimen de cuotas, especialmente para exportación, (*European Parliament Research Service, 2018*) dada la previsión del aumento de la demanda mundial de productos lácteos [Informe del Parlamento Europeo 2015 sobre las perspectivas del sector lácteo e la UE- revisión de la aplicación del “paquete lácteo”; 2014/2146(INI)]. Actualmente, la UE es la segunda región con mayor

exportación de leche en polvo, mantequilla y la primera en exportación de queso (RENGRATI, 2020).

En la UE, la producción de leche siguió aumentando en 2019, alcanzando los 7.346 kg por vaca lechera. Como promedio nacional, los rendimientos aparentes fueron más altos en Dinamarca (9.973 kg por vaca), Estonia (9.656 kg por vaca) y España (9.178 kg por vaca) y los más bajos en Bulgaria (3.627 kg por vaca) y Rumanía (3.217 kg por vaca; Eurostat, 2021). Sin embargo, la cantidad de leche recogida durante los cinco primeros meses de 2021 fue un 20% menor que en el mismo periodo de 2020 (*European Commission- Milk Market Situation, 2021; Figura 5*).

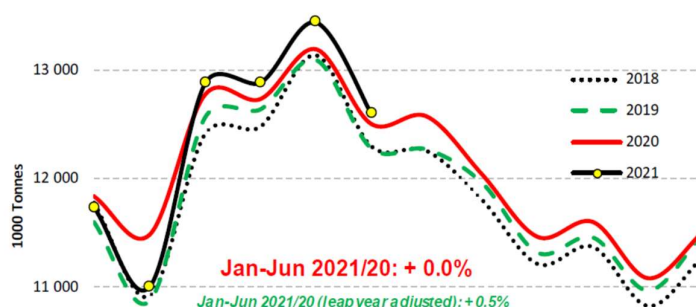


Figura 5. Entregas de leche de vaca comparada entre 2018 y 2021. Fuente: Estat (Newcronos) – MS notifications – CLAL(IT), European Commission-Milk Market Situation, August 2021.

Durante el 2020–2021 se produjo un crecimiento en toda la UE del +1,1%, del +0,9% si consideramos la UE-15 y del +2,2% en la UE-13. En el 2021, los ganaderos se vieron obligados a ajustar la producción debido al menor crecimiento de los pastos por las bajas temperaturas y las nevadas acaecidas a principios de ese año, sumado a la escasez de producción de piensos propios y su alto precio (Informe SILAC-IFCN, 2021).

Durante el 2021 se espera constatar un aumento de la producción hasta 162 millones de Tm (**Gráfico 4**), pero a un menor ritmo que el que se había experimentado antes, debido a mayores requisitos ambientales (reducción de fosfatos, nitratos y emisiones GEI) y la mayor diferenciación de los productos lácteos como los ecológicos o a base de pastos, reflejo de la creciente importancia y mayor participación de los productos con valor añadido (*European Commission, 2020*). De hecho, se espera que la proporción de la producción de leche ecológica sea del 10% en 2030 frente al 3,5% en 2018 (*European Commission, 2021*).

Según las previsiones del informe de proyección de los mercados agrícolas europeos de la Comisión Europea, para 2030, se espera que la UE siga siendo el mayor exportador de productos lácteos del mundo, debido a la creciente demanda mundial de leche desnatada en polvo. Esta

situación se espera que ayude a aumentar el precio de la leche cruda y la demanda de los productos lácteos en la UE, respaldados por el valor nutritivo de los mismos y la imagen saludable que están recuperando (European Commission, 2021).

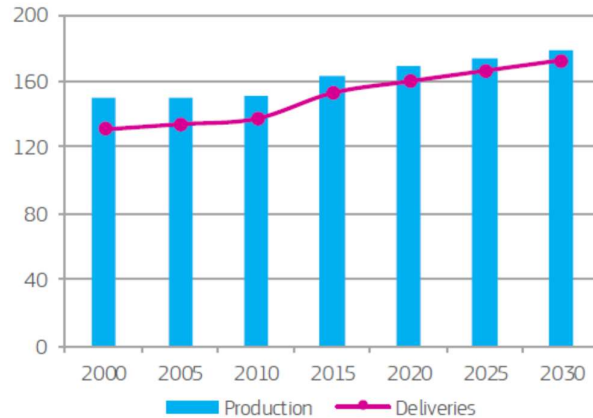


Gráfico 4. Producción de leche y recogidas en la UE (en millones de Tm). Fuente: EU Agricultural Outlook. For markets and income 2019–2030. European Commission 2021.

2.2 Granjas de bovino lechero en Europa: censos y eficiencia

El tamaño de granja, los rendimientos y los tipos de agricultura varían ampliamente desde las zonas alpinas hasta las grandes granjas lecheras especializadas en el noroeste y centro de Europa (European Parliament Research Service 2018) debido al contexto natural, socioeconómico y regulatorio (European Commission 2018). Estas diferencias han ido disminuyendo a medida que los productores menos desarrollados se han reestructurado y modernizado (Comisión Europea, 2021).

En cuanto a los datos relativos a los censos y número de granjas en la UE, debido al brote de COVID-19, se han afectado las labores estadísticas para la recopilación de datos y el procesamiento de los mismos, por lo que los datos fiables a los que se acceden son anteriores a la misma.

En general, desde 1983 se observa una disminución en el número de granjas (1,2 millones de vacas lecheras entre 1983 y 2013), pero la proporción de granjas lecheras especializadas sigue una tendencia ascendente en la UE (European Parliament Research Service, 2018).

Esta misma tendencia se observa en el tamaño de las granjas, aunque existen diferencias entre EU-15 / EU-13 (EU-15 países que se anexionaron a la UE antes de 2004/EU-13, países que se

anexionaron en 2004 o posteriormente) y entre países del norte y del sur. La UE-15 tiene una participación del 83% en la producción total de leche de la UE. Las granjas de los países miembros del oeste tienen mayor tamaño y están más especializadas en producción de leche, localizadas principalmente en Alemania, Eslovaquia y Dinamarca. Por el contrario, las del este son más pequeñas (10 ha o menos) y tienen un sistema de producción mixta, es decir, con distintos tipos de ganado o de agricultura y ganadería.

El dato de la media europea por granja de Unidades Ganaderas (UG) si consideramos la UE de los 28 (previa al Brexit), se encontraba en 33 UG y 30 ha/granja bovina en términos de base agrícola, siendo las granjas más grandes, tanto en número de UG como en ha, las de Eslovaquia y República Checa (672 UG/265 ha), en contraposición con las de Rumanía (14 UG/7 ha) y Bulgaria (4 UG/2 ha; *European Commission, 2018; European Parliament Research Service, 2018*). La tendencia de todo el continente de descenso del número de granjas con un aumento del número de animales en las mismas está siendo, actualmente, objeto de polémica en toda Europa. El debate intenta compatibilizar la protección de calidad, los recursos del entorno y el mantenimiento del empleo rural, paisajes y tradición con la competitividad económica y la soberanía alimentaria.

Los objetivos de sostenibilidad medioambiental, con acciones tomadas en toda la cadena de suministro, deben integrarse en el crecimiento del sector lácteo de la UE (*European Commission, 2021*), por lo que algunas de las principales industrias lácteas de la UE han anunciado sus objetivos a largo plazo de convertirse en emisores neutrales de carbono, reduciendo la emisión de metano y mejorando el secuestro de carbono (*European Commission, 2020*). En 2030, el aumento del rendimiento lechero (1,4% anual – de 7.300 kg/vaca en 2019 a 8.300 kg/vaca), mantendrá la tendencia decreciente en cuanto al censo de los animales por granja a 19,2 millones de cabezas (7% por debajo de 2020; **Gráfico 5**).

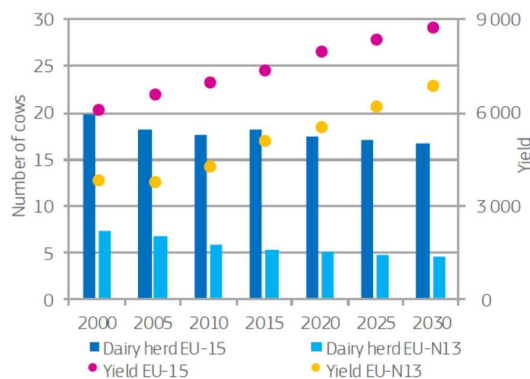


Gráfico 5. Número de vacas (millón de cabezas) y rendimiento lechero (kg/vaca) en la UE-15 y UE-13. Fuente: EU Agricultural Outlook. For markets and income 2019–2030. European Commission 2021.

3 Producción de leche de vaca en España

Fue a partir del siglo XIX cuando los lácteos se convirtieron en un producto de consumo masivo en los hogares españoles. Esto fue debido en parte, al aumento de la renta disponible de la población, a la gran capacidad productiva de ganaderos e industrias lácteas y a que los lácteos comenzaran a considerarse socialmente como productos beneficiosos para la salud. Este auge disminuye en los años 40 del siglo XX, debido a la disminución del poder adquisitivo y el deterioro del sistema lácteo durante la posguerra y el inicio del franquismo. El consumo de leche y de productos lácteos aumenta de nuevo progresivamente a partir de los años 50, paralelamente al aumento del nivel de formación y capacidad adquisitiva de la población (FEN-FINUT, 2015). Además, a partir del año 1958, la producción y comercialización de leche higienizada se hacen obligatorias, asociándose su consumo a una menor incidencia de enfermedades infecciosas y a la mejora del estado nutricional de la población española. Todo ello propicia que a partir de la década de los 60 (primera fecha de la que se dispone de datos comparables) se produzca un fuerte crecimiento del consumo, mucho mayor que la media europea del momento. Esta tendencia se mantiene hasta la década de los 80, a partir de la cual, el consumo tendió a estancarse e incluso a disminuir (Collantes, 2014).

En la década de los 80 España se incorpora a la CEE y el sector lechero, retrasado en cuanto a estructuras de producción y transformación, sufre un proceso de ajuste, por el cual, el número de granjas de bovino se reduce a 25.000, apenas el 10% de las presentes 20 años antes. A pesar de todo, el sector lácteo es, actualmente, un pilar estratégico de la industria agroalimentaria española desde el punto de vista económico y social (FENIL 2019). Supone el 17% de la renta agraria española, siendo el tercer subsector ganadero en importancia económica, por detrás del porcino y el bovino de carne (INLAC, 2018). La cadena de producción, transformación y comercialización de este sector (vacuno, ovino y caprino) factura alrededor de 13.000 millones de euros al año y genera más de 60.000 empleos directos, por lo que también es de gran relevancia en el marco agroalimentario español (FENIL, 2022). Además, las industrias lácteas suponen más de 9.500 millones de euros al año de volumen de negocio, un 2% de la producción industrial nacional, aportando más de 30.000 empleos, que en el conjunto del sector agroalimentario supone un 8,5% del empleo (Mercasa, 2017).

3.1 Tipos de granja en España: producciones y censos

Tomando la distribución de la RENGRATI- MAPA, las granjas a nivel nacional se engloban dentro de cinco unidades o regiones geográficas, dentro de las cuales se encuentran las granjas tipo que permiten describir los modelos de producción ganadera estatal (**Figura 6**). Así pues tenemos:

Unidad 1: Noreste de Galicia y Asturias

Producciones entre 9.974 y 12.047 kg de leche SCM (leche corregida por sólidos) /vaca y año, con un censo variable entre 48 y 180 vacas/granja. La mayoría de las granjas tienen una importante base agrícola para cultivos de hierba o maíz que ensilan para alimentar al ganado.

Unidad 2: Sur de Galicia

Producciones entre 8.434 y 11.427 kg de leche SCM/vaca y año, a excepción del modelo asociativo de alta producción, con más de 1.000 vacas y más de 13.000 kg de leche SCM/vaca y año. Los censos (a excepción del modelo asociativo), varían entre 33 a 73 vacas. Su base agrícola también es importante, produciendo mayoritariamente hierba, que según la época del año se aprovecha como pasto o como ensilado o heno y maíz, también aportado como silo.

Unidad 3: Castilla y León

El modelo de granja más frecuente es aquella con un censo de 80 vacas y un rendimiento lechero próximo a los 11.000 kg de leche SCM/vaca y año. Existen granjas de mayor tamaño (175 – 335 vacas), con producciones entre 9.223 y 10.526 kg de leche SCM/vaca y año y mano de obra contratada. Aquellas granjas con cultivos asociados de secano y regadío, son mayormente utilizados para autoconsumo y los principales son el maíz forrajero y los cereales de invierno (para ensilar o grano). Aquellas que no tienen cultivos asociados, reciben las materias primas de cooperativas de agricultores de la zona.

Unidad 4: Cataluña

Los censos varían entre 200 y 900 vacas/granja, siendo este último un modelo aún poco frecuente, pero de importancia para el futuro. Las producciones lecheras son superiores a los 10.800 kg de leche SCM/vaca y año. Suelen estar asociadas a cultivos para consumo propio o venta.

Unidad 5: Andalucía

Los censos suelen rondar 100 vacas por granja con producciones mayores a 9.000 kg de leche SCM/vaca y año. No todas las granjas disponen de base agrícola y en caso de que la haya sólo será para heno, por lo que el sistema predominante es aquel en el que la mayor parte de la comida la aporta un proveedor externo (sistema “catering”).

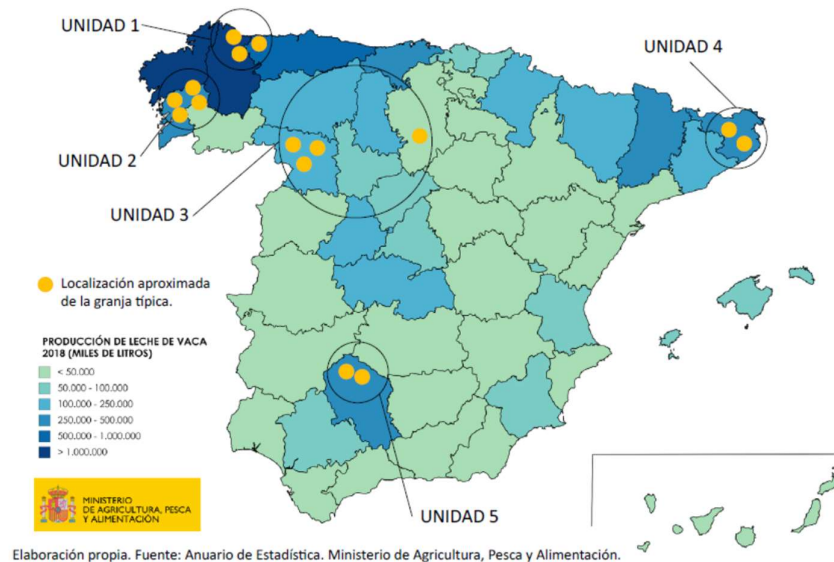


Figura 6. Distribución geográfica de las Unidades y localización de las granjas típicas que integran RENGRA TI, 2019.

El tamaño medio de las explotaciones de Cantabria, Asturias y Galicia aumentó un 15% entre 2015 y 2018. Estas CC.AA. presentan una estructura muy atomizada del sector lácteo, probablemente porque tienen uno de los censos más altos de España en cuanto a granjas y número de vacas y en consecuencia uno de los tamaños medios de explotación más bajos. En la zona de Andalucía, Aragón, Castilla-La Mancha, Cataluña, Navarra y Valencia, el tamaño de rebaño se ha incrementado un 21% en estos años, siendo Valencia la que presenta mayor tamaño de rebaño a nivel nacional (**Gráfico 6**). Por último, en las granjas de Baleares, Extremadura, La Rioja, Madrid y Murcia se observa un aumento del tamaño del 9% entre 2015 y 2018 (MAPA, 2020).

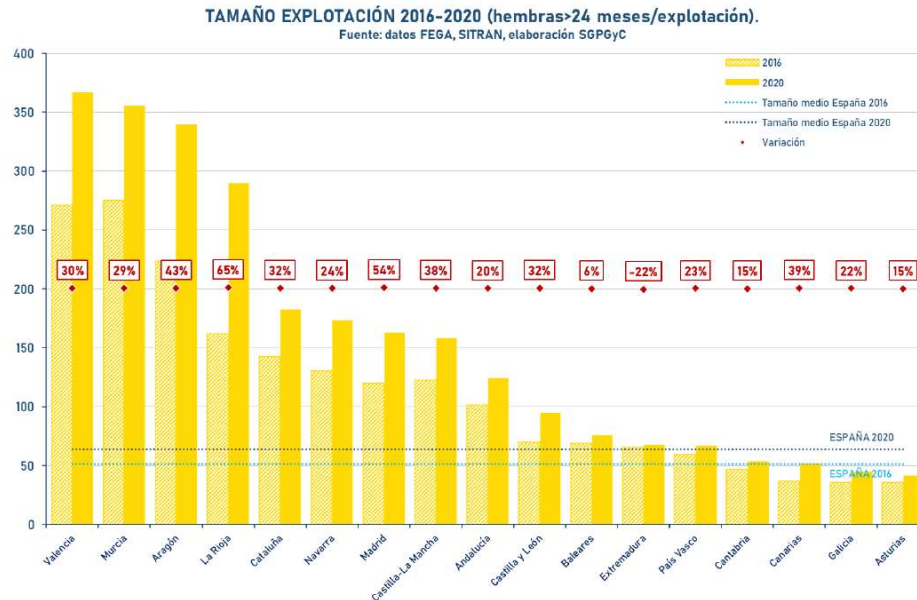


Gráfico 6. Tamaño de granja (hembras>24 meses/granja). Datos FEAGA-SITRAN, elaboración SGPgyC. MAPA 2021.

Como hemos visto, la tendencia en el tamaño medio de granja a nivel nacional es ascendente. La Rioja, Aragón y Madrid fueron las CC.AA. con mayor crecimiento, entre 2015 y 2019, en lo que a censo se refiere, con valores superiores al 30%. Sin embargo, todas las comunidades, excepto Extremadura y Canarias, aumentaron el tamaño medio de sus rebaños (**Figura 7**), a pesar de que el censo de vacas lecheras a nivel nacional ha disminuido de forma paralela al de las explotaciones. Estos descensos han sido del 2% entre 2015 y 2018 (MAPA 2020), del 1,8% entre 2018 y 2019 (MAPA 2019), del 0,7% entre 2019 y 2020 y del 1,7% entre 2020 y 2021 (RENGRATI 2020; MAPA 2021; **Gráfico 7**). Si bien, ante el posible desarrollo de las conocidas “macrogranjas”, actualmente, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) ha sometido a participación pública el borrador del Proyecto de Real Decreto por el que se establecen normas básicas de ordenación de las granjas bovinas. En este, entre otras modificaciones, se establece un límite a la capacidad máxima de las granjas bovinas, fijado en 850 unidades de ganado mayor (UG), ratio equivalente a aproximadamente 725 vacas de ordeño o 1.400 terneros de cebo.



Gráfico 7. Evolución del censo de hembras >24 meses en España hasta marzo de 2022. Fuente: MAPA 2022. Elaborado por SGPGyC con datos de SITRAN.

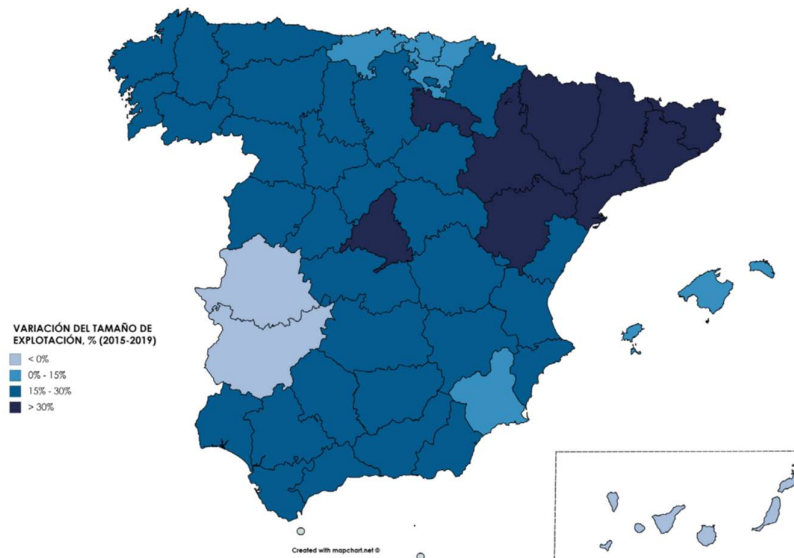


Figura 7. Variación porcentual del tamaño de las explotaciones de vacuno de leche por CC.AA. Periodo 2015–2019. Elaborado por la RENGRATI. Basado en datos del FEGA y del MAPA, RENGRATI 2020

Galicia es la comunidad con mayor censo de vacas lecheras mayores de 24 meses, lo que representa el 40% del total, seguida de Castilla y León con el 12% y Cataluña con el 10% (Figura 8; MAPA 2021).

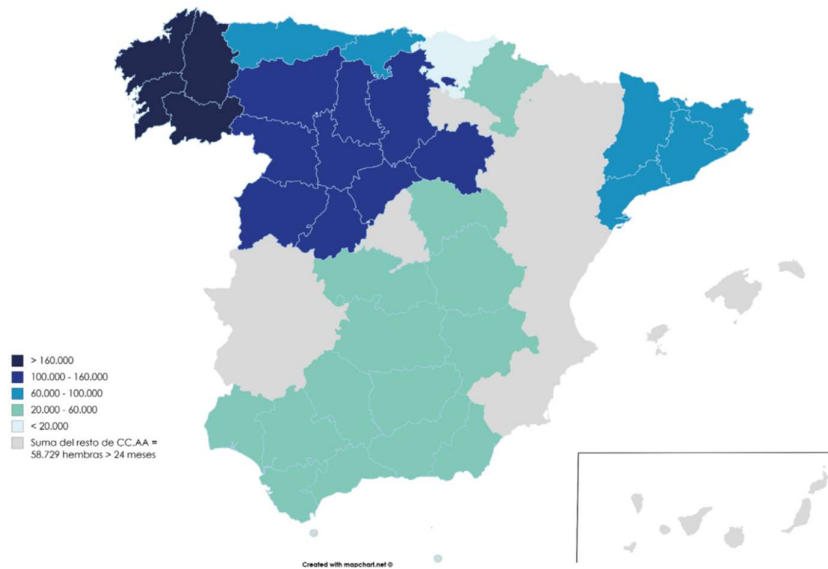


Figura 8. Censo de vacas de ordeño mayores de 24 meses (cabezas), por CC.AA en 2019. Elaborado por la RENGRAI en base a los datos del SITRAN y MAPA. RENGRAI 2020.

En lo relativo al censo de novillas, tras un descenso constante del 6,6% desde 2015, en 2021 experimenta un discreto aumento (0,3%; MAPA 2021, Gráfico 8).

Evolución censo novillas (8-24 meses) España

Fuente: datos SITRAN, elaboración SGPgC

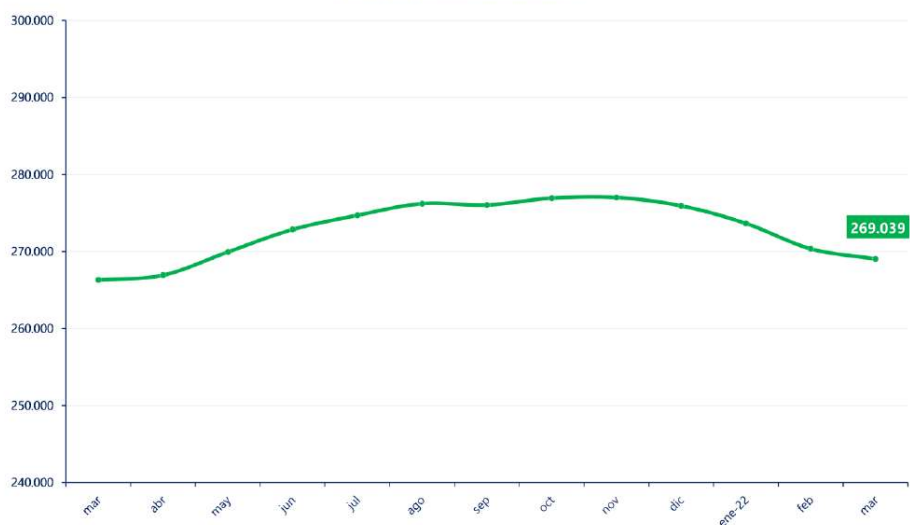


Gráfico 8. Evolución del censo de novillas (8-24 meses) en España hasta marzo de 2022. Datos SITRAN, elaboración SGPg. MAPA 2022.

Por su parte, el número de ganaderos continúa su tendencia descendente (**Gráfico 9**) iniciada en 2015 (año de abolición del mercado de cuotas), con un 5,9% menos en el 2021 respecto al anterior (MAPA, 2021).

Ganaderos con entregas declaradas de leche cruda 2021-2022

Fuente: datos AICA, elaboración SGPgC

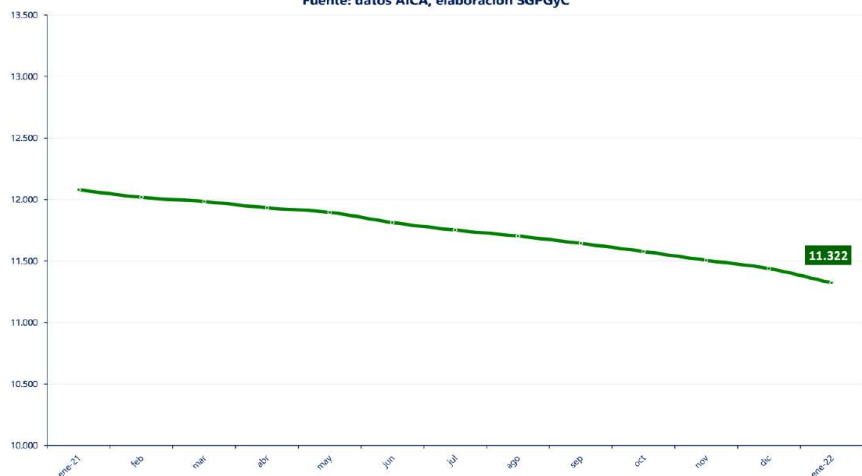


Gráfico 9. Ganaderos con entregas declaradas de leche cruda 2021-2022. Elaborado por el SGPgC, basado en los datos del AICA. MAPA 2022.

Los ganaderos se concentran fundamentalmente en la Cornisa Cantábrica (78% del total en España): Galicia (56%), Asturias (13%) y Cantabria (9%), seguida de Castilla y León, con el 8% del total (MAPA, 2021).

3.2 Rendimiento lechero de las granjas españolas y precio de la leche

En el contexto de la UE, la producción española de leche de vaca se sitúa en torno al 5% del total comunitario, frente al 15–20% que representan la leche de oveja y de cabra, respectivamente, siendo el octavo productor de leche de vaca (INLAC, 2019).

El 100% de las granjas españolas presentaron un incremento de la producción. El rendimiento medio lechero en las granjas españolas aumentó entre 2015 y 2019 entre un 0 y 10%. Las regiones de Canarias, Extremadura, Galicia y La Rioja evidenciaron un mayor incremento (15%), como consecuencia del aumento de la producción individual y la disminución del número de granjas, asociado esto también, a una mayor profesionalización (RENGRATI, 2020; **Gráfico 10**).

A pesar de que el número de ganaderos/ganaderías ha disminuido, estos descensos se encuentran en los estratos 1–4 (menos productivos), aumentando en los estratos más productivos (5–7; **Tabla 1**).

Estrato 1	1 - 50.000 kg
Estrato 2	50.000 - 200.000 kg
Estrato 3	200.000 - 500.000 kg
Estrato 4	500.000 - 1.000.000 kg
Estrato 5	1.000.000 - 3.000.000 kg
Estrato 6	3.000.000 - 8.000.000 kg
Estrato 7	> 8.000.000 kg

Tabla 1. Estratificación de la dimensión productiva en España (kg). Datos de INFOLAC, elaboración SGPG. Mapa 2020.

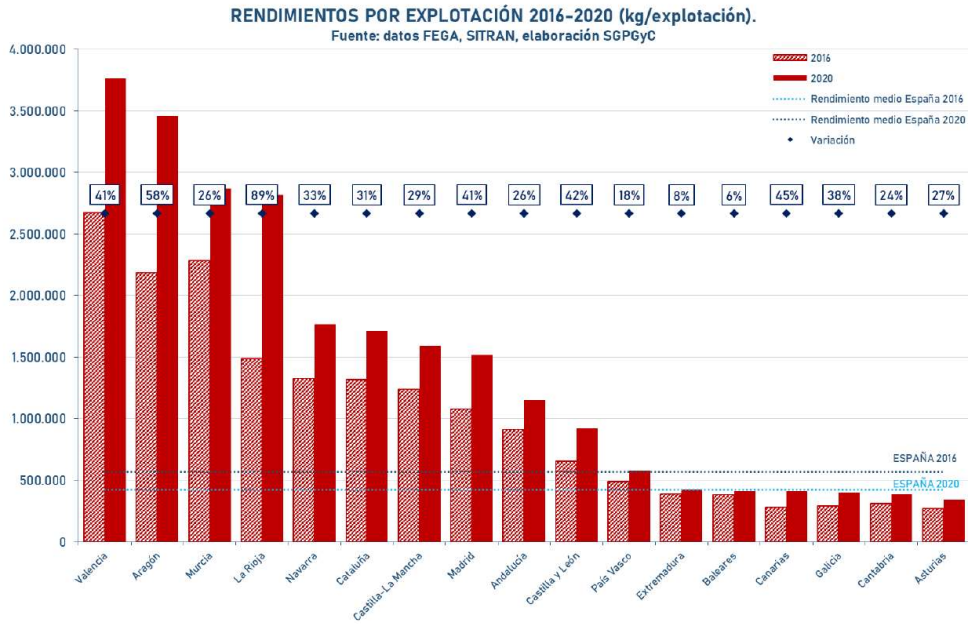


Gráfico 10. Rendimientos por granja (kg/granja) por CC.AA., en 2016 y 2020. Datos FEAGA-SITRAN, elaboración SGPGyC. MAPA 2021.

En definitiva, la producción española sigue una tendencia creciente desde 2010 (INLAC, 2016, FEAGA, 2019), aumentando en 2021 un 0,4% respecto a 2020 y un 1,8% en 2022 respecto a 2021 (MAPA, 2022; Gráfico 11).

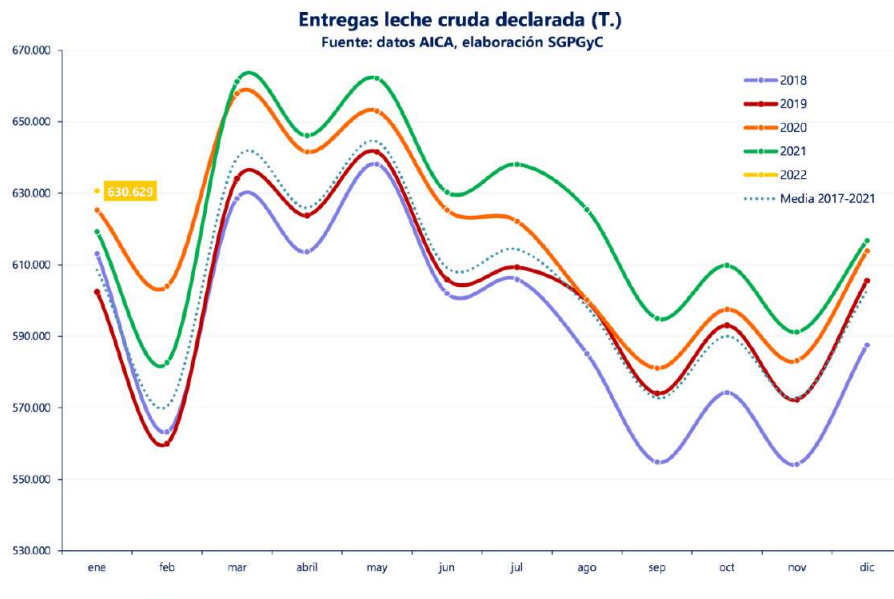


Gráfico 11. Entrega declarada de leche cruda en Tm. Datos AICA, elaboración SGPGyC. Informe de coyuntura del sector vacuno de leche. MAPA 2022.

En cuanto al precio de la leche, con relación al precio comunitario, el precio registrado en España para junio de 2021 fue un 9,8 % inferior al de la media de la UE-27 (MAPA, 2021) y un 14,2% inferior a la media de la UE 27 en enero de 2022 (MAPA, 2022).

Desde 2018, los precios españoles han fluctuado en torno a 32,2 €/100 litros (+/- 1%), lo que indica que el precio de la leche ha vuelto a ser más competitivo. Sin embargo, la economía de las granjas españolas se considera como deficiente desde enero de 2018, pues el margen sobre los costes es muy estrecho, siendo en la actualidad prácticamente nulo en la mayoría de los casos, debido a la subida del precio de las materias primas y los insumos. En 2018 el precio medio de los piensos compuestos fue de 26,9 €/100kg (Informe SILAC-IFCN, 2021). En 2020 los precios subieron con respecto a 2019 y el último precio disponible, en junio de 2021, fue de 32,23 €/100 kg (datos INFOLAC), un 1,5% superior al precio del mismo mes del año pasado y un 6,5% superior al precio medio de junio de los últimos cinco años. Este sigue la tendencia del año, ya que el precio medio del periodo enero-junio 2021 fue un 5,6% superior al precio medio para el mismo periodo de los últimos cinco años (MAPA, 2021). En enero de 2022, se situó en 36,02€/100 kg según datos de INFOLAC, un 9,1% superior al precio del 2021. Además, este precio es 12,4% superior al precio medio de enero de los últimos cinco años, aunque dista de los precios medios comunitarios de 0,42 y de los 0,50€ que se manejan en otros países no comunitarios. Si bien la tendencia del precio es al alza, sigue sin cubrir el coste de producción, que los ganaderos venían situando en 0,40€ (vacapinta noticias 18/02/22); pero que, debido a las últimas subidas generales de los precios, ha aumentado en el último mes a 0,45€ según la Asociación de ganaderos productores de leche (AGAPROL).

3.3 Consumo de leche y productos lácteos en España

El consumo en España de leche y productos lácteos sigue un patrón diferente al del resto de la UE, ya que el consumidor español prefiere la leche líquida, principalmente de larga duración (97% de toda la leche consumida), así como yogures y quesos, siendo mucho menor el consumo de mantequilla que en el resto de la Unión (MAPA, 2021; RENGRATI-MAPA, 2019).

A su vez, el consumo se ve afectado por la localización geográfica (a nivel nacional y europeo; MAPA, 2019), el tipo de núcleo familiar y el estrato socioeconómico (SENC, 2001). Este último es uno de los factores que más influyen en el consumo de leche y derivados, siendo la leche y derivados lácteos uno de los cinco grupos de alimentos con mayores diferencias en el consumo

teniendo en cuenta este criterio (FEN, 2012). Según esto, el sector con estatus socioeconómico alto presenta un mayor consumo de leche y derivados, que el correspondiente a un estatus socioeconómico bajo (MAPA, 2019). El consumo de leche líquida también está influenciado por la edad y núcleo familiar. Los consumidores mayoritarios de este tipo de productos las familias integradas por parejas con hijos de edad media, así como mayores, parejas adultas sin hijos y retirados cuyo responsable de compra tiene una edad que supera los 50 años (MAPA, 2019).

En general se ha observado que en España existe una estacionalidad en el consumo de leche y productos lácteos, siendo más marcado el descenso de consumo en los meses de verano (MAPA, 2019, 2020, 2021).

Hasta 1964, el consumo de derivados lácteos era prácticamente inexistente y solo estaba disponible en farmacias. Desde entonces, dada su disponibilidad en el conjunto de los mercados de distribución de alimentos, el consumo comienza a ser mayor (SENC, 2001). Ya en los años 80, debido a la preocupación y mayor sensibilidad de la población de los efectos de la alimentación sobre las enfermedades crónicas, aparecen productos lácteos con menor contenido energético como las leches parcial o totalmente desnatadas, enriquecidas en vitaminas A y D o enriquecidas con calcio (FEN-FINUT, 2015). Desde los años 90 hasta el 2008 se produjo un incremento de consumo de estos derivados lácteos y, de hecho, encuestas realizadas en 2001 mostraban que los lácteos eran los alimentos consumidos con mayor frecuencia por la población, donde más del 90% de la población admitía tomar leche diariamente (SENC, 2001). Sin embargo, el consumo global ha disminuido progresivamente, en torno a un 8%, entre los años 2000 y 2008 (FEN, 2012). A partir del 2008 se produjo un repunte del 10% de incremento en su consumo; pero entre el año 2003 y el 2013, el consumo por persona de leche entera descendió un 44,1%, manteniéndose el consumo de esta variedad de leche en los hogares constituidos por parejas con hijos o más de tres personas. La leche semidesnatada cayó ligeramente (-0,7%) en 2013, en comparación al año anterior, mientras que la desnatada fue la única cuyo consumo por persona y año se incrementó (+2,2%; MAGRAMA, 2013). En el grupo de derivados lácteos, destaca el incremento del consumo de yogur, instaurado como otra opción de postre en el almuerzo de la población española, e igualmente en las cenas en familias con más de tres personas, con niños pequeños y medianos; también adultos y personas mayores (MAGRAMA, 2013; FEN-FINUT, 2015).

En el 2014 el consumo de leche fermentada y yogures volvió a reducirse (en un 1,6% con respecto al año 2013) en los hogares (MAGRAMA, 2013). Con todo ello, a pesar de la tendencia descendente del consumo de leche, en el 2018 aumentó ligeramente (+0,3%), al igual que los

derivados lácteos (+1,3% y +1,4%); manteniéndose a lo largo del 2019. Aunque el consumo de leche líquida cayó un 0,1%, el de derivados lácteos se mantiene en el caso de leche fermentada y se incrementa, hasta un 1,6%, en el caso del queso respecto a 2018 (MAPA, 2021).

Desde 2018 hasta ahora, en España, al igual que en otros países desarrollados como EE.UU., se está produciendo una disminución del consumo de leche y sus derivados, asociado a la mala imagen que se le da con frecuencia en algunos medios de comunicación y redes sociales donde se alegan supuestos efectos perjudiciales. Esta disminución en el consumo se asocia, en muchas ocasiones, al consumo de otras bebidas, especialmente derivadas de vegetales con contenido energético equivalente al de la leche y de productos lácteos, pero con menor calidad y cantidad de otros nutrientes, como es el caso de las proteínas, minerales y vitaminas (FEN-FINUT, 2015).

Sin embargo, tras el inicio de la pandemia, se produce un repunte significativo del consumo de leche y derivados, de modo que según los últimos datos disponibles (noviembre de 2020), se registra, con respecto al 2019, un aumento del consumo de leche líquida, así como de leche fermentada y queso, con incrementos del 6,8%; 4,5% y 13,7% respectivamente (MAPA, 2021). Esto también puede ser el efecto positivo de las últimas campañas estatales de promoción de su consumo y como parte de una dieta saludable.

3.3.1 Consumo per cápita y por CC.AA.

En 2018, el consumo *per cápita* de productos lácteos en España fue de 109,2 litros-kilogramos (l-kg). El 64% fue leche líquida (69,83 l-kg por persona y año) y el 32% derivados lácteos (35,47 l-kg por persona y año), incluyendo dentro de estos últimos leches fermentadas, mantequilla, quesos, helados, tartas, postres lácteos, batidos, nata y otros (RENGRATI-MAPA, 2019). En cuanto a la leche líquida, la más consumida es la semidesnatada (47%) siendo la entera, la que menos (25%).

Si nos fijamos en el consumo de leche por CC.AA., las comunidades más consumidoras de leche líquida son las menos consumidoras de derivados lácteos y viceversa (MAGRAMA, 2015). Según los últimos datos disponibles, en 2018, Asturias lideraba el ranking nacional, seguida de Castilla y León, Galicia y Cantabria, que, como productoras, son grandes consumidoras de leche líquida, mientras que Andalucía o Murcia son las de menor consumo, con valores inferiores a 100 l-kg por persona y año (**Figura 9**).

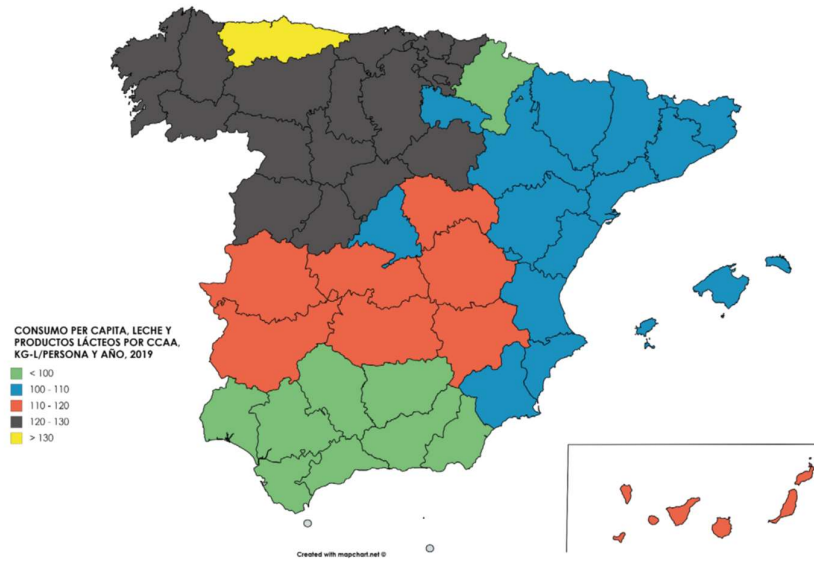


Figura 9. Consumo per cápita de leche y productos lácteos por comunidad autónoma, l/kg por persona y año, 2018. RENGRAFI-MAPA 2019. Fuente: Informe de Consumo Alimentario 2018. MAPA.

4 Sistemas productivos intensivos en vacuno lechero en España

Dado que la presente tesis doctoral se ha centrado en granjas con sistemas “intensivos” de producción de leche, queríamos describir la esencia de dichos sistemas.

4.1 Características

Hay muchas características específicas que diferencian los sistemas intensivos del tipo de producción extensiva en vacas. Así pues, los diseños de instalaciones, el manejo nutricional, incluso los sistemas y programas sanitarios difieren en esencia entre rebaños bovinos intensivos y extensivos. El abordar cada uno de estos aspectos, habría dado lugar a un documento muy extenso, de manera, que nos centramos en la descripción de sus características más actuales y, por otro lado, las más relacionadas con el presente trabajo de tesis doctoral.

4.1.1 Personal y plantilla laboral

Este aspecto, es prácticamente inexistente en las explotaciones bovinas en extensivo, mientras que es crucial en las granjas de vacas de leche. Durante las últimas décadas la mano de obra nacional no ha sido suficiente para satisfacer la demanda de trabajo requerida por el campo, especialmente en aquellas zonas agrícolas orientadas en gran medida a la exportación. Particularmente en el sector ganadero, al trabajar con animales se requiere una dedicación y horarios diferentes a otras actividades económicas, lo que ha motivado que los trabajadores nacionales se enfoquen, siempre que sea posible, en otros sectores, como la construcción y en el sector servicios, que ofrecen mejores salarios y unas condiciones de trabajo más ventajosas. La evolución de la población rural en España, como en el resto de la Unión Europea, ha ido descendiendo como consecuencia del abandono del campo en busca de las oportunidades que ofrecen los centros urbanos. De hecho, según los datos recogidos en el “Informe anual de indicadores agricultura, pesca y alimentación 2019” (2020), en España, la densidad media de población es de 93,23 hab/km². En el medio no rural alcanza los 492,0 hab/km², mientras que en el ámbito rural queda reducido a 17,8 hab/km², llegando incluso en algunas provincias a menos de 10 hab/km², lo que se considera “desierto demográfico” (UPA, 2020).

La falta de mano de obra cualificada, la volatilidad en el precio de la leche, el aumento en los costes de alimentación y los problemas de sucesión en el negocio, continúan siendo las principales preocupaciones del ganadero de vacuno de leche (Díaz Yubero *et al.* 2016; Frisona Española, 2021). En este caso el sector bovino lechero se caracteriza, al igual que otros sectores agrarios, por la falta de formación generalizada, la contratación de mano de obra no cualificada, la falta de motivación, la falta de organización, etc. Y estos son factores que influyen en todas las áreas de producción (ordeño, alimentación, salud, reproducción, etc.; Morales 2018), lo cual supone un grave problema para la profesionalización del sector.

4.1.2 Márgenes económicos de producción de leche

La producción de leche es una actividad compleja y muy especializada, que combina factores de producción agrícola y ganadera, por lo que no podíamos obviar este apartado. Así pues, la gestión económica de las granjas es básica para su sostenibilidad, siendo el objetivo fundamental, como en cualquier negocio, disminuir los gastos y aumentar los ingresos (Revilla y Romero, 2016). A nivel general, la granja de vacuno de leche cuenta, al menos, con tres grupos

de producción: la producción de leche, la venta de animales (terneros, sementales, novillas, vacas y vacas de desecho) y la producción de forrajes (Jimeno *et al.*, 2013). La producción de leche, considerando además el plus por prima de calidad en los casos en que exista, es el principal ingreso y en España supone aproximadamente un 83% de los mismos (Fernández, 2021; MAPA, 2019). Además, se han de considerar las ayudas o subvenciones percibidas, que suponen un 7% (Fernández, 2021) y las variaciones de inventario del rebaño (diferencias económicas entre efectivos iniciales y finales), como se puede observar en el **Gráfico 12**.

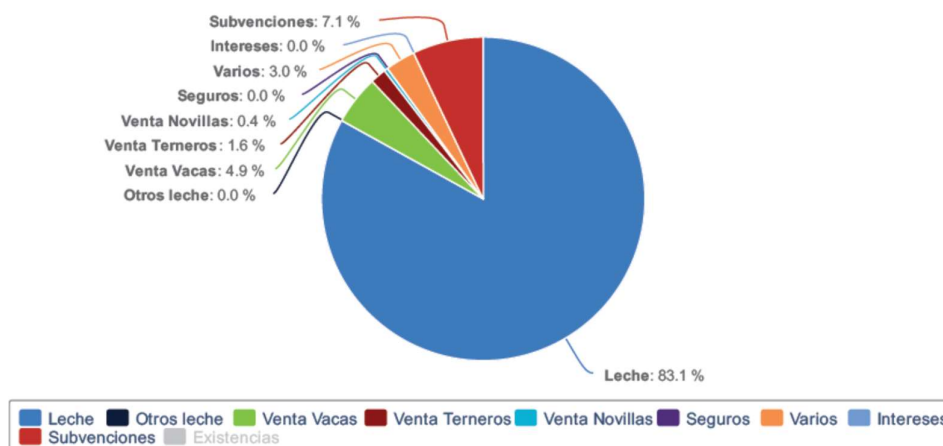


Gráfico 12. Distribución media de ingresos de las granjas lecheras españolas. Fuente: Fernández M. 2021.

El concepto de coste de producción hace referencia a la comparación de todos los costes con los ingresos relacionados con la producción de leche. Normalmente, los resultados se expresan en euros por cada mil litros de leche comercializada (€/1.000 l; Jimeno *et al.*, 2013).

Los costes totales engloban tres categorías de costes (Jimeno *et al.*, 2013; RENGRATI, 2018):

1. Costes no efectivos, fijos o de estructura: no dependen de la producción, sino de la estructura productiva formada por el rebaño, instalaciones y construcciones (amortizaciones, mano de obra, arrendamientos, impuestos, intereses).
2. Costes efectivos, variables u ordinarios: están relacionados con la producción y varían en proporción a la misma (alimentación, mantenimiento y reparaciones, maquinaria, sanidad y reproducción de los animales, electricidad, seguros e impuestos, mano de obra eventual).

- Costes de oportunidad: tratan de valorar los recursos propios del empresario que pone a disposición de la granja, si los dedicara a otra actividad productiva diferente (capital, tierra propia y mano de obra familiar).

Según Torsten Hemme (director IFCN; Red de Comparación Internacional Agrícola, del inglés, *International Farm Comparison Network*), en 2017 España asumiría, aproximadamente, unos costes de 40€ para producir 100 kilos de leche (**Figura 10**).

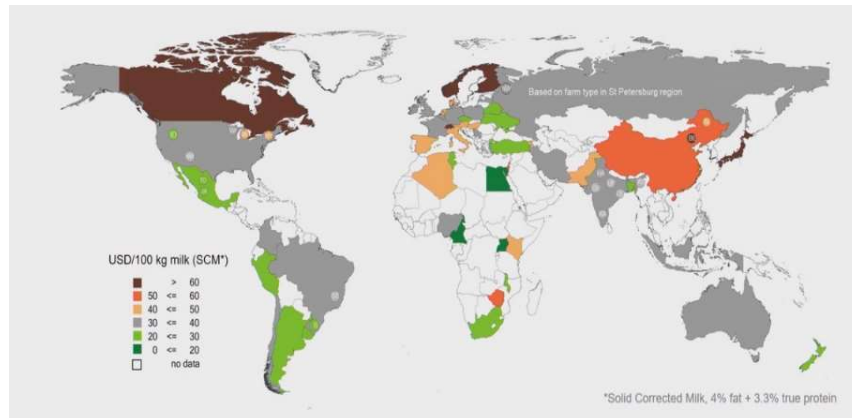


Figura 10. Costes de producción de leche en 2017. IFCN 2019.

En el 2020, y en más de la mitad de las granjas analizadas (53%), los costes de alimentación suponían más del 50% de los costes totales de producción, siendo más altos en el modelo más intensivo, con sistemas de alimentación tipo “catering”. El siguiente coste en importancia era el relacionado con la mano de obra, como puede observarse en el **Gráfico 13** (RENGRATI, 2020).

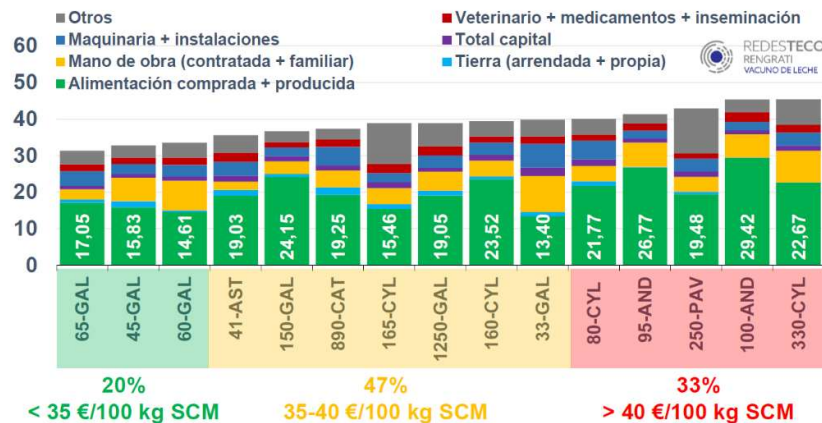


Gráfico 13. Estructura de costes en las granjas típicas españolas. RENGRTI 2020. SCM= Leche corregida por sólidos (4,00% de grasa y 3,30% de proteína verdadera). Factor de corrección % de grasa+%proteína verdadera/7,3

De la misma forma, los costes totales de mano de obra oscilan en función de si se trata de trabajadores asalariados en total o en parte, o si es mano de obra familiar. Los valores de este concepto en las granjas con toda la mano de obra asalariada estaban comprendidos en el 2020 entre los 5,32 y 27,90€. EL 87% de las granjas contempladas, registraron un retorno a la mano de obra superior al salario medio calculado (**Gráfico 14**).

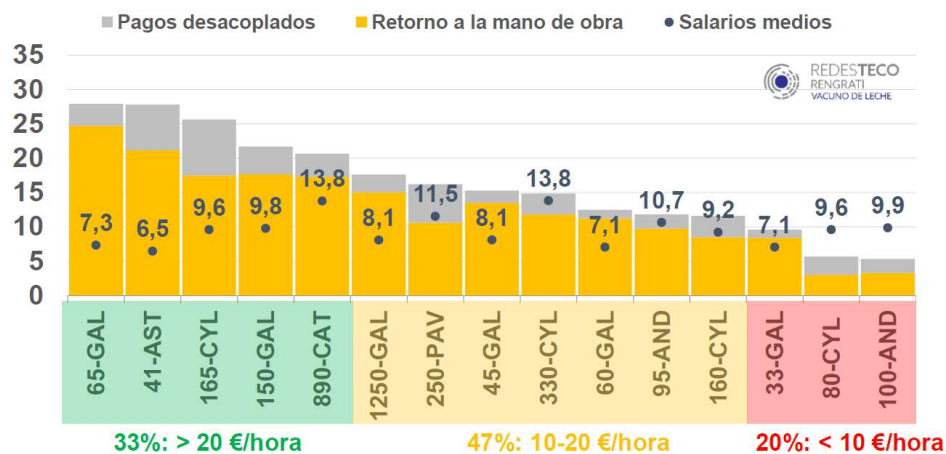


Gráfico 14. Retorno de la mano de obra (€/hora). RENGRA TI 2020.

La capacidad financiera que tiene la granja para cubrir sus costes efectivos viene indicada por la **liquidez**, que es el cociente entre los ingresos en efectivo de la granja y los costes, también en efectivo, y se expresa como porcentaje. La IFCN estima unos valores regulares entre 100 y 120%. La mayoría de las granjas típicas analizadas en 2017 pudieron hacer frente al pago de sus costes en efectivo ya que presentaron valores superiores al 100% (**Gráfico 15**).

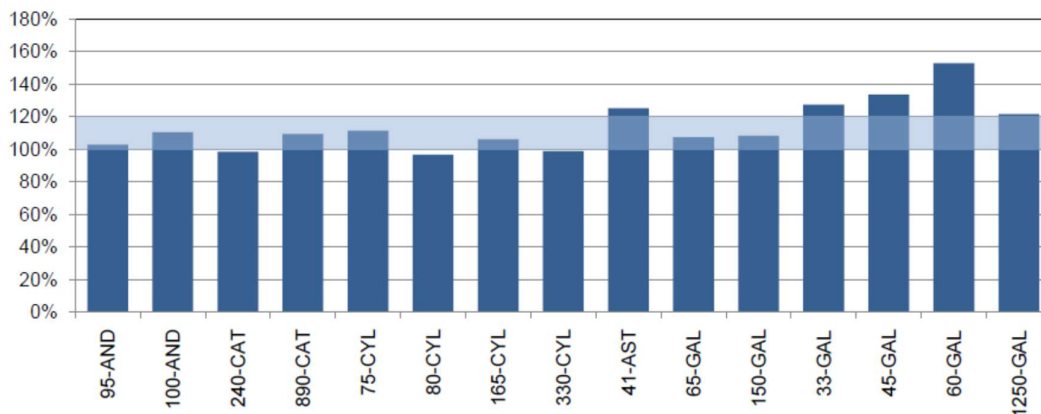


Gráfico 15. Liquidez de las granjas típicas españolas expresada en porcentaje (%). RENGRA TI 2018.

Los principales indicadores de los costes de producción son (Jimeno *et al.*, 2013):

1. Margen bruto: diferencia entre ingresos totales y costes variables.
2. Margen neto: representa la renta disponible de la granja. Es el resto entre el margen bruto y los costes fijos. El Umbral de Rentabilidad del Margen Neto (*Break Event*) indica el precio mínimo a percibir por litro de leche para que se pueda producir leche sin pérdidas.
3. Beneficio: el resto entre margen neto y los costes de oportunidad. El margen neto del beneficio indica el precio mínimo a percibir por litro de leche para que haya beneficio y el negocio pueda remunerar los costes de oportunidad.

El margen de beneficio es la diferencia entre ingresos y costes, siendo un indicador de eficiencia productiva. Estos márgenes son variables debido a la variación en los precios de la leche fijados por los mercados y los precios de las materias primas. Se diferencia del margen del beneficio operativo de la granja en que mide la resiliencia de la misma ante variaciones en las condiciones del entorno, por ejemplo, ante cambios en los precios de la leche. IFCN estima unos valores regulares entre 0 y 10%. La mayoría de las granjas típicas analizadas en 2020 (**Gráfico 16**), tuvieron capacidad de adaptación ante situaciones desfavorables ya que registraron valores superiores al 0%.



Gráfico 16. Beneficio según cuenta de explotación excluyendo los pagos directos desacoplados e incluyendo el coste de oportunidad de la mano de obra familiar (€/100 kg SCM) en las granjas típicas españolas. RENGRAI 2020.

De forma general podemos concluir que el principal escollo al que se enfrentan las granjas de bovino lechero son el estrecho margen de beneficio, como se puede observar en el **Gráfico 17**, dados los bajos ingresos, los altos costes y la inestabilidad de los precios, principalmente de la leche, de las materias primas y los insumos. A ello se suma la dificultad para encontrar mano de

obra y la limitación de superficies de producción. Como resultado, el ganadero no asume de forma general su faceta de empresario, siendo fundamental que conozca su estructura de costes, los analice y gestione adecuadamente los recursos que tiene disponibles para poder conseguir la mayor eficiencia económica.

En la actualidad (año 2021 y lo que llevamos de 2022) el sector lácteo se encuentra inmerso en una situación de gran inestabilidad. Por un lado, durante varios meses consecutivos, el sector está vendiendo la leche por debajo de los costes de producción y por otro, esos costes de producción han sufrido fuertes incrementos en los últimos meses, del 36% según AGAPROL. De hecho, el coste del combustible y la energía eléctrica suponen el 2,4% y el 1,7% respectivamente sobre el coste de producción y, entre marzo de 2021 y marzo del 2022, han sufrido un incremento del 202,7% y el 150%, respectivamente. Si la combinación de estas dos variables continúa sin que las centrales lácteas adecúen los contratos a sus costes reales de producción (algo que están intentando ajustar de manera temporal, pero no de manera suficiente), la rentabilidad de estas granjas disminuirá visiblemente, siendo muy alto su riesgo de desaparición. En esta situación múltiples uniones/asociaciones de ganaderos y agricultores a lo largo de todo el territorio nacional, se están manifestando, desde mediados de 2021, frente al MAPA y las distintas empresas lácteas, en un intento desesperado por hacer visible la gravedad de la situación y concienciar de la misma tanto a las autoridades, como a las empresas y los consumidores (Revista Frisona Española, 2022).

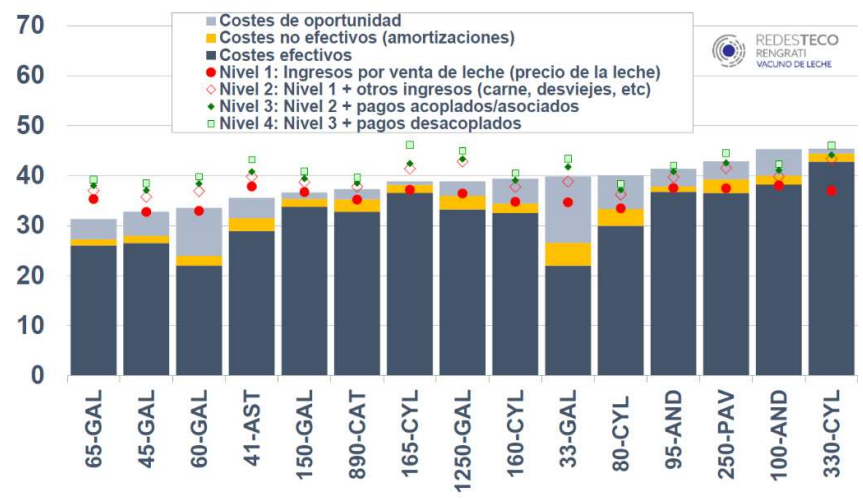


Gráfico 17. Representación de los ingresos y costes totales de la actividad lechera expresados en €/100 Kg SCM. Aquí los ingresos se representan mediante puntos y se dividen en 4 niveles: Nivel 1: ingresos por venta de leche durante el año expresados por 100 kg de SCM. Nivel 2: sumatorio de nivel 1 e ingresos por venta carne, terneros y novillas y otros ingresos; Nivel 3: sumatorio de Nivel 2, otros ingresos y pagos directos acoplados; Nivel 4: sumatorio de Nivel 3 y pagos directos desacoplados. RENGRAI 2018.

4.1.3 Sostenibilidad y resiliencia

Los sistemas agrarios se consideran socialmente como una actividad con consecuencias sobre el paisaje y los ecosistemas, sobre la sociedad rural o el bienestar animal. Por lo tanto, la sostenibilidad de un sistema de producción agrario debería definirse desde una perspectiva global en la que se consideran aspectos ecológicos, económicos y sociológicos, dependiendo del ritmo al que los recursos son producidos y consumidos. Estos además deben estar relacionados con las generaciones presentes y futuras y no solo desde un punto de vista de disponibilidad de recursos (Serrano *et al.*, 2003).

Francis y Callaway (1993) resumieron estos elementos de sostenibilidad como soluciones equitativas para la producción de alimentos:

- Eficiencia de recursos: uso más eficiente de recursos no renovables y, siempre que sea posible, sustitución de recursos importados por recursos renovables locales.
- Rentabilidad: a corto y largo plazo.
- Productividad: mantener y mejorar la productividad de todos los recursos básicos en lugar de destruirlos o degradarlos.
- Solidez ambiental: mantener un impacto negativo mínimo.
- Viabilidad social: que sean sistemas que favorezcan a los propietarios/trabajadores de las explotaciones, contribuyan a una economía e infraestructura rural viables e integradas con la sociedad en general.

Hay iniciativas europeas que definen la sostenibilidad en el sector de la producción animal como una mesa con tres patas: sostenibilidad económica, medioambiental y social (Grupo SCAR-CWG-SAP, 2022).

Así pues, la sostenibilidad de las explotaciones en general, y en concreto de las de vacuno lechero se basa en tres premisas entrelazadas entre sí (Eguinoa *et al.*, 2017):

1. Que la actividad sea económicamente rentable (sostenibilidad económica): desde este punto de vista, la viabilidad de la granja depende de su diversificación, su flexibilidad y su sensibilidad a factores externos, entre los que se puede destacar la valoración social de la calidad de los bienes materiales y no materiales producidos (Serrano *et al.*, 2003).
2. Sostenibilidad social y socioeconómica. La sostenibilidad socioeconómica en los países de bajos ingresos es esencial, debido a que tanto la producción como el consumo de leche supone una forma de mejorar la nutrición y la salud de las personas, así como una

oportunidad de mejorar el medio de vida y la economía de los agricultores de subsistencia (Tricarico *et al.*, 2020). Además, la producción ganadera es uno de los pilares sobre los que se asienta la economía rural, no sólo por el lugar donde se desarrolla la actividad y los empleos que genera de manera directa sino también por la amplia red de servicios que crea a su alrededor y su capacidad para fijar población en el medio rural (MAPA, 2017). A su vez, la sostenibilidad de un sistema agropecuario puede valorarse en base a su capacidad de generar bienestar social y calidad de vida a las personas que forman parte del mismo. En ello influyen factores internos y externos. Los internos se asocian a la penosidad del trabajo, nivel de estrés o incertidumbre o dificultad de manejo, dominio, comprensión y aceptación de la tecnología utilizada. Por su parte los externos, son derivados principalmente de la calidad del tejido social en el que se encuentra el sistema y que establece la posibilidad de acceso a las relaciones y servicios sociales. Este bienestar económico y laboral que genera el sistema, al igual que la percepción que tengan los trabajadores de su propia imagen social repercute en el relevo generacional y, por tanto, en la sostenibilidad global (Serrano *et al.*, 2003).

Por otro lado, que la sociedad acepte la producción y los productos resultantes de este tipo de producciones, también es determinante de la sostenibilidad, ya que, si no, no hay mercado de venta de los productos. Que el resultado de la actividad sea un producto saludable y demandado es esencial y constituye parte de la sostenibilidad social del sistema de producción animal, pero dependiente, esta vez, de la actitud de los ciudadanos como consumidores (García y Teixeira, 2017).

Finalmente, esta sostenibilidad “social”, incluye también la aceptación por parte de los consumidores del sistema productivo. Se refiere principalmente al mantenimiento y cuidado de los animales. Esta demanda social de maximizar el bienestar animal dentro de los sistemas productivos repercute en la sostenibilidad del sector (*European Parliament*, 2017; Broom, 2011).

3. Que la actividad sea sostenible desde el punto de visto medioambiental (sostenibilidad medioambiental) hace referencia al mantenimiento, a largo plazo, de los recursos para las próximas generaciones. No afecta sólo a los países desarrollados donde puede resultar más obvio, sino también a los países en desarrollo donde la producción individual es menor, e incentivar la propiedad de grandes rebaños puede suponer una mayor presión sobre la tierra y los recursos hídricos disponibles. En este caso, la mejor estrategia sería la intensificación sostenible con mejora en la genética y en la calidad de

la alimentación de los animales con el fin de asegurar la sostenibilidad de la producción y el consumo de leche (Tricarico *et al.*, 2020; Capper *et al.*, 2009).

En cuanto a la sostenibilidad medioambiental, cuando se habla de la huella de carbono se hace referencia al total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidas durante la vida de un producto o servicio, desde la extracción de la materia bruta y la manufactura para su uso, contando con todos los recursos hídricos y eléctricos, combustibles y fertilizantes utilizados, hasta la reutilización final, reciclaje o desecho (Carbon Trust, 2013).

4.1.3.1 Emisión de gases, cálculo y permanencia

Entre los principales GEI directos se encuentran el dióxido de carbono (CO₂), asociado a las actividades humanas, cuya contribución al efecto invernadero se estima en un 76% y su tiempo de permanencia en la atmósfera es de entre 50 y 200 años. El metano (CH₄), tiene un efecto 25 veces mayor al del CO₂, pero un tiempo de permanencia en la atmósfera de unos 12 años (entre 4 y 16 veces menor). Contribuye en un 13% al efecto invernadero y su fuente más importante es la fermentación de materia orgánica por bacterias anaerobias en sistemas biológicos (sector agropecuario, fermentaciones en vertederos, tratamiento anaerobio de aguas residuales, producción de gas natural, petróleo y minería). Por último, y no menos importante es el óxido nitroso (N₂O), con 230 veces más impacto en el clima que el CO₂, una contribución del 6% al efecto invernadero y un tiempo de permanencia en la atmósfera de 120 a 150 años. Es liberado fundamentalmente por el uso masivo de fertilizantes en la agricultura intensiva pero también por la combustión de biomasa y combustibles fósiles y la fabricación de nailon y ácido nítrico (Benavides *et al.*, 2007, IPCC, 2018).

Durante el 2019, las emisiones de CO₂, producidas a partir de combustibles fósiles y carbonatos, representaron la mayoría de las emisiones totales de GEI junto al cambio de uso de la tierra (65%). Las emisiones resultantes del cambio de uso de la tierra suponen aproximadamente el 11% del total a nivel mundial, focalizado en unos pocos países. Las concentraciones atmosféricas de los principales GEI se mantuvieron al alza durante el 2019 e inicio de 2020. Sin embargo, durante el resto de 2020, a consecuencia de las restricciones en el transporte debido a la pandemia de COVID-19 se produce una disminución de las emisiones principalmente asociadas con este sector (ONU, 2020).

A diferencia de los sectores de energía y transporte, la agricultura, aunque genera CO₂ por el consumo de energía, no genera este gas como GEI principal. Los gases principales producto de la actividad ganadera son metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) resultado de la fermentación entérica del ganado y la gestión de los purines (Flysjö *et al.*, 2011; Weiss y Leip, 2012). Los problemas de gestión que puede plantear el acúmulo de grandes volúmenes de estiércol y purines son, de hecho, los principales efectos medioambientales asociados a las explotaciones ganaderas intensivas (Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, 2011). En 2006, la FAO publicó el informe “La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones”, donde se afirmaba que la ganadería producía el 18% de los GEI, equiparándolo al total producido por el sector de transportes. Esta afirmación es falsa y fue desmentida por el mismo organismo tras evidenciar que los métodos de análisis de las emisiones de ambos sectores eran dispares, ya que para el análisis de las emisiones generadas por el ganado se consideraron todos los factores asociados a la misma, mientras que para los transportes no tuvieron en cuenta las emisiones por fabricación de piezas, su ensamblaje y el mantenimiento de las infraestructuras.

A nivel nacional, en España, el sector que más emisiones aporta al total de GEI es el transporte (27,7%), seguido de la industria (21,4 %), el conjunto de agricultura y ganadería (14,1%), la producción de electricidad (10,3%), el consumo de combustibles en el sector comercial, institucional y residencial (8,2%) y la gestión de residuos (5,1%). Por gases, el CO₂ supone un 77,6 % de las emisiones totales de GEI, seguido del metano, con un 14,3 % (MITECO, 2021).

Las principales fuentes de emisiones del sector pecuario son:

- La **fermentación entérica**: supone un 39% de las aportaciones del sector a nivel global. Por esta vía se emite metano debido principalmente a la digestibilidad de los piensos, siendo mayor cuanto más baja sea dicha digestibilidad. En 2019, Cain *et al.* (2019) observaron que el metano se destruye en un periodo medio de 10 años y que hay ciertas emisiones que permanecen estables cuando la fuente de la que procede también lo es (como sería el caso de la ganadería, salvo aumentos notorios). Por ello desarrollaron un nuevo método para calcular correctamente los equivalentes de CO₂, teniendo en cuenta el cambio en el flujo de metano, y comprobaron que se reducía en cuatro veces el resultado del cálculo de las emisiones de CO₂ (en comparación con los datos anteriores).
- Las **emisiones de CO₂ derivadas del uso de energía**, por el consumo directo o indirecto de combustible fósil, están asociadas a distintas actividades dentro del sector. Estas

actividades son mayoritariamente la producción de piensos, actividades en la granja y fuera de esta (acciones en el terreno, transporte y elaboración de piensos, y producción de fertilizantes). Son mayores en los países de la OCDE, debido a la alta mecanización del campo. Del mismo modo, las emisiones asociadas a la elaboración y transporte de leche, también es mayor en dichos países debido al mayor desarrollo en la elaboración de productos lácteos, al igual que el consumo de energía en granja, donde la producción intensiva suele ser principal (FAO, 2013). El consumo de energía contribuye con cerca del 20% del total de las emisiones del sector.

- Las **emisiones de CO₂ derivadas de la gestión del estiércol**: el almacenamiento y elaboración del estiércol implica el 10% de las emisiones del sector pecuario a nivel global. Estas emisiones son mayores en sistemas intensivos y con manejo de purines líquidos. En Norteamérica son mayores debido a que se acumulan en lagunas profundas; mientras que en Europa y Oceanía las emisiones son menores al acumular el estiércol en fosas o en forma sólida.
- Las **derivadas de la producción y elaboración de piensos**: supone el 45% de las emisiones de todo el sector pecuario.
- Las **provocadas por la elaboración y transporte de productos pecuarios**: el 6%.
- Las **emisiones derivadas del uso del suelo** por la expansión de zonas de pasto y cultivos forrajeros a costa de los bosques, incluida en la producción de piensos, supone aproximadamente el 9,2% de las emisiones del sector (6% debido a la expansión de los pastizales y el resto a la expansión de los cultivos forrajeros). Estas son considerablemente mayores en la producción de carne de vacuno en extensivo (por la extensión de pastizales -15%-) y regiones específicas como Sudamérica (vinculada a la expansión de la soja; Gerber *et al.*, 2013). Tanto los factores que impulsan el cambio de uso de la tierra como los métodos para calcular las emisiones provocadas por esta razón, continúan sometidos a debate. Sin embargo, para incluir esta categoría de emisiones en las evaluaciones globales es necesario comprender mejor la dinámica del carbono orgánico del suelo en los pastizales y desarrollar métodos y modelos de seguimiento y predicción de los cambios en las reservas de carbono (FAO, 2013b). Esto es muy relevante para la valoración de la sostenibilidad global de los sistemas intensivos de producción de leche y su mejora.

Según la Real Academia de Ciencias Veterinarias de España (RACVE), nuestra agricultura tiene capacidad de sobra para recibir toda la producción de estiércol sólido de forma respetuosa con

el medio ambiente. El problema se presenta principalmente con los estiércoles pastosos o semilíquidos cuando no hay posibilidad de que el sector agrícola próximo a donde se produce los recicle, debido al encarecimiento de su transporte y al uso de fertilizantes minerales.

En los últimos años, desde el punto de vista social y científico, ha aumentado la preocupación por la contribución de la producción de alimentos al cambio climático (Flysjö *et al.*, 2011; Hagemann *et al.*, 2011; Rotz *et al.*, 2010). Esto se debe a que se estima que la superficie de tierra cultivable representa el 35% de la superficie terrestre (*The World Bank*, 2014) y que el 75–80% de toda la tierra agrícola (tierras de cultivo y pasto) es necesaria para la producción ganadera (Foley *et al.*, 2011; Stoll-Kleemann *et al.*, 2015). A su vez, la ganadería consume alrededor del 35% de los cultivos agrícolas (Foley *et al.*, 2011) y usa el 26% del suelo del planeta (Stoll-Kleeman *et al.*, 2017).

De hecho, diversos estudios científicos instan a reducir el número de cabezas de ganado mediante un aumento del rendimiento por animal (Bellarby *et al.*, 2013; Cederberg *et al.*, 2009a). De esta forma se aumenta la producción de las granjas por hectárea, mitigando los niveles de GEI. Paralelamente, a través de informes como el del Panel Internacional de Expertos para el Cambio Climático de la ONU (IPCC) publicado en 2019, aconsejan un cambio hacia modelos de consumo con menor huella de carbono. En este se afirma que millones de Tm son liberadas por las prácticas agrícolas y uso del suelo, pero también por el almacenamiento, transporte, procesamiento, empaquetado y consumo de todo tipo de alimentos, entre ellos la carne. En cualquier caso, no se aconseja evitar el consumo de carne, dados sus beneficios, sino que el consumo sea de carne procedente de sistemas de producción con menor gasto energético. De la misma forma, hacen gran hincapié en frenar el desperdicio de comida, ya que un tercio de todo lo producido no se consume.

La afirmación de que la ganadería es la mayor fuente de GEI ha sido promovido por distintos informes, otorgando a la carne de vacuno una mala reputación:

- El informe de la FAO de 2006, que, aunque modificado y desmentido, tuvo gran repercusión internacional.
- El informe de *Worldwatch Institute* de Washington en 2009, donde se aseguraba que el 51% de los GEI era producido por los rumiantes domésticos.
- El informe de Rööös *et al.* (2017) donde indica que, si la producción de carne y lácteos se redujese en un 50%, en comparación con los niveles actuales, las emisiones de GEI del sector ganadero estimadas para el 2050 se reducirían en un 64%, afirmación también muy discutida.

- El informe de Greenpeace de 2018 (“menos es más”) donde se afirma que, debido a la actividad agrícola, el 80% de los mamíferos terrestres y de aves amenazadas, aproximadamente, se encuentran en peligro por la pérdida de hábitat.

Como consecuencia, han surgido campañas y tendencias que promueven una menor ingesta de productos animales debido a motivos medioambientales, como el *meatless day* en EE.UU.

Afortunadamente, desde el punto de vista científico existen diferentes soluciones posibles para disminuir las emisiones de GEI en las granjas lecheras intensivas. Gerber *et al.* (2011) demostraron que existe una relación directa entre productividad e intensidad de las emisiones, asociadas con pérdidas de nitrógeno, energía y materia orgánica, lo que explica la diferencia en la intensidad de las emisiones entre los países (**Gráfico 18**). Según esto, mejorar la eficiencia de producción es la primera opción a considerar.

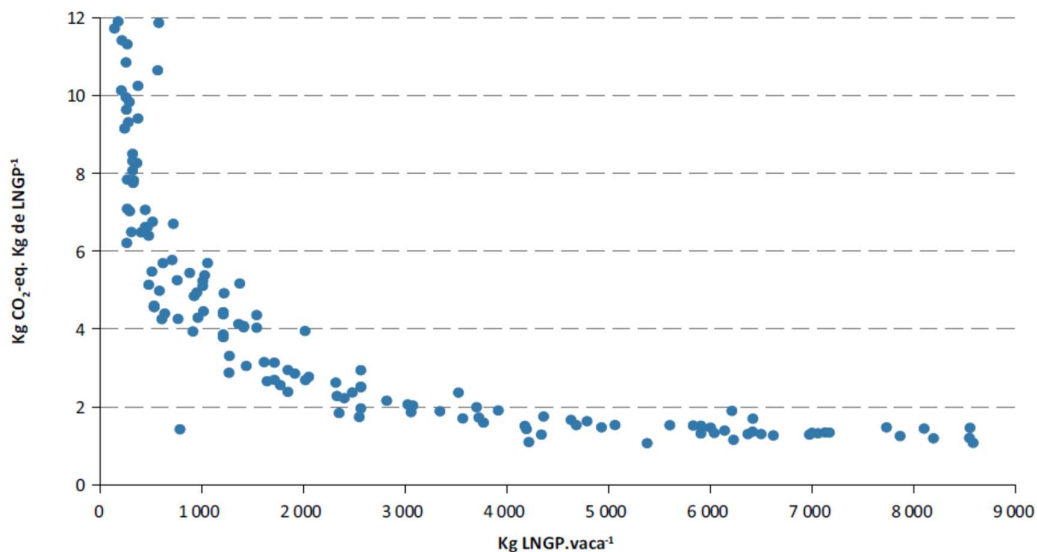


Gráfico 18. Relación entre productividad e intensidad de emisión de dióxido de carbono asociado a la producción de leche (promedios nacionales). Se observa la fuerte correlación entre la producción y la intensidad de emisión por unidad de leche producido. LNPG: leche con contenido normalizado de materia grasa y proteína. Fuente: Gerber *et al.*, 2011.

Las vacas con mayor rendimiento lechero se relacionan con menores emisiones/litro producido debido a que el total de GEI emitido se reparte entre más unidades de leche. De esta forma, disminuyen las emisiones relativas a las necesidades de mantenimiento de los animales. Estas producciones se logran mediante una mejora tecnológica y de manejo (piensos de alta calidad,

selección genética de los animales más productivos, manejo sanitario, etc.), potenciando el efecto de los recursos utilizados para la producción. Así, el total de animales (vacas, novillas y terneros) se reduce por unidad de leche producida. Un nivel de alimentación adecuado disminuye la liberación de nitrógeno y sólidos volátiles a la vez que tiene lugar un cambio metabólico en las vacas que favorece la producción y la reproducción, ayudando a reducir la intensidad de las emisiones (Cederberg *et al.*, 2009a; Garnsworthy, 2004; Vellinga *et al.*, 2011; Udo *et al.*, 2011; Asociación Pastores por el Monte Mediterráneo y del Foro Europeo para la Conservación de la Naturaleza y el Pastoralismo, 2013).

A nivel de rebaño se debe disminuir al máximo la proporción de animales no productivos mejorando la alimentación, la salud y la genética, a fin de mejorar la fertilidad, reducir la edad al primer parto de las novillas, disminuir la mortalidad y ajustar las tasas de reposición de la granja. De esta forma, las emisiones se reducen tanto a nivel individual como de rebaño (FAO, 2013). De hecho, las emisiones más intensas, en lo relativo a producción de leche bovina, son menores en las regiones industrializadas del mundo (**Gráfico 19**).

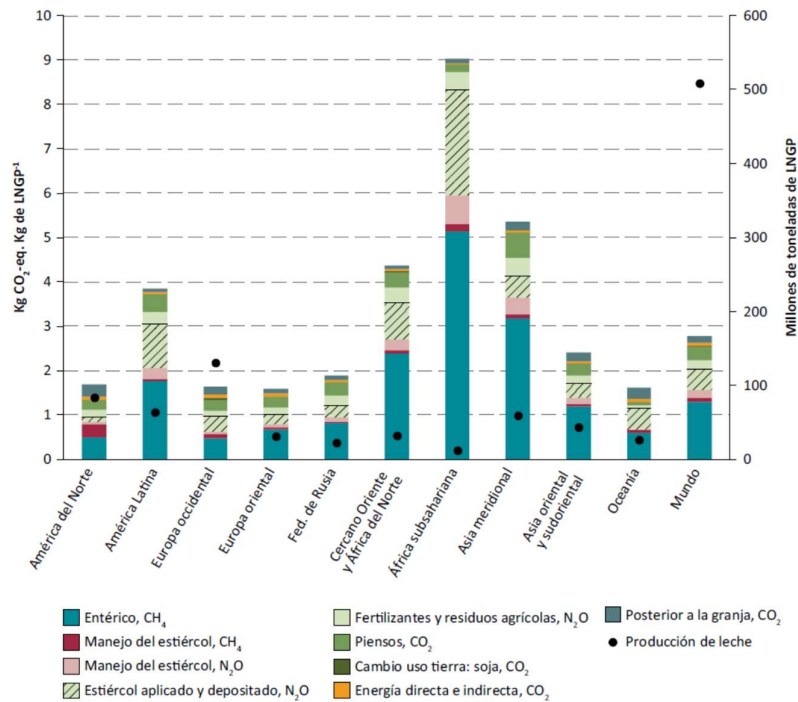


Gráfico 19. Variación regional de la producción de leche de vacuno e intensidades de emisión de GEI. En las regiones con bajo rendimiento lechero, la fermentación entérica es la fuente principal de emisiones, mientras que las zonas más industrializadas, la suma de las emisiones por el estiércol y la producción y elaboración de piensos son similares a las derivadas de la fermentación entérica. LNPG: leche con contenido normalizado de materia grasa y proteína. Fuente: GLEAM.

Pero ¿qué pasa con aquellas granjas que ya tienen niveles de productividad elevados? Pues aún sigue siendo posible disminuir significativamente sus emisiones (OCDE-FAO, 2011) mediante distintas intervenciones de mitigación como el uso de aceite de linaza o de aceite de semilla de algodón en las raciones de las vacas en lactación para reducir la fermentación entérica, mejorar la gestión del estiércol mediante digestores anaerobios, ya que reduce las emisiones de CH₄ y libera biogás, que puede sustituir otras formas de energía. Por último, se pueden reducir emisiones mediante el uso de tecnologías más eficaces, relacionadas con el consumo de energía en la producción de piensos, la actividad en granja y las operaciones posteriores.

Así pues, si se consideran las modificaciones en el manejo del estiércol, el uso energético, la calidad de los piensos y la mejora del rendimiento de los animales en el sector lechero, se ha estimado un potencial de mitigación del 4–5% (54 a 66 millones de toneladas de CO₂-eq) con respecto a las emisiones GEI de referencia. El potencial de mitigación del uso de lípidos comestibles también resultó interesante, siendo mayor en Oceanía (3–9%), comparado con EE.UU. y Europa Occidental (1–4%; 1,5–4,4 millones de toneladas de CO₂-eq en EE. UU. y 2,3–6,8 millones de Tm de CO₂-eq en Europa occidental).

Es cierto que el 25% de las emisiones anuales de GEI corresponden al sector alimentario y un 58% de este porcentaje corresponde a la producción de productos de origen animal (siendo un 50% de este debido a la producción de carne de ternera y cordero), por lo que disminuir el consumo de productos animales disminuiría la huella de carbono generada por la industria alimentaria. Sin embargo, a este respecto, sería también importante decantarse, en general, por productos de temporada y cercanía, ya que, en muchas ocasiones, tiene menor impacto en la huella de carbono el consumo de carne criada en proximidad que un producto vegetal procedente de la otra parte del mundo o fuera de temporada (Poore *et al.*, 2018).

Para afrontar el problema de la gestión del estiércol, se está trabajando a nivel europeo y nacional en el desarrollo de sistemas de tratamiento, procesado y depuración que sean asequibles al sector ganadero, a nivel técnico y económico. Paralelamente se desarrollan programas de valorización agrícola de estiércol como abono órgano-mineral, regulando su aplicación para preservar las aguas subterráneas de la contaminación por nitratos. Además, es necesario considerar que no existe una normativa medioambiental común a nivel estatal ni europea en lo relativo a ganadería bovina de aptitud láctea, sino que la legislación a seguir viene pautada a nivel autonómico y en función de múltiples factores. Para facilitar la gestión y evitar o disminuir los efectos nocivos de la producción intensiva se han desarrollado las conocidas

como Mejores Técnicas Disponibles, donde cada granja podrá seleccionar aquella/as que mejor se adapten a su situación específica. Esto será en función de distintos factores como tipo productivo, tamaño, edad de las instalaciones, disponibilidad de materias primas para alimentación, disponibilidad de terreno para las instalaciones, disponibilidad y características del terreno para la valorización de las deyecciones, climatología o tipos de cultivo entre otros muchos. La implantación de estas técnicas también presenta una serie de ventajas de tipo económico, social y en el bienestar animal; siendo posible que se apliquen en el sector ganadero de forma viable, tanto técnica como económicamente (MAPA, 2017).

5 Eficiencia reproductiva en sistemas intensivos de producción de leche bovina

Son muchos estudios los que abordan el vínculo entre la eficiencia reproductiva y la rentabilidad en los sistemas intensivos de producción de leche bovina (Giordano *et al.*, 2011; Giordano *et al.*, 2012; Kalantari *et al.*, 2012; Galvão *et al.*, 2013; Cabrera, 2014; Overton *et al.*, 2017; Ricci *et al.*, 2020; DeVries *et al.*, 2020). Basándonos en esta evidencia y por ser el ámbito temático en el que se centra el presente trabajo de tesis doctoral, hemos decidido desarrollar un apartado específico en el texto, que desgane la actualizad científica del mismo.

Por eficiencia reproductiva (ER) se entiende un desarrollo adecuado de la reproducción, optimizando la producción y el beneficio económico (González-Stagnaro, 2005). Al ser resultado de la interacción entre distintos factores es difícil de precisarla en términos específicos (Macmillan *et al.*, 2020). Así pues, quizá la forma más sencilla de definirla sería “la obtención de un ternero por vaca dentro del período permisible para maximizar la rentabilidad, como expresión de la fertilidad de los progenitores, la intervención del hombre y la acción del ambiente” (Horrach *et al.*, 2020).

Algunos autores como Inchausti *et al.* (2010), contabilizan el coste de una eficiencia reproductiva deficiente en 231€/vaca/año en granjas lecheras holandesas. Así pues, en los últimos años, la mejora de la eficiencia reproductiva y, por ende, de la sostenibilidad económica de las granjas, ha supuesto uno de los objetivos más importantes en las empresas de ganado lechero (González-Recio *et al.*, 2006), objetivo al que nos sumamos también en el presente trabajo de tesis doctoral.

El objetivo de mejorar la eficiencia reproductiva es conseguir que las vacas queden gestantes en el mejor momento de la lactación (para maximizar su producción) y con el menor número de inseminaciones posibles. Por lo tanto, es esencial, por un lado, decidir el momento óptimo de gestación (se trata de una decisión técnica). Por otro, es esencial asegurar una máxima fertilidad de las vacas, una vez que decidimos que debemos dejarlas gestantes (Cardoso Consentini *et al.*, 2021)

Existen distintos factores que influyen en la fertilidad: genéticos, nutricionales, hormonales, fisiopatológicos, de manejo y climáticos. Sin embargo, dado que en el ganado lechero los rasgos de fertilidad tienen una baja heredabilidad, la mayoría de las variaciones en la fertilidad están determinadas por factores ambientales (Thiruvankadan *et al.*, 2010).

Desde los años 70 y hasta principios del s. XXI, las vacas lecheras se han caracterizado por una fertilidad descendente en el tiempo, debido a un retraso en la reanudación de la ciclicidad ovárica postparto (Opsomer *et al.*, 2000; Crowe *et al.*, 2015), mala recuperación de la salud uterina (Crowe *et al.*, 2012, 2014), menor expresión de los signos del celo y menores tasas de gestación en las primeras inseminaciones y posteriores. Este último se debe principalmente a una mayor incidencia de muerte embrionaria y fetal (Diskin *et al.*, 2012). En consecuencia, se han realizado numerosos esfuerzos para mejorar la fertilidad media de las vacas lecheras y, de hecho, este objetivo se ha alcanzado, justo al comienzo del s. XXI. Una adecuada revisión sobre estas circunstancias y cómo el sector profesional y científico ha conseguido solventarlo lo encontramos en Heras-Molina *et al.* (2020).

Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, la reproducción es tan compleja y depende de tantos factores que predecir el nivel de importancia de cada uno de ellos es complicado. Por ello, Martin *et al.* (2019) diseñaron un modelo de simulación donde se combinan diferentes factores para estimar el rendimiento productivo y reproductivo a nivel individual y de rebaño, permitiendo probar los efectos de los cambios en las estrategias de manejo reproductivo y objetivos, según diferentes escenarios.

5.1 Impacto del rendimiento reproductivo sobre la eficiencia productiva

El rendimiento reproductivo del rebaño lechero está muy asociado con la eficiencia productiva (Giordano *et al.*, 2012; Galvao *et al.*, 2013).

Varios modelos de simulación en Europa (Østergaard *et al.*, 2005; Rutten *et al.*, 2014) y Norteamérica (De Vries y Conlin, 2003; Cabrera, 2012; Giordano *et al.*, 2012) han demostrado el efecto negativo que tiene la disminución del rendimiento reproductivo sobre los beneficios económicos de las granjas. También en España se ha propuesto un simulador (<https://sniba.es/que-hacemos/formacion/simulador-explotaciones-lecheras/>) que permite la simulación de estrategias reproductivas y comprobar su efecto en la eficiencia económica de la granja a medio y largo plazo (Calsamiglia *et al.*, 2018).

El USDA calcula que la ineficiencia reproductiva en ganado bovino lechero cuesta a los ganaderos, a nivel mundial, más de mil millones de dólares anuales (USDA, 2009, 2010). ¿Cuál es la razón? La eficiencia reproductiva redundante en diferentes efectos positivos como una mayor productividad de la leche, asociado al aumento en la cantidad vendida (Raheja *et al.*, 1989; Cabrera, 2014). También redundante en la venta de más terneros y mayor disponibilidad de novillas de reemplazo, lo que permite realizar un desviejo voluntario más selectivo y agresivo (Souza *et al.*, 2013) con el objetivo de seleccionar aquellos animales que, a la larga, supongan menores costes de reemplazo y mortalidad. Otro efecto es que se inducen menores costes de reproducción en función del rendimiento en leche, persistencia de la curva de lactación y número de lactación, ya que es más rentable mantener las vacas gestantes y reemplazar las no gestantes por novillas (Britt, 1985; Boichard, 1990; Stott *et al.*, 1999; Vargas *et al.*, 2002; De Vries, 2004; Meadows *et al.*, 2005; DeVries, 2006; Giordano *et al.*, 2011 y 2012; Cabrera, 2012, 2014; Kalantari y Cabrera, 2012; Galvao *et al.*, 2013; Souza *et al.*, 2013; Cabrera, 2014; Gilbert, 2016).

Desde el punto de vista individual de la vaca, para que un animal comience a producir leche tiene que haber parido. Además, la eficiencia de la producción de leche es significativamente mayor durante la lactación temprana o pico de lactación (45–60 días en leche o DEL), disminuyendo en torno al 0,3%/día tras el pico (Statham, 2016). De ahí que en esta fase el beneficio por la venta de leche sea mayor al gasto por el alimento, en comparación con las vacas en mitad o final de lactación (Ribeiro *et al.*, 2012; DeVries, 2006). A su vez, durante el primer tercio de lactación, las vacas múltiparas tienen una producción de leche, generalmente, mucho mayor que las vacas primíparas por lo que, respecto a un mismo coste en alimentación, se puede lograr una mayor producción de leche por vaca y día (Stanton *et al.*, 1992; Scott *et al.*, 1996; Van Amburgh *et al.*, 1997; Raheja *et al.*, 1989; Cabrera, 2014; Stangaferro *et al.*, 2018). Esta situación se intensifica con el número de partos de las vacas. Así, es posible lograr una mayor eficiencia de producción de leche aumentando, dentro de las vacas más viejas, el porcentaje de ellas en la

fase temprana de lactación (Cardoso *et al.*, 2021). Este objetivo sólo se puede conseguir con estrategias reproductivas concretas. Del mismo modo, cuantos menos días improductivos/animal consigamos mejor será nuestra eficiencia. De manera similar, cuanto mayor sea el número de vacas que quedan gestantes en el momento de la lactación que hayamos decidido (periodo de espera voluntario o PEV), mejor será la eficiencia productiva general. Todos estos criterios maximizan el número de partos/animal y consiguen aumentar la producción total de leche y la producción por animal y día, ya que las vacas pasan más tiempo en una fase de máxima producción (picos de lactación y fases de alta persistencia). Todo esto mejora la eficiencia productiva y económica global (Ferguson y Galligan, 1999; Lucy, 2001). Así, según informan Ribeiro *et al.* (2012), en rebaños de alta producción (12.500 kg en 305 d de lactación) y de producción moderada (9.000 kg en 305 d de lactación), una reducción en el intervalo entre partos de 60 días aumenta la producción de leche por día, en 1,51 y 1,11 kg y durante toda la lactación aproximadamente en 498 y 366 kg respectivamente. Sin embargo, según los niveles de producción y las formas y persistencia de las curvas de lactación, mejorar el rendimiento reproductivo puede no aumentar, sino mantener o incluso disminuir los ingresos netos. Está claro entonces que las decisiones en la gestión reproductiva deben tomarse de acuerdo con los niveles de producción de leche específicos de la granja y la forma de las curvas de lactación. A este respecto, en el caso de granjas con curvas de lactación muy persistentes, cabe la posibilidad de alargar el PEV para aumentar los ingresos por venta de leche (Cabrera, 2012).

Sea cual sea la circunstancia, que la vaca quede gestante en un momento óptimo y en un intervalo rentable tras el parto, es de gran importancia para mantener una producción de leche eficiente (Sakaguchi, 2011). Por lo tanto, lo recomendable es reevaluar el impacto económico de los programas reproductivos periódicamente a medida que cambian las condiciones de la granja y el rebaño (Kalantari y Cabrera, 2012) y por ello, no hablamos ya de “mejorar” ni “maximizar” la fertilidad, sino de optimizar la eficiencia reproductiva, lo cual es mucho más complejo.

Una vez que ya se ha decidido el programa reproductivo de la granja, es posible ajustar aún más el desempeño reproductivo a nivel individual, basándonos en el concepto de valor económico de una vaca (Cabrera, 2012) o de “margen neto proyectado” (RPO; De Vries, 2006) y todas sus métricas asociadas (por ejemplo, el valor de una nueva gestación, el coste de una pérdida de gestación y el coste de un día abierto). Por día abierto se entiende el espacio de tiempo, en días, desde el parto hasta que la vaca quede de nuevo gestante (González-Recio y Alenda, 2005). Por

otra parte, los gastos veterinarios, de alimentación y mano de obra están muy influenciados por el programa reproductivo, ya que la duración de la lactación, el periodo seco y la media de inseminaciones artificiales (IA) por gestación están correlacionados con la eficiencia reproductiva de las vacas (Giordano *et al.*, 2011).

En resumen, con programas reproductivos eficientes es posible regular la estructura y dinámica poblacional del rebaño, lo que permite aprovechar la parte más eficiente de la curva de lactación (Ferguson y Galligan, 1999) al tiempo que se maximiza la producción de recria en la granja (Giordano *et al.*, 2012), minimizando los costes asociados a la compra de novillas, la mortalidad (Giordano *et al.*, 2011, 2012; Galvao *et al.*, 2013), y la reproducción (Giordano *et al.*, 2012).

Por último, es importante tener en cuenta que la ineficiencia reproductiva es la causa más común de desecho involuntario (Bascom *et al.*, 1998). Por lo tanto, disminuir la tasa de desecho de vacas con un alto valor genético debido a una mala reproducción es un objetivo clave de la eficiencia reproductiva, enfocando para desecho a las vacas con menor producción de leche, mastitis y alteraciones podales o mamarias. Así pues, cuando se mejora la eficiencia reproductiva observamos una mejora en la calidad general del rebaño. Incluso, rebaños con ya una óptima eficiencia reproductiva pueden verse beneficiados por mejoras adicionales como reducción en costes de semen, hormonas y en trabajo (Giordano *et al.*, 2011; Cabrera, 2014; Ricci *et al.*, 2020).

5.2 Indicadores de eficiencia reproductiva

Para poder evaluar la eficiencia reproductiva (ER) en granja disponemos de índices reproductivos. Se refieren a datos extraídos a partir del análisis de los datos reproductivos y nos permiten estimar la eficiencia reproductiva de las granjas, tanto a nivel individual como en su conjunto, siendo útiles para (Meadows, 2005):

- Conocer cuantitativamente la magnitud de la eficiencia reproductiva (con ellos medimos)
- Establecer niveles de eficiencia que sirvan de referencia a las granjas (con ellos comparamos)
- Marcar los objetivos de mejora y estudiar los resultados (con ellos analizamos)
- Detección de problemas sanitarios o de manejo (con ellos diagnosticamos)

Bailey *et al.* (1999) sugirió que los registros reproductivos de las granjas se analizaran por el número de parto y el momento de la lactación, para poder acotar mejor los resultados y fijar de una forma más exacta los objetivos de las granjas, obteniendo así mayor beneficio.

Encontramos diferentes indicadores reproductivos, sin embargo, nos centraremos en los más utilizados, definiéndolos de manera muy breve.

- a. **Intervalo entre partos o intervalo parto-parto (IPP) y días abiertos (DA):** el IPP es un índice que indica la media de tiempo que transcurre entre dos partos y está aceptado como una de las mejores medidas individuales de eficiencia reproductiva (Norman *et al.*, 2002), ya que nos aporta información general de la granja. Puede verse afectado por diversos factores como el manejo reproductivo, el tamaño del rebaño, la estacionalidad de los partos, el nivel productivo, el número de partos o las técnicas de IA. Se utiliza mucho y es el recomendado en aquellas granjas que carecen de un registro reproductivo detallado (González-Recio, 2005). Un aumento del IPP puede deberse a una tasa de concepción más baja, la cual está influenciada por varios factores como el momento de lactación y la producción de leche (Inchaisri *et al.*, 2010). Los DA, como se definieron anteriormente, son el intervalo de tiempo, en días, entre el parto y la nueva concepción y son un rasgo de fertilidad ampliamente utilizado, y es el recomendado en poblaciones que carecen de un esquema detallado de registro reproductivo (González-Recio y Alenda, 2005). Como ambos parámetros se calculan en relación a la fecha de parto de las vacas, solo pueden calcularse para aquellos animales que hayan parido, lo que debemos tener en cuenta (Löf *et al.*, 2012). El valor objetivo medio para el IPP en vacas de leche es de 13 meses y para DA de 115 días (Holmann *et al.*, 1984; Schmidt, 1989; Jiménez, 2018). En general, cuanto menor sea el número de DA, tendremos más recría (Schmidt, 1989) y más rentabilidad a excepción de granjas/vacas de alta producción, que pueden tener ventajas con DA más prolongados (Arbel *et al.*, 2001).
- b. **Periodo de espera voluntario (PEV):** se define como el tiempo entre el parto y el momento en que la vaca es elegible por primera vez para la inseminación, es decir, el período después del parto en el que una vaca no se insemina por decisión técnica. El PEV se determina en función del manejo, del nivel productivo de la granja, de la vaca individual, etc., pudiendo permitir así, lactaciones más largas o adaptadas a la situación (Inchaisri *et al.*, 2011). En general, se recomienda un PEV mínimo de 45 días, lo que permite la involución uterina completa y la reanudación de la ciclicidad ovárica (Fetrow *et al.*, 2007). Acortar demasiado el PEV reduce dramáticamente la fertilidad a esa

primera IA (Moral *et al.*, 2011). Normalmente se fija en 60 días (*Herd Summary* DHI-202, 1997) aunque puede ser variable, pudiendo resultar adecuado que sea superior en primíparas (del Moral *et al.*, 2011; Pursley *et al.*, 1998). El PEV obviamente varía entre los rebaños, pero también puede variar individualmente por animal, dentro de un rebaño, de acuerdo con el número de partos y la producción de leche de cada vaca (Petersson *et al.*, 2008)

- c. **Tasa de detección de celo/estro (DE) o tasa de inseminación:** la primera hace referencia al total de celos detectados respecto de los celos posibles, cada 21 días; mientras que la segunda, al número de vacas inseminadas respecto al total de vacas elegibles durante el mismo periodo de 21 días (Jiménez, 2018). Elevar la tasa de detección de celos implica beneficios económicos generales, porque aumentar la inseminación a celo visto, reduce el coste medio por gestación (De Vries *et al.*, 2003). La tasa de inseminación aumenta al mejorar la detección de celos y con los programas de sincronización y/o inseminación a tiempo fijo (IATF), ya que podemos inseminar prácticamente al 100% de las vacas disponibles. En vacas adultas se considera adecuado un valor >65 % y en novillas el objetivo sería >70 % (Jiménez, 2018).
- d. **Intervalo parto-1ªIA (IP1ªIA):** como su nombre indica es el intervalo entre el parto y el primer servicio. Tiene gran influencia en la rentabilidad de las explotaciones, ya que como se expuso anteriormente, acortando el intervalo ente partos, se acortan también las curvas de lactación, maximizando el porcentaje de momentos de mayor producción de leche. Es un indicador de la capacidad de una vaca para volver a ciclar después del parto y puede considerarse como una medida indirecta del tiempo desde el parto hasta la primera ovulación (Petersson *et al.*, 2007). Se ve afectado directamente por el PEV y la detección de celo. En casos ideales debería ser muy cercano al PEV. Para mejorarlo, el manejo y la salud de los animales cobran gran importancia (Meadows, 2005)
- e. **Conception Rate o tasa de concepción o fertilidad (CR):** definido como el número de vacas gestantes respecto del número de vacas inseminadas. Cuando se usa IATF tiene un valor medio en la granja del 40% (Pursley *et al.*, 1997; Tenhagen *et al.*, 2004).
- f. **Pregnancy Rate o tasa de preñez (PR):** se define como el número de vacas gestantes respecto del número de vacas disponibles en un intervalo de tiempo determinado (Colazo y Mapletoft, 2014). Es el número de vacas que quedan gestantes en cada ciclo estral (cada 21d) y es el producto de la tasa de detección de celo (o de inseminación) y la tasa de concepción. Es un índice dinámico, muy útil y representativo del ritmo con el

que vamos dejando las vacas gestantes, que permite el diagnóstico de un problema reproductivo cuando aún se puede corregir (Cardoso *et al.*, 2021). Aunque solo puede determinarse después de un diagnóstico de gestación (Ferguson y Galligan, 1999), parece ser el mejor parámetro individual para medir, estandarizar y comparar el rendimiento reproductivo entre rebaños (Giordano *et al.*, 2011, 2012; Galvao *et al.*, 2013). Este valor debe calcularse por separado para la primera IA y las segundas y posteriores IA (Cardoso *et al.*, 2021). Es en este índice donde podemos ver de manera más clara los beneficios de implementar sistemas con IATF, ya que, en estos casos, la tasa de inseminación entre las vacas disponibles es del 100% (inseminamos a todas). Se considera que el margen bruto por vaca se maximiza cuando la PR del rebaño es >30%. Dado que la eficiencia reproductiva está determinada por el PR y puesto que la tasa de concepción generalmente es inferior al 40% en la mayoría de las granjas, la tasa de detección de celo/inseminación debe ser superior al 80% para lograr una PR >30% (Ferguson y Galligan, 2000).

- g. **Pregnancy Loss o tasa de pérdida de gestación:** este valor, expresado en porcentaje (%), indica la pérdida de gestación tras un diagnóstico positivo (>28 días post IA) denominada también muerte embrionaria tardía-fetal temprana. Es una forma importante de infertilidad que afecta significativamente el rendimiento reproductivo y económico de las granjas lecheras (Lee, 2007). Es un problema común, especialmente en animales de alta producción (Lucy, 2001), con una prevalencia que varía entre el 7,2% (Silke *et al.*, 2002) y el 29% (Santos *et al.*, 2016; Wiltbank *et al.*, 2016), y una media global del 11,95% (Wiltbank *et al.*, 2016).

Aunque los objetivos los debemos adaptar en cada granja en la que asesoramos, a modo de resumen podemos marcar como valores objetivos de rebaño los siguientes números (Poock *et al.*, 2009; Fricke, 2012):

- IPP: 12–13 meses
- PEV: 60–75 días
- DE/año: 50%, aunque Bailey y Currin (1999) califican como bueno un valor igual o superior de 70%
- IP1ªIA: 90–100 días
- CR: 35–45%
- PR: 20–30%

5.3 Factores que influyen en la eficiencia reproductiva

Existen numerosos factores que influyen en la eficiencia reproductiva de las vacas lecheras en sistemas intensivos de producción, implicando no sólo al animal en sí, sino también a todo lo relativo a su manejo (Lucy, 2001, 2007; McDowgal, 2006; Dobson *et al.*, 2007).

Para hacer una breve revisión de los mismos, los hemos agrupado en factores individuales o intrínsecos y factores ambientales.

5.3.1 Factores individuales

Son aquellos factores intrínsecos al animal, que se presentan independientemente de otras variables.

- Edad y número de partos: las diferencias en la eficiencia reproductiva entre vacas primíparas y múltiparas son controvertidas, ya que algunos estudios informan de un mejor rendimiento reproductivo en vacas múltiparas (De Kruif, 1978; Diskin, 1996; Wathes *et al.*, 2001), mientras que otros no registran diferencias o bien observan un rendimiento superior en vacas primíparas (Thompson *et al.*, 1996; Grohn *et al.*, 2000; Tenhagen *et al.*, 2004). Tales diferencias se han asociado a factores como la persistencia de folículo dominante, tamaño preovulatorio del folículo, tiempo de iniciación de la ovulación, variaciones en la concentración hormonal y la edad (Tenhagen *et al.*, 2001; Taponen *et al.*, 1999). Diferentes autores afirman que las vacas múltiparas reinician antes la ciclicidad postparto, por lo que el intervalo desde el parto hasta la primera ovulación es más largo en las primíparas (Adrien *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2010). Por su parte, Rocha *et al.* (2001) evidenciaron menores tasas de concepción en primíparas. Respecto a la tasa de preñez según la edad de las vacas, también vemos hallazgos contradictorios (Jobst *et al.*, 2000). Algunos investigadores registran que el día 45 y el día 90 después de las inseminaciones, las tasas de preñez son menores en múltiparas (Tenhagen *et al.*, 2001, 2004; Portaluppi, 2005).

Otro factor que influye es que la distocia es más común en las vacas primíparas; pero, aun así, diferentes estudios evidencian menos problemas reproductivos en las primíparas en comparación con las vacas más viejas (Huszenicza *et al.*, 1987). Otros

estudios, sin embargo, indican lo contrario, mostrando una mayor probabilidad por parte de las vacas múltiparas de sufrir retención de placenta y quistes ováricos, lo que retrasa el momento de la concepción (Lucy *et al.*, 1992; Gröhn *et al.*, 2000; Citek *et al.*, 2017). Finalmente, según otro estudio se afirma que la probabilidad de quedar gestante es un 8% menor en las vacas de tres partos en adelante, en comparación con las primíparas (Gröhn *et al.*, 2000).

Y en realidad, el problema es que aún no comprendemos completamente la relación entre el estado metabólico, el número de partos y la duración del anestro posparto. Algunos autores afirman que las primíparas tienen intervalos de tiempo más largos desde el parto hasta su primera ovulación posparto (Kawashima *et al.*, 2007; Tanaka *et al.*, 2008), mientras que, según otros, el número de partos no tiene ningún efecto sobre el anestro posparto (Wathes *et al.*, 2007a; Zain *et al.*, 1995). Estas contradicciones entre estudios pueden estar relacionadas con diferencias en la genética de las vacas, el nivel de nutrición, diferentes tratamientos de sincronización, diferentes razas, fármacos, estado nutricional, condición corporal y momento en el que se inicia el protocolo (Grohn *et al.*, 2000). En definitiva, aunque las evidencias científicas no clarifican del todo unas pautas claras para la práctica en las granjas lecheras, sí parece que las primíparas muestran características de fisiología ovárica diferentes a las múltiparas, de manera que en general, se recomienda tenerlo en cuenta y adaptar protocolos y pautas de manejo específicas para ellas.

- Estado de salud durante la transición, enfermedades y balance energético negativo (BEN): el periodo de transición abarca desde los 60 días previos al parto a los 30 días posteriores a este (McClary *et al.*, 2014). Es un factor crítico en la rentabilidad de los rebaños lecheros, ya que normalmente, de forma paralela al aumento en la producción de leche, las vacas de alta producción están sometidas a un balance energético negativo (BEN) debido a los altos requerimientos de energía para la producción de leche con una tasa de ingesta de materia seca reducida (Bauman, 1980; Butler, 1981). Se estima que hasta el 75% de la incidencia de enfermedades y pérdidas económicas en las granjas lecheras ocurre durante este periodo (LeBlanc *et al.*, 2006). Dependiendo de la gravedad del BEN, se eleva la incidencia de enfermedades metabólicas asociadas. Así pues, se describen: cetosis, retención de placenta, metritis, mastitis, desplazamiento de abomaso, acidosis, hígado graso, hipocalcemia, cojera e infertilidad (Vanholder *et al.*,

2006; McArt *et al.*, 2013). Todo ello repercute en la condición corporal de las vacas (CC; Grummer *et al.*, 2004), la salud, la producción y la reproducción durante el resto de la lactación (Carvalho *et al.*, 2019; Barletta *et al.*, 2017), así como en la probabilidad de sacrificio y mortalidad (Godden *et al.*, 2003; Shahid *et al.*, 2015). En definitiva, influye en los costes (Santos *et al.*, 2010; Liang *et al.*, 2017; Carvalho *et al.*, 2019). Por lo tanto, durante este periodo la nutrición y el manejo son fundamentales para el retorno a la ciclicidad postparto y el éxito de los programas reproductivos (Cardoso *et al.*, 2021). Específicamente sobre la reproducción, el BEN afecta la fisiología ovárica y retrasa la ciclicidad (Shrestha *et al.*, 2004), asociándose a un menor crecimiento del folículo dominante y la producción de estradiol. Esto ocurre, posiblemente, debido a la disminución de los pulsos circulantes de insulina, IGF-1 y LH (Canfield y Butler, 1990; Butler, 2003, 2005; Vernon *et al.*, 2001). En consecuencia, se afecta el tiempo de retorno a celo (Tanaka *et al.*, 2008; Walsh *et al.*, 2011; Adrien *et al.*, 2012), la tasa de detección de celos, el IP1ªIA, los días abiertos, la tasa de concepción a primer servicio y la pérdida de gestación (Carvalho *et al.*, 2014). Así, las vacas que no enferman dentro de los primeros 21 DEL tienen menos días abiertos, alcanzan antes el pico de producción de leche y producen más leche, tanto en el pico como a lo largo de su lactación (Carvalho *et al.*, 2019).

Independientemente del sistema de alimentación (pastoreo, mixto o mezcla única, TMR, del inglés *Total Mixed Ration*), las primíparas pueden tener más dificultades para adaptarse al inicio de la lactación que las múltiparas, debido a que sufren una mayor movilización de reservas corporales. Esto provoca un mayor desequilibrio endocrino y metabólico, entrando en BEN (Lucy *et al.*, 1992), por lo que el intervalo desde el parto hasta la primera ovulación puede ser más largo en las primíparas que en las múltiparas (Adrien *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2010). Sin embargo, no parece ser ésta una asociación absolutamente aceptada. Hay autores que indican que el número de partos no afecta el anestro posparto, como ya comentamos previamente (Wathes *et al.*, 2007a; Zain *et al.*, 1995).

- Pérdida de Condición Corporal (CC). Este factor está muy relacionado con el anterior. La CC es una estimación visual y táctil de las reservas de grasa corporal utilizando una escala de 1 a 5 puntos: desde delgada (1) hasta obesa (5; Edmonson *et al.*, 1989; Bastin y Gengler, 2013). Esta puntuación refleja indirectamente los cambios en las reservas de

energía en el ganado lechero (Bewley y Schutz, 2008), siendo un indicador clave de la salud de las vacas (Heuer *et al.*, 1999).

La variación de CC durante los primeros meses de la lactación se asocia con procesos clínicos como parto distócico o gemelar, retención de placenta, cetosis, metritis y desplazamiento de abomaso (Dohoo y Martin, 1984; Ruegg y Milton, 1995; Gillund *et al.*, 2001; Berry *et al.*, 2007b). Varios autores afirman que un mayor grado de pérdida de CC después del parto puede aumentar el porcentaje de vacas que no están ciclando al final del PEV (Gümen *et al.*, 2003; Santos *et al.*, 2004a, 2009; López *et al.*, 2005). Respecto a la relación entre la CC y la eficiencia reproductiva, se observa que vacas con menor CC al momento de la inseminación reducen su fertilidad (Moreira *et al.*, 2000; Souza *et al.*, 2008; López-Gatius *et al.*, 2003). Barletta *et al.* (2017) observaron que las vacas que durante el postparto aumentaban la CC salían a celo antes que las vacas que perdían CC (33,9 vs 47,1 d), y más concretamente en torno a los 50 DEL. Estas vacas con mejor CC, tenían mejor estado de salud y ciclicidad en la etapa inicial de la lactación y una excelente fertilidad al primer servicio. Para todo ello es fundamental que las vacas paran con una CC en torno al 2,5–3 (Carvalho *et al.*, 2014). Este mismo estudio indica que una mayor pérdida de peso corporal durante el período posparto temprano no afectaba la tasa de fertilización *in vitro* de los ovocitos, pero sí aumentaba el porcentaje de embriones degenerados.

- Valor genético de los animales. Gracias a la selección genética hemos mejorado notablemente el potencial productivo de las vacas, sobre todo en las décadas de los años 80 y 90 (González-Recio, 2020; Brito *et al.*, 2021). Sin embargo, también hemos detectado una asociación negativa entre producción y eficiencia reproductiva, tanto en sistemas intensivos como de pastoreo (Grosshans *et al.*, 1997; Pryce *et al.*, 2001). Por ello, en las últimas décadas, se ha prestado también mucha atención a los rasgos de fertilidad y a su relación con la producción (VanRaden *et al.*, 2004; García Ruiz *et al.*, 2016; Cole *et al.*, 2018; Lucy, 2019). De hecho, ya en 2005, Miglior *et al.*, informan de que distintos países europeos, Australia, Nueva Zelanda y los Estados Unidos, incluyen, desde hace décadas, la fertilidad en sus índices de selección nacional, habiendo dejado de enfatizar sólo rasgos asociados a producción láctea (Miglior *et al.*, 2005, 2017). Además, debido a la baja heredabilidad de los rasgos de fertilidad y las dificultades relacionadas con su medición, se han propuesto nuevos caracteres fenotípicos, como la CC y otros rasgos indicadores de la fertilidad con una fuerte relación con la eficiencia

reproductiva (Pryce *et al.*, 2001; Veerkamp *et al.*, 2001; Berry *et al.*, 2003; Bastin *et al.*, 2010).

- Nivel de producción: un mayor nivel de producción lechera se asocia a peores tasas de concepción y otras medidas de eficiencia reproductiva, ya que, entre otras cosas, las vacas más productoras presentan un menor nivel de progesterona en sangre durante la fase luteal que vacas menos productivas. Esto origina un incremento de la incidencia de ciclos anormales (Everett *et al.*, 1966; Miller *et al.*, 1967; Berger *et al.*, 1981; Oltenacu *et al.*, 1991; Nebel y McGilliard, 1993; Opsomer *et al.*, 1998; Lamming, 1998; Dematawewa y Berger, 1998; Lucy, 2001; VanRaden *et al.*, 2004; Pryce *et al.*, 2004; Horan *et al.*, 2004; Weigel *et al.*, 2017). Ejemplo de ello es un estudio irlandés realizado entre 1990 y 2001, donde la selección por el volumen de leche aumentó la producción en 25 kg por año y la tasa de partos al primer servicio disminuyó del 55% en 1990 al 44% en 2001 (Evans *et al.*, 2006a). La duración del estro también disminuye en las vacas de alta producción (López *et al.*, 2004) que, a su vez, movilizan más grasa y pierden más peso, entrando en BEN antes y más intensamente, lo que disminuye la probabilidad de expresar el celo (Loeffler *et al.*, 1999; Heuer *et al.*, 1999, Westwood *et al.*, 2002).
- Recuperación ovárica posparto (anestro postparto). Entre los 5 y 7 días postparto tiene lugar una nueva oleada folicular, alcanzando el folículo un gran tamaño el día 10 postparto (Savio *et al.*, 1990). Acortando el intervalo entre el parto y la primera ovulación damos más tiempo para que se completen varios ciclos antes de la inseminación, lo que a su vez mejora la tasa de concepción (Rostami *et al.*, 2011). La ausencia de ovulación en esta fase se conoce como anestro postparto y no se debe a la ausencia de un folículo dominante, sino a la incapacidad de éste para ovular (Roche *et al.*, 1998). Para mantener la eficiencia reproductiva es fundamental que se recupere la actividad ovárica tras el parto lo antes posible. Entre el 6% y el 59% de las vacas posparto de alta producción, no han reanudado la ciclicidad el día 60 posparto (Rostami *et al.*, 2011), lo que se considera patológico. El retorno de la ciclicidad ovárica está directamente relacionado con el IPP y el IP1ªIA, ya que las vacas que recuperan pronto la funcionalidad ovárica tienen mayor fertilidad (Galvao *et al.*, 2010). Además, como ya hemos comentado previamente, está también directamente relacionado con la intensidad del BEN que experimentan, la pérdida de CC y el nivel de producción, todo ello descrito en apartados previos del presente texto.

5.3.2 Factores extrínsecos

Se trata de factores externos al animal, pudiendo interferir de forma variable en función de la intensidad y momento de aparición.

- Estrés por calor: hasta hace poco, los efectos de las altas temperaturas ambientales en los animales de producción se consideraban propios de zonas tropicales y de las más cálidas dentro de las zonas templadas de la tierra. Sin embargo, debido al aumento global de la temperatura en latitudes más altas como el norte de Estados Unidos, Canadá y Europa, el estrés por calor ha tomado mayor relevancia (Polsky y von Keyserlingk, 2017). El estrés por calor se define como el conjunto de fuerzas externas que actúan sobre un animal, provocando un aumento de la temperatura corporal y una respuesta fisiológica (Herbut *et al.*, 2018). La sensación de calor que experimenta un animal depende de la temperatura efectiva, producto de la interacción de la temperatura ambiente, la humedad relativa, la ventilación y la radiación solar. Para estimar la temperatura efectiva que actúa sobre las vacas de leche, se utiliza el índice de temperatura y humedad (THI), calculado a partir de la temperatura ambiente y la humedad relativa (FAWEC-UAB). Según diferentes autores, los valores umbral de THI en los que comienza el estrés por calor en vacas de leche, van desde 68 a 74 unidades (Du Preez *et al.*, 1990; Hahn *et al.*, 2009). Sin embargo, otros autores toman 72 como un valor umbral crítico por encima del cual se observa una caída en la productividad (Brouček *et al.*, 2009; Thatcher *et al.*, 2010; Akyuz *et al.*, 2010), que en frisonas en EE.UU. se ha estimado con de 1,4 kg/día de leche (Smith *et al.*, 2013). Otros autores defienden que, en condiciones climáticas mediterráneas, por cada punto por encima de un THI=68 la producción de leche, especialmente en vacas de alta producción, cae 0,41 kg/vaca/día (Bouraoui *et al.*, 2002; Gantner *et al.*, 2011).

El estrés por calor es un factor importante que afecta la fertilidad en los rebaños lecheros de alta producción (López-Gatius, 2003; García-Ispierto *et al.*, 2007a; de Rensis *et al.*, 2015), ya que disminuye la producción de estradiol del folículo dominante (Badinga *et al.*, 1993; Wolfenson *et al.*, 1997). Además, se ha asociado con una disminución de las tasas de concepción si estas condiciones se mantienen durante los tres días previos a la IA (García-Ispierto *et al.*, 2007b). Asimismo, vacas que paren en invierno muestran una mayor tasa de concepción en comparación con las que paren en otras temporadas (Meléndez y Pinedo, 2007; Ismael *et al.*, 2016). Este hecho también

se evidencia en EE.UU., donde las vacas que paren en septiembre tienen menos días abiertos (en torno a 50 días menos) que las que paren en marzo (Oseni *et al.*, 2004).

- Tasa de detección de celo/inseminación de los rebaños. Una baja tasa de detección de celo/inseminación reduce directamente la PR y parece ser uno de los grandes problemas en las granjas de leche, posiblemente debido a una combinación de varios factores, algunos dependientes de la vaca en sí (anestro, problemas de expresión del celo, problemas podales, etc.). La detección de celo en 21 días suele ser del 30–50%. Sin embargo, muy a menudo observamos problemas en esta tasa debido a una deficiente observación. Por ejemplo, un problema frecuente es detectar vacas que no están realmente en celo (detección de falsos positivos). Sin embargo, no todo se soluciona con los programas de IATF (inseminamos sin necesidad de observar celos) ya que también detectamos problemas en granjas, porque pueden estar inseminando en momentos incorrectos, elegir vacas con un BEN acusado para comenzar los protocolos (Loeffler *et al.*, 1999), implementarlos en época de estrés por calor (Santos *et al.*, 2004), etc. Todas estas estrategias inadecuadas de inseminación dan lugar a una fertilidad deficiente (Esslemont, 2003).
- Sistema nutricional. Estudios realizados en Nueva Zelanda y EE.UU. (Kearney *et al.*, 2004) no han encontrado interacciones entre el sistema de alimentación y la eficiencia reproductiva, lo que sugiere que los genotipos de las vacas actuales tendrían un rendimiento reproductivo similar en distintos sistemas nutricionales, siempre y cuando éstos sean adecuados. Es cierto que en los sistemas de pastoreo las vacas primíparas pueden tener más dificultades para adaptarse al inicio de la lactación que las múltiparas, debido a que sufren una mayor movilización de reservas corporales lo que provoca un mayor desequilibrio endocrino y metabólico que en las múltiparas, afectando negativamente, tanto la producción de leche como la reanudación de la actividad lútea posparto (Kolver y Muller, 1998; Meikle *et al.*, 2004; Adrien *et al.*, 2012). Sin embargo, los estudios en pastoreo mencionados se realizaron con vacas de producción relativamente baja, y no está claro cómo responderían las vacas de alta producción de diferente número de partos manejadas en un sistema de alimentación mixta.
- Prácticas de manejo generales en la granja. Diversos estudios evidencian la relación entre el manejo general de granja (estrés asociado), la intensidad del BEN durante el periodo de transición y la eficiencia reproductiva (Villa-Godoy *et al.*, 1988; Staples *et*

al., 1990). Un manejo inadecuado durante el periodo de transición provoca estrés, que genera una disminución de la actividad del sistema inmune del animal, lo que incrementa la aparición de endometritis, que a su vez disminuye la actividad ovárica (Behera *et al.*, 2016). Estos mismos autores afirman que existe una relación entre la endometritis y la disminución de la actividad ovárica, dado que en vacas con endometritis grave se observó anestro y fases lúteas más prolongadas y quistes ováricos. Así, la inclusión de protocolos higiénico-sanitarios y de control de estrés en los programas de manejo de granja, mejoran el rendimiento reproductivo promedio de las vacas, permitiendo obtener tasas de eficiencia reproductiva aceptables (Laben *et al.*, 1982). Además, el rebaño como conjunto, también tiene un efecto en la determinación de fertilidad, variando según la granja (Neves *et al.*, 2012). Así pues, la excelencia en los sistemas de manejo puede modificar la relación antagónica entre producción y reproducción (Windig *et al.*, 2005), al igual que, un mal manejo en rebaños de baja producción puede inducir una eficiencia reproductiva muy pobre (Meadows, 2005). También, merece la pena comentar que, dentro del manejo de granja, los criterios de eliminación, por ejemplo, influyen decisivamente en los índices reproductivos sin estar directamente relacionados con los programas de reproducción de la granja, como se observa con la eliminación selectiva (Santos, 2007).

5.4 Estrategias para la mejora de la eficiencia reproductiva

Una vez revisados someramente los principales factores que afectan a la eficiencia reproductiva de los rebaños de leche, podemos pasar a abordar las estrategias que permiten mejorar esta eficiencia reproductiva. Así pues, en sistemas intensivos de producción de leche debemos citar estrategias como la optimización de la nutrición, del medio ambiente y el establecimiento de protocolos de manejo reproductivo adecuados (Dash *et al.* 2016; Hansen *et al.* 1999). Los sistemas intensivos son multifactoriales y muy complejos. En vacas de alta producción, la eficiencia reproductiva se ve influenciada por las interrelaciones entre la condición corporal, la ingesta de materia seca, el periodo de transición entre el secado y parto, el inicio de los ciclos estrales normales, la detección del celo y la supervivencia embrionaria (Thatcher *et al.*, 2006).

Cualquier estrategia de manejo reproductivo en granjas intensivas pasa principalmente por las siguientes decisiones, que pretenden controlar los principales factores que afectan la fertilidad y, por ende, la eficiencia reproductiva de las granjas.

Así pues, para fijar las estrategias que maximicen la eficiencia reproductiva, debemos observar los siguientes puntos:

- Fijación de objetivos numéricos, en general los detallados previamente en los índices reproductivos, pudiendo adaptarse al número de partos, nivel de producción y circunstancias concretas de la granja, junto al uso de sistemas de registros digitalizados fiables (Losinger y Heinrichs, 1996).
- Ajuste del PEV: lograr que las vacas en lactación queden gestantes en un rango de días en leche (DEL) que optimice la rentabilidad del rebaño depende de la duración del PEV. De esta forma, ajustar el PEV y combinarlo con programas reproductivos eficaces puede ser una estrategia para aumentar dicha rentabilidad (Stangaferro *et al.*, 2018). La duración del PEV influye en la duración del IPP, y aunque lo óptimo, económicamente hablando, es un IPP más corto, de 12 a 13 meses (Stevenson, 2007), hay discrepancias entre los distintos autores. Dejar las vacas preñadas inmediatamente tras un PEV adecuado (50–130 DEL) induce una pérdida anual (asociada al coste de los DA) de 40\$ por vaca y año, que asciende a 343\$ si lo hace entre los 130 y 330 DEL y, en general sabemos que dejar las vacas gestantes demasiado pronto o demasiado tarde es menos rentable (Giordano *et al.*, 2011). Pero afinar exactamente en qué días puede ser complicado. Se ha observado que una menor duración del PEV mejora la tasa de preñez (Chebel *et al.*, 2016). Además, Fodor *et al.* (2019) indicaron que un PEV corto o incluso, la ausencia del mismo tiene mayor beneficio en multíparas que en primíparas, en cuanto a tiempo hasta la concepción y probabilidad de preñez a 200 DEL (Fodor *et al.*, 2019). Sin embargo, en vacas de alta producción y alta persistencia en la curva de producción puede ser ventajoso aumentar este intervalo PEV (Van Amburgh *et al.*, 1997; Allore y Erb, 2000; Arbel *et al.*, 2001). De hecho, Arbel *et al.*, indican que alargar el PEV de 90 a 150 DEL en primíparas y de 60 a 120 DEL en multíparas supone una mayor rentabilidad. Otros estudios, por el contrario, afirman que aumentar el PEV en torno a 10 semanas puede generar pérdidas económicas del 3–4% (van der Kolk y van Laarhoven, 2005; Sørensen y Østergaard, 2003), pero la diferencia radica precisamente en el nivel de producción de las vacas. Por otro lado, estudios realizados en Florida, puntualizan que extender el PEV durante el verano (consideramos un factor más, el estrés por calor), de 60 a 83 DEL, no afecta la rentabilidad de las vacas durante la lactación (Gobikrushanth *et al.*, 2014; Stangaferro *et al.*, 2018). Otro factor para considerar a la hora de fijar el PEV es el número de partos. Concretamente, un estudio holandés sugiere que las

pérdidas económicas aumentan gradualmente al extender por encima de las seis semanas el PEV, siendo, en este caso, las primíparas las que menos pérdidas experimentan (Inchaisri *et al.*, 2011). En primíparas el menor rendimiento económico de la primera lactación (más larga y menor producción media) se compensa con una mayor producción en la siguiente, con lo que prolongar su PEV tras el primer parto puede ser rentable en muchos casos. Por el contrario, en múltiparas la producción en la segunda lactación es muy similar a las subsiguientes, manteniéndose el coste. Incluyendo el criterio de probabilidad de desecho, el tardar más en dejar gestante una múltipara eleva el riesgo de desecho por mastitis, problemas podales, etc. (más prevalentes en ellas). Por todo esto, en primíparas puede estar indicado alargar el PEV, no siendo recomendable en el caso de las múltiparas. En cualquier caso, el PEV es una decisión técnica que debe tomarse individualmente para cada granja y momento, teniendo en cuenta también los criterios de selección, el precio de la recría y el valor de venta de las vacas en cada momento (Stangaferro *et al.*, 2018).

- Estrategias hormonales para acelerar la recuperación ovárica posparto. Como ya comentamos anteriormente, el acelerar la vuelta a la ciclicidad ovárica tras el parto es decisivo para una adecuada eficiencia reproductiva. Según distintos estudios, la eCG puede ser de utilidad y al ser una parte relevante en este trabajo de tesis doctoral revisaremos este aspecto de manera más detallada.

La eCG es una glicoproteína secretada por las células endometriales de yeguas gestantes (Bever *et al.*, 1989). Se utiliza en protocolos IATF en ganado bovino porque mejora el rendimiento reproductivo ya que (deRensis *et al.*, 2014):

- Mejora la PR en vacas no cíclicas y en aquellas con retraso en la ovulación, ya que tiene actividad similar a la FSH y la LH. Se producen menos folículos atrésicos, se reclutan más folículos pequeños, mantiene el crecimiento de folículos medianos y grandes y mejora el desarrollo del folículo dominante y preovulatorio (Tortorella *et al.*, 2013).
- Tiene efectos beneficiosos sobre el desarrollo y la supervivencia del embrión ya que mejora la calidad del cuerpo lúteo (CL) resultante de la ovulación, aumentando la secreción de progesterona. Además, la eCG induce la formación de cuerpos lúteos accesorios (Tortorella *et al.*, 2013) y mejora el estado uterino (Sheldon y Dobson, 2000).

Además, encontramos un trabajo con resultados prometedores sobre su administración el día 6 posparto, describiéndose un aumento de las tasas de ovulación antes del día 20 postparto. La segunda y tercera ovulación también se produjeron antes en las vacas tratadas con eCG, en comparación con las vacas que no (Rostami *et al.*, 2011). Estos efectos beneficiosos no siempre se observan en animales cíclicos, pero son evidentes en animales en los que la secreción de LH y la actividad ovárica está reducida, como sucede durante el período posparto temprano en vacas sometidas a estrés por calor (De Rensis *et al.*, 2014).

- Control de la CC. Ya habíamos descrito cómo, tanto una CC demasiado escasa, como una pérdida drástica de la misma en el periparto disminuye la tasa de concepción en torno a un 10%, al primer servicio (Domecq *et al.*, 1997; Moreira *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2009), debido, en parte, a los altos porcentajes de anovulación (Carvalho *et al.*, 2019; Barletta *et al.*, 2017; Monteiro *et al.*, 2020). Del mismo modo, la ganancia o mantenimiento de la CC estable durante las primeras tres semanas postparto, aumenta la tasa de concepción (Carvalho *et al.*, 2014) y observan un 7% menos de problemas de salud (Carvalho *et al.*, 2014; Barletta *et al.*, 2017), comparado con aquellas que pierden CC. A este respecto, Middleton *et al.* (2019) introducen el concepto de “ciclo de alta fertilidad” en vacas de alta producción. En este, evidencian que mantener los días abiertos en torno a 130 DEL para conseguir un IPP de 13 meses, disminuye la pérdida de CC durante los primeros 30 DEL al siguiente parto, mejora la tasa de concepción y disminuye la posibilidad de pérdida temprana de la gestación, tanto en primíparas como en múltiparas (Middleton *et al.*, 2019). Además, todas las estrategias nutricionales y de prevención que garanticen una mínima variación de CC en el periparto de los animales redundará en una mejora en la eficiencia reproductiva.
- Optimización de la tasa de preñez o *Pregnancy Rate* (PR): como ya hemos comentado previamente, la consecución de una PR óptima pasa por maximizar la tasa de inseminación y la fertilidad. A pesar de los avances tecnológicos, la detección de celos sigue siendo un punto vulnerable en un gran número de granjas. Fijándonos en el esquema de producción que se está generalizando para mejorar la sostenibilidad del sector (menos granjas con más animales), se hace cada vez más indispensable automatizar todas las actividades que se llevan a cabo, específicamente para elevar la PR. Para ello, y como herramienta fundamental contamos, por un lado con protocolos de sincronización hormonal del celo y ovulación (Folman *et al.*, 1984; Momcilovic *et al.*,

1998; Caraviello *et al.*, 2006). Se ha demostrado que su implementación aumenta sustancialmente la tasa de preñez por IA, tanto a primera como a subsiguientes IA (Stevenson y Britt, 2017). En general, consideramos dos estrategias de manejo reproductivo para la inseminación en bovino:

- Inseminación a celo visto: se basa en sistemas de sincronización de celos y tecnologías para mejorar la tasa de detección de celos (Xu *et al.*, 1998; Rorie *et al.*, 2002). Aunque las vacas que salen en celo de forma natural tienen mayor tasa de concepción que las inseminadas después de la sincronización, los bajos porcentajes de detección de celo sumado a la muerte embrionaria aumentan los días abiertos en comparación con los animales sincronizados (Macmillan, 2010). La tasa promedio de detección de celo es mejor en primíparas respecto a múltiparas (Galon, 2010), ya que aunque conforme aumenta el número de partos se manifiesta más claramente el signo primario de celo, que es quedarse quieta, los signos secundarios, como el aumento de actividad, disminuyen mucho (López-Gatius *et al.*, 2005; Roelofs *et al.*, 2010, Madureira *et al.*, 2015). De esta forma, cuando se utilizan sistemas de detección de celo (podómetros, etc.), las primíparas presentan mayor ventaja que las múltiparas (Walsh *et al.*, 2011; Yániz *et al.*, 2016), dato que debemos conocer para predecir correctamente las mejoras esperables tras la implantación de la estrategia.
- Sistemas hormonales para inseminación artificial a tiempo fijo (IATF ;Pursley *et al.*, 1995; Moreira *et al.*, 2001; Souza *et al.*, 2008). Surgen a partir de que Pursley *et al.* (1995) describieron el protocolo Ovsynch® como un método de sincronización de la ovulación en bovino lechero. El objetivo de estos programas es aumentar las posibilidades de ovulación tras la primera GnRH, seguida de una luteolisis y una nueva ovulación de un folículo dominante maduro en 8 horas. Resultan ventajosos para disminuir los problemas prácticos en la detección de celo, tanto en explotaciones pequeñas como en grandes. Este protocolo se ha demostrado especialmente eficaz en vacas de alta producción, en las que los síntomas de celo, en cuanto a duración e intensidad, son menos obvios. Esto se debe a un aumento del flujo sanguíneo hepático que reduce el tiempo de vida activa de las hormonas reproductivas desde su liberación al torrente sanguíneo (López *et al.*; 2004), sumado a una mayor incidencia de anestro posparto

prolongado y patología del tracto reproductivo (Macmillan, 2010), por lo que también resultan ventajosos.

La IATF, aparte, mejora objetivamente el manejo reproductivo de la granja y la gestión del tiempo y personal dedicado al mismo. Además de elevar la PR, como mínimo, un 5% (Calsamiglia *et al.*, 2018), se eleva la producción media diaria, disminuye los días a la primera IA, los DA y la proporción de vacas problemáticas (aquellas que tienen muchos DA y problemas para quedar gestantes) y aumenta ligeramente la vida productiva.

El uso de protocolos de sincronización tanto en primeras IA como en reinseminaciones, solos o combinados con detección visual de celo (Ribeiro *et al.*, 2012), se asocian a una mayor eficiencia reproductiva. En el caso de primeras IAs, se debe a que disminuyen el intervalo hasta la primera IA, los días abiertos y el IPP al reestablecerse la ciclicidad y el ambiente uterino durante el PEV. Además, mejora la fertilidad en las primeras IATF y las siguientes gracias a la manipulación de la dinámica ovárica antes de la IA de las vacas en lactación (Colazo *et al.*, 2014; Wiltbank *et al.*, 2014; Fodor *et al.*, 2019). Todo mejora la probabilidad de que queden gestantes antes de los 200 DEL (Fodor *et al.*, 2019; Scenzi *et al.*, 1995; Giordano *et al.*, 2011).

Partiendo del método Ovsynch® referencia mundial para protocolos de IATF, y con el objetivo de conseguir las mejores tasas de concepción posibles, se han ido desarrollando nuevos protocolos hormonales y diferentes estrategias de manejo reproductivos basados en ellos. Estas estrategias combinan programas basados en IATF con estrategias de manejo optimizadas (Wiltbank *et al.*, 2014; Fricke, 2016; Carvalho *et al.*, 2018). Ejemplos de diferentes protocolos hormonales basados en Ovsynch® son G6G (Bello *et al.*, 2006; Astiz y Fargas, 2013; Dirandeh *et al.*, 2015); Double- Ovsynch® (Souza *et al.*, 2008; Herlihy *et al.*, 2012; Ayres *et al.*, 2013); y Presynch-10 (Stevenson, 2011; Stevenson *et al.*, 2012) o Presynch-11 (Galvão *et al.*, 2007). Todos ellos incluyen varias administraciones hormonales antes del Ovsynch® que mejoran el rendimiento reproductivo de las vacas lecheras a primera IA, respecto de las vacas inseminadas a celo visto o con Ovsynch® simple (Strickland *et al.*, 2010; Gumen *et al.*, 2012; Santos *et al.*, 2017; Carvalho *et al.*, 2018; Cardoso *et al.*, 2021). Generalmente estos protocolos se utilizan exclusivamente como programas de presincronización para la primera IA posparto, por su mayor duración en el tiempo.

Luego, para las segundas y subsiguientes inseminaciones (reinseminaciones) se prefieren protocolos cortos como puede ser el mismo Ovsynch® o variaciones “cortas”

del mismo. Así pues, se han descrito protocolos como el Resynch-21d (Kelley *et al.*, 2016), el Cosynch 48 (Seterry *et al.*, 2006), Ovsynch® 56 (Dewey *et al.*, 2010); Ovsynch® 7d con progesterona y Cosynch 5d con progesterona (P₄; Bisinotto *et al.*, 2010) o el Short-Resynch (Wijma *et al.*, 2017).

- Diagnósticos tempranos de gestación. Las vacas que no han quedado gestantes en la primera IA postparto necesitan ser identificadas rápidamente, resincronizadas y reinseminadas, lo que dependerá de la eficacia en la detección del celo y la capacidad de detección de gestación temprana (Lopes *et al.*, 2013; Wijma *et al.*, 2017; Giordano *et al.*, 2016). En realidad, lo que queremos diagnosticar lo antes posible y de la manera más fiable es la “no-gestación” para poder aplicar protocolos o medidas inmediatas a ese animal y dejarle gestante cuanto antes. Los métodos para diagnosticar gestación incluyen (Stevenson, 2016):
 - *Medición de las concentraciones de progesterona en sangre o de las glicoproteínas asociadas a la gestación en sangre o leche, mediante kits comerciales.* Los tests rápidos tienen alta precisión tanto en vacas como en novillas con, al menos, 25 días post IA (Silva *et al.*, 2007; Green *et al.*, 2009).
 - *Retorno al celo* detectado de forma visual o mediante métodos electrónicos o manuales (pintura en la grupa, etc.).
 - *Palpación rectal:* es el método más común para diagnosticar la gestación en bovinos (Roberts; 1971; Momont, 1990; Youngquist, 1997; USDA, 2009). Con experiencia, un veterinario puede diagnosticar la gestación, valorar las estructuras ováricas y la etapa del ciclo estral, y patologías dentro del tracto reproductivo, a partir de los 35 días y en pocos minutos (French *et al.*, 2018). Pero según diversos autores, esta técnica puede no considerarse inocua, al haberse descrito muertes embrionarias/fetales en varios estudios, inducidas accidental o iatrogénicamente (Dawson *et al.*, 1974; Parmigiani *et al.*, 1978; Paisley *et al.*, 1978; Franco *et al.*, 1987; Bossaert *et al.*, 2009). Por ejemplo, Ball *et al.*, sugieren que presionar ligeramente la vesícula amniótica aumenta el riesgo de muerte embrionaria, principalmente entre los 39 y 45 d de gestación (Ball *et al.*, 1963). Abbit *et al.* (1978) indican que palpar el deslizamiento de la membrana corio-alantoidea, aumenta la

tasa de muerte embrionaria (Abbit *et al.*, 1978). Sin embargo, en otros estudios se afirma lo contrario (Vaillancourt *et al.*, 1979; Thurmond y Picanso, 1993; Romano *et al.*, 2006, 2007, 2011; Bond *et al.*, 2019). Por ello y aunque hay un amplio acceso a la ecografía, el entrenamiento en palpación rectal como herramienta de diagnóstico reproductivo aún se considera fundamental en medicina veterinaria (Baillie *et al.*, 2003).

- *Diagnóstico por ecografía transrectal.* En este caso lo que se evidencia para diagnosticar una no-gestación es la ausencia de líquido uterino, de cuerpo lúteo (CL) y de embrión viable (sin latido cardíaco).

El uso de la ecografía para diagnóstico de gestación ofrece a los veterinarios uno de los medios de diagnóstico más rápido, preciso y rentable (Oltenucu *et al.*, 1990; DesCôteaux y Buczinski, 2009), ya que puede realizarse a los 28–35 días después de la IA, confirmándose la gestación 4–6 semanas después (Fricke *et al.*, 2016). El diagnóstico de gestación por ecografía proporciona resultados inmediatos, es menos invasivo que la palpación transrectal (Vaillancourt *et al.*, 1979; Romano *et al.*, 2016), es preciso cuando lo realizan veterinarios capacitados, pudiéndose usar además, para determinar la edad fetal y detectar gestaciones gemelares, al igual que la valoración del estado del endometrio y del cuerpo lúteo (Romano *et al.*, 2016), permitiendo, en definitiva, la rápida reinseminación de las vacas vacías.

Sin embargo, aunque esta detección de gestación temprana va asociada en general a una mayor fertilidad, se observan más pérdidas de embriones que si el estado de gestación se detectara más tarde (Stevenson, 2016). Este hecho, en general se asume como un efecto “numérico”, ya que al detectar gestaciones más tempranamente, podemos ver más gestaciones que se pierden. Sin embargo, también podría estar relacionado con la formación y entrenamiento del veterinario ecografista, cuestión que hemos abordado en esta tesis doctoral.

- Monitorización y reducción de pérdidas de gestación (PL). Santos *et al.* (2004) clasifican las pérdidas embrionarias como tempranas o tardías si suceden antes o después del día 25, respectivamente. Se estima que la tasa de pérdida temprana de embriones en vacas

lecheras de producción media y alta es del 40 y el 56%, respectivamente (Diskin y Morris, 2008). Más de la mitad de estas pérdidas, se producen antes del día 16 después de la IA (Dunne *et al.*, 2000; Diskin y Morris, 2008), aunque en vacas de alta producción algunas investigaciones sugieren pérdidas más frecuentes antes del día 8 post IA (Sartori *et al.*, 2010). Por su parte, la tasa de pérdida embrionaria tardía (>día 25 de gestación) es, en promedio, del 10 al 12 %, variando según granja entre el 3,5 % y el 26,3 % (Wiltbank *et al.*, 2016). Es esta pérdida de gestación a la que nos referimos y consideramos como una de las principales causas de infertilidad en vacas lecheras a día de hoy (Santos *et al.*, 2004; Cabrera V, 2012). Existen múltiples factores que se consideran de riesgo en la pérdida de gestación en esta fase, como exponen Fernández-Novo *et al.* (2020), desconociéndose los mecanismos concretos que lo provocan (Wiltbank *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2009; Lima *et al.*, 2012). Particularmente, en cuanto a la relación entre número de partos y pérdida de gestación, diferentes autores no encontraron relación entre ambas variables (Starbuck *et al.*, 2004; Chebel *et al.*, 2004; Labérnia *et al.*, 1996), mientras que otros indicaron una mayor incidencia, casi del doble en muchos casos, en multíparas (Alnimer *et al.*, 2014; Bonneville-Hébert *et al.*, 2011; Gábor *et al.*, 2016; Keshavarzi *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2007).

- Estrategias de manejo reproductivo combinadas

La duración del PEV, preferiblemente ajustado para primíparas y multíparas de forma separada combinada con protocolos de sincronización y detección del celo produce el mejor rendimiento económico (Chebel y Ribeiro, 2016). Muchas granjas lecheras a nivel mundial cuentan con programas de sincronización e IATF (Wiltbank, 2014). Sin embargo, la mayoría de las granjas de alta producción en EE.UU. incluyen IATF combinado con la detección de celo (DE) en sus programas reproductivos (Caraviello *et al.*, 2006; Giordano *et al.*, 2012; Galvao *et al.*, 2013). La proporción de gestaciones que se alcanza con un método y otro determina el valor económico entre ambos y sus combinaciones. Según Giordano *et al.* (2011), en general, el beneficio de realizar protocolos 100% IATF frente a 100% DE es mayor, ya que se aumenta la tasa de servicio tras el PEV, dado que el 100% de las vacas paridas son inseminadas en un periodo de tiempo determinado. A su vez, el valor de la leche aumenta, ya que tener gestantes a mayor proporción de vacas en el momento adecuado de la lactación (los 130 DEL que decíamos anteriormente) mejora el desempeño reproductivo y los ingresos (Giordano *et al.*, 2011). De la misma forma, aunque el sistema con un 100% de IA a celo visto ofrece un PEV más largo, menor tasa de inseminación y menor coste por inseminación, requiere más ciclos de 21 días para lograr el

mismo número de vacas gestantes que con los sistemas con IATF. Sin embargo, la observación de celo resulta especialmente útil en reinseminaciones si se cuenta con sistemas de detección de celo adecuados. Además, aplicar programas de sincronización para IATF, en comparación con la IA a celo visto, aumenta 30\$ la ganancia anual por vaca (LeBlanc *et al.*, 2007) y disminuye entre 80 y 148\$ el coste por gestación (Chebel *et al.*, 2016). En el caso de vacas de alta producción, dado que existe interacción entre la producción de leche del rebaño y el tipo de programa reproductivo, a mayor producción de leche, sería recomendable que este se basara en el uso de IATF, ya que aumenta la tasa de servicio (Cabrera 2014).

Puede ser importante considerar que, a mayor complejidad de los programas de fertilidad, mayor desafío logístico pueden suponer, debido a la cantidad de inyecciones y mayor riesgo de incumplimiento. De hecho, se ha evidenciado que la fertilidad asociada a la IATF no depende tanto del protocolo en sí, sino de la administración y trabajo correcto durante el protocolo, (Fuenzalida *et al.*, 2015; Monteiro *et al.*, 2015; Carvalho *et al.*, 2018). En lo relativo a la tasa de concepción, ninguno ha logrado tasas de concepción medias de granja, superiores al 40% y pocos han reducido la incidencia de muerte embrionaria (Macmillan, 2010).

Por todo ello, al elegir una estrategia de manejo reproductivo debe considerarse su efecto general, no solo los costes de aplicar el programa en sí y tampoco sólo los efectos técnicos reproductivos (Giordano *et al.*, 2011). Y como venimos diciendo, la elección del protocolo hormonal es solo una parte del programa reproductivo general. Hay otros muchos factores como el manejo, ambiente, nutrición y salud. Así pues, la incidencia de mastitis y otras enfermedades (Lima *et al.*, 2013; Riberiro *et al.*, 2016; Ribeiro *et al.*, 2013), el momento del diagnóstico de gestación (lo más temprano posible mediante ecografía; Fuenzalida *et al.*, 2015), el control de la CC durante los primeros 21 días después del parto (Carvalho *et al.*, 2014) son, entre otros, factores esenciales para optimizar la eficiencia reproductiva de las granjas y así maximizar su eficiencia económica (Chebel *et al.*, 2016).

Así pues, la mejora de la reproducción y producción continúa siendo un desafío para veterinarios y ganaderos, dada la preferencia del consumidor por el menor uso de hormonas y la menor intervención posible (McDowgall, 2006).

JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Las granjas bovinas de producción lechera integran un sector caracterizado por una gran variabilidad de precios de recursos, materias primas y del producto final, en función de las necesidades mundiales. Ante estas circunstancias, las empresas no tienen capacidad de adaptarse a los márgenes tan ajustados que frecuentemente y de forma rápida, se producen entre los ingresos y los costes de producción. Por ello, el sector sigue la tendencia de desaparición de más y más granjas con un aumento progresivo del número de animales/granja, elevación del nivel productivo, y con el imperativo de optimizar la eficiencia económica de los sistemas productivos.

La producción de leche se ve influida por distintos factores: raza, alimentación, bienestar, manejo, personal, etc., pero de entre todos ellos el rendimiento reproductivo es un pilar fundamental de la producción, clave para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de las granjas. Parece obvio que tras cada parto se inicia una nueva lactación. Y si observamos la curva de lactación, el momento de mayor producción de leche o “pico” se produce dentro de los primeros 90 días en leche. La correlación entre pico y producción total es más intensa que entre esta última y la persistencia (grado de disminución de la producción de leche después del pico), por lo que con un manejo eficiente de la reproducción es posible optimizar el intervalo entre partos y el número de partos por vida útil del animal, consiguiendo una mayor producción total a lo largo de su vida productiva, y también mayor longevidad.

Así pues, el objetivo principal del manejo reproductivo es conseguir disminuir los días abiertos y lograr que la vaca quede gestante lo antes posible a partir del momento que decidamos después del parto. Este momento debe ser el más rentable (según persistencia de la curva de lactación, número de partos del animal, etc.). Para ello, debemos asegurar un manejo exquisito (de salud y reproductivo) de los animales en momentos fundamentales: el postparto, la primera inseminación, diagnóstico temprano de gestación y la cubrición de los animales diagnosticados como no gestantes lo antes posible (subsiguientes inseminaciones).

El postparto es crítico para que se reanude la función reproductiva, siendo necesario que se produzca una adecuada involución uterina y la normalización del eje hipotálamo-hipófisis-ovarios. Considerando una vaca sana, el primer celo suele presentarse entre los 25 y 45 días en leche. El periodo de espera voluntario se fija pasado este intervalo, en función de la fertilidad de la granja y de las curvas de producción, entre otros, garantizando momentos de adecuada

fertilidad a la primera inseminación. Como la prevalencia de los animales que no ciclan tras el PEV es elevado en ocasiones, se han descrito distintas estrategias hormonales que mejoren el ambiente uterino y la fertilidad después de la primera IA postparto. Entre las descritas se encuentra el uso de PGF_{2α}, GnRH, PMSG o eCG. Actualmente se sabe que la eCG, al igual que la GnRH, puede resultar eficaz para mejorar la fertilidad postparto en vacas anovulatorias. Dada la evidencia de que el estrés por calor también disminuye la fertilidad y que las condiciones ambientales son cada vez más extremas en nuestro país, consideramos interesante comprobar si, bajo condiciones de estrés por calor, la eCG administrada en el postparto, mejora la fertilidad a la primera IA y el ambiente uterino durante el PEV para mantener la eficiencia reproductiva durante la estación calurosa.

Una vez se han inseminado los animales, es esencial detectar, de la forma más fiable y precoz posible, a los animales que no han quedado gestantes, con el objetivo de inseminarlos de nuevo lo más rápidamente posible. Existen distintos métodos de diagnóstico de no-gestación. El no-retorno al celo consistiría en la no observación de celo en las 3 semanas tras la IA, pudiendo asumirse que el animal ha quedado gestante, sin embargo, incluso en las granjas con una buena tasa de detección de celos, no todas las vacas no observadas a celo están gestantes. Además, un cierto porcentaje de vacas pueden mostrar signos de celo a pesar de estar gestantes, por lo que además de no ser un método temprano de detección, tampoco resulta fiable. Por otro lado, existen sistemas de detección de niveles de progesterona mediante kits que permiten un diagnóstico temprano, entre los 18 y 24 días tras la IA, que pueden realizarse en leche o plasma sanguíneo. Sin embargo, el problema es que, a pesar de tener una alta sensibilidad (diagnóstico de gestación) presentan especificidad baja (diagnóstico de no gestación). La palpación rectal, en contraposición, es un sistema de detección rápido, sencillo y barato, que puede realizarse de forma temprana, entre los 30 y 35 días tras la IA. A pesar de ser relativamente fiable puede dar falsos positivos si existe contenido anómalo en el útero y además, puede inducirse un pequeño porcentaje de mortalidad embrionaria asociada a una palpación precoz o incorrecta de la vesícula amniótica. Finalmente, el diagnóstico ecográfico transrectal, permite una detección muy temprana y fiable de la no-gestación, ya que entre los días 19 y 24 tras la IA puede ya observarse el embrión y el latido cardíaco, con una precisión próxima al 100%. Es una técnica más rápida y segura que la palpación rectal, si la experiencia del operario y la sujeción del animal son adecuadas y además, permite aportar más información sobre otras estructuras. Puesto que por todo lo descrito la técnica ecográfica sería la más eficaz para un correcto diagnóstico, es

importante valorar hasta qué punto influye la experiencia del ecografista en el diagnóstico de gestación y en la pérdida embrionaria precoz, temas escasamente explorados aún.

Por último, para lograr que las vacas que hayan resultado vacías al diagnóstico de gestación queden gestantes en el menor tiempo posible, es necesario inseminarlas cuanto antes. La detección de celos es un punto clave para la gestión reproductiva de la granja, que puede realizarse a simple vista o mediante sistemas de detección automática; pero, a pesar de los avances tecnológicos, sigue siendo un punto vulnerable en un gran número de granjas. Así pues, desde que se describió el protocolo Ovsynch® en 1995 como un método de sincronización de la ovulación en ganado bovino lechero, se han publicado diferentes variaciones del mismo. Cuando consideramos la primera sincronización postparto, se opta por protocolos largos, dado que tenemos una media de 50 días del PEV para efectuarlo, y porque resultan en una respuesta ovárica mejor sincronizada y con mayor fertilidad. Estos protocolos se conocen como protocolos de presincronización o protocolos “largos”. Los más comunes son el protocolo Presynch (Moreira *et al.*, 2001), Doble Ovsynch® (Souza *et al.*, 2008) y G6G (Bello *et al.*, 2006), siendo el más corto de ellos este último. En el caso de segundas y subsiguientes inseminaciones (“resincronizaciones”) lo preferible es que los protocolos sean cortos, para reducir al máximo el intervalo entre IAs, siendo los más utilizados Ovsynch®, Cosynch (Sterry *et al.*, 2007), o 5d-Ovsynch® (Bisinotto *et al.*, 2010). Sin embargo, como ya hemos comentado previamente los protocolos “largos” dan lugar a una mejor sincronización y respuesta ovárica, y por lo tanto, a una mayor fertilidad media. Por esta razón, consideramos interesante valorar si aplicar alguno de estos protocolos largos en las resincronizaciones, podría resultar igualmente eficiente. Así pues, decidimos comprobar la eficiencia reproductiva de G6G (el protocolo más corto dentro de los “largos”) en resincronizaciones, y determinar si las tasas de concepción obtenidas (que esperamos sean mayores) compensan el mayor intervalo entre inseminaciones.

Por lo tanto, en base a lo expuesto anteriormente, el **objetivo principal** de este trabajo fue la evaluación del efecto de distintas estrategias de manejo reproductivo en vacas de leche de alta producción españolas sobre la eficiencia reproductiva.

Este objetivo general se dividió en distintos **objetivos secundarios**, que abordaron el proceso reproductivo de las vacas de leche desde el postparto y encuadrados en los diferentes experimentos a continuación nombrados:

1. Evaluación de la eficacia de la administración de eCG en el postparto temprano, en épocas de estrés por calor sobre la salud uterina, funcionalidad ovárica y fertilidad tras la primera inseminación artificial postparto (experimento 1).
2. Influencia del nivel de entrenamiento para el desempeño del diagnóstico de gestación temprano (28–30d post IA) por parte del ecografista, sobre la tasa de pérdida de gestación antes del día 65 post IA (experimento 2).
3. Evaluación de la eficacia de la utilización de protocolos para la IATF para segundas y subsiguientes inseminaciones, de mayor fertilidad esperada, pero de intervalos más prolongados entre inseminaciones (protocolo “G6G”; experimento 3).

PLAN DE TRABAJO/METODOLOGÍA

PLAN DE TRABAJO/METODOLOGÍA

La planificación temporal (plan de trabajo) de esta tesis se realizó de la siguiente manera:

- Octubre 2015: revisión bibliográfica de la parte práctica del objetivo 3. Se concretan las granjas y se fija el calendario de visitas. Recopilación de los datos referentes al objetivo 1.
- Noviembre 2015-enero 2016: se realizan las primeras visitas y se precisan necesidades del objetivo 3. Análisis y resumen de los datos del primer objetivo: preparación de presentaciones de datos preliminares. Recopilación y depuración de datos referentes al objetivo 2.
- Diciembre 2015-mayo 2016: comienzo de introducción de datos y establecimiento de una rutina en el objetivo 3.
- Mayo 2016-octubre 2016: revisión bibliográfica y elaboración del manuscrito del objetivo 2.
- Septiembre-octubre 2016: valoración de los datos muestreados e introducción de ajustes y modificaciones en el muestreo.
- Diciembre de 2016: entrega de los primeros manuscritos correspondientes a los objetivos 1 y 2; preparación de resultados preliminares del objetivo 3. Primer artículo del trabajo de tesis doctoral.
Por necesidades ajenas a nosotros se modifica el sub-objetivo relacionado con la nutrición, enfocándolo hacia el diagnóstico ecográfico y la pérdida de gestación.
- Octubre 2016- marzo 2017: envío del manuscrito del objetivo 1 a la revista, siendo aceptado en enero de 2017. Revisión bibliográfica y elaboración del manuscrito del objetivo 2.
- Abril 2017-junio 2017: revisión bibliográfica del segundo manuscrito correspondiente al objetivo 2. Envío a la revista, siendo aceptado en junio de 2017.
- Julio 2017-septiembre 2018: elaboración del manuscrito del objetivo 3 y envío a la revista, siendo aceptado en septiembre de 2018.
- Octubre 2018-actualidad: escritura del manuscrito de tesis doctoral y preparación de la defensa.

Asimismo, para abordar los objetivos específicos y cumplir con el plan de trabajo establecido, se recurrió a los siguientes medios:

- Recopilación de datos reproductivos y productivos de diversos rebaños comerciales de bovino lechero al este de España.
- Monitorización diaria del THI con dispositivo portátil (605-H1; Testo, Barcelona, España).
- Ecografía transrectal.
- Manejo hormonal para la sincronización del celo.
- Citología uterina con cepillo citológico (*Citobrush*[®]).
- Gestión de datos productivos y reproductivos a partir de los recogidos en sistemas informáticos ganaderos de animales individuales para obtención de índices medios y estimaciones de dispersión.
- Programas informáticos de gestión de datos.
- Programas informáticos para realización de estadística: SPSS[®] 22 (IBM, New York, USA).

RESULTADOS

RESULTADOS

En esta sección se describen, de forma resumida, los aspectos considerados en los distintos experimentos realizados, los resultados obtenidos y su análisis, ya que todo ello queda recogido en las publicaciones que acompañan esta tesis. Cada uno de los resultados obtenidos irá referido al experimento realizado para su consecución.

En el primer experimento se quiso comprobar si al administrar eCG durante el postparto en vacas de alta producción sometidas a estrés por calor y pertenecientes a una misma granja, mejoraba la fertilidad tras la primera inseminación artificial. Después de analizar los datos obtenidos en nuestro estudio sobre 401 vacas de alta producción, pudimos observar tras las distintas monitorizaciones ecográficas, que no hubo diferencias entre el grupo eCG y el grupo control respecto al retorno a la actividad ovárica y la fertilidad tras la primera inseminación artificial. Por lo tanto, consideramos que la administración de eCG bajo estas circunstancias no es una estrategia efectiva para mejorar la fertilidad postparto de las vacas lecheras de alta producción.

Considerando la importancia de hacer un diagnóstico de gestación lo más rápido y fiable posible, realizamos un segundo experimento en el que quisimos saber si la experiencia del técnico ecografista influía sobre la tasa de pérdida de gestación durante el periodo embrionario tardío. Para comprobarlo se realizó un estudio controlado y ciego en el que dos veterinarios con distinto nivel de experiencia (10 años respecto a menos de un año) realizaron 915 diagnósticos de gestación. Ambos diagnosticaron una cantidad semejante de gestaciones, pero la tasa de pérdida de gestación fue significativamente mayor entre las vacas diagnosticadas por el veterinario con menor experiencia. Nuestros resultados avalan la importancia de una capacitación adecuada, ya que la falta de experiencia en el diagnóstico ecográfico durante esta fase de desarrollo embrionario puede aumentar el riesgo de pérdida temprana de gestación.

Tras un diagnóstico rápido y fiable de las vacas no gestantes, es necesario volver a sincronizarlas para que queden gestantes lo antes posible. Por ello, en nuestro tercer experimento, quisimos comprobar si el G6G, un método de sincronización de mayor duración que los utilizados normalmente, merecía la pena en estos casos en los que “corre más prisa” que las vacas queden gestantes. En este caso, se comparó con el protocolo Ovsynch® de 5 días en 1368 inseminaciones a tiempo fijo (IATF). Las tasas de preñez resultantes de ambos protocolos hormonales sugieren que la implantación del método G6G en los protocolos de resincronización, puede resultar

efectivo por su mayor fertilidad asociada, compensando el alargamiento en el intervalo entre inseminaciones.

Como ya comentamos previamente, el objetivo principal del manejo reproductivo, y del presente trabajo, es reducir los días abiertos una vez superado el periodo de espera voluntario y lograr que la vaca quede gestante lo antes posible. Este momento debe ser el más rentable (según persistencia de la curva de lactación, número de partos del animal, etc.). Para ello, debemos asegurar un manejo exquisito (de salud y reproductivo) de los animales en momentos fundamentales, entre ellos el postparto y la primera inseminación. Habiéndose planteado diferentes hipótesis de mejora, hemos demostrado que la opción de terapia hormonal de manera temprana en el postparto para ayudar a superar el efecto del estrés por calor en vacas de leche de alta producción no supone ninguna ventaja. Por lo tanto, consideramos seguir optando por la refrigeración efectiva de los animales para acelerar la recuperación posparto del sistema reproductivo en situaciones de calor intenso. Por otro lado, también hemos revisado la relevancia que tiene en nuestros sistemas productivos el diagnóstico temprano de no-gestación para reaccionar lo más rápido posible con estos animales aún no gestantes. Aceptando que la mejor herramienta de la que disponemos a día de hoy en nuestras granjas es la ecografía transrectal, sin embargo, demostramos la relevancia que tiene la destreza (y experiencia) del veterinario que la realiza. Hemos creado evidencias de cómo un entrenamiento de al menos 12 meses es necesario para alcanzar resultados óptimos, lo que subraya la importancia de la formación continuada. Finalmente, una vez que sabemos qué vacas aún no están gestantes, necesitamos volver a inseminarlas lo antes posible. En este ámbito, nuestro tercer experimento demuestra que un protocolo hormonal de sincronización de ovulación (G6G), con una fertilidad esperada alta, pero de duración larga y poco utilizado para re-inseminaciones, es adecuado, y puede considerarse en las granjas. Esto aporta una herramienta más que ayudará a nuestros clínicos de campo y asesores a optimizar la eficiencia reproductiva de los rebaños.

Con nuestros resultados esperamos aportar distintas opciones que permitan una mejora de la eficiencia de las granjas de vacuno lechero, a través de un mejor manejo, acorde a las circunstancias de cada rebaño, consiguiendo así un aumento del ritmo reproductivo.

Mejora de la reproducción en vacas con estrés térmico mediante el uso de eCG

Título:

Early postpartum administration of equine chorionic gonadotropin to dairy cows calved during the hot season: Effects on fertility after first artificial insemination.

Administración en el postparto temprano de gonadotropina coriónica equina a vacas lecheras paridas durante la estación cálida: efectos sobre la fertilidad después de la primera inseminación artificial.

Resumen:

El estrés por calor reduce la fertilidad de las vacas lecheras de alta producción, y la administración temprana de gonadotropina coriónica equina (eCG) puede mejorarla. Para comprobarlo, 401 vacas lecheras de alta producción con estrés por calor pertenecientes a una única granja comercial recibieron de forma aleatoria eCG (500 UI, n = 214) o solución salina (n = 187) en los días 11–17 después del parto. Los efectos sobre la fertilidad después del parto se evaluaron después de la primera inseminación artificial (IA). En el día 96,34 ± 9,88 posparto, todas las vacas se inseminaron tras un protocolo de sincronización de "Cosynch corto". La actividad ovárica y el estado uterino se verificaron ecográficamente el día de la administración de eCG y, posteriormente, cada 7 días durante un total de 3 semanas. También se realizaron controles durante la sincronización y 7 días después de la IA. El día 30 después del parto, se les realizó una citología uterina con cepillo citológico para detectar endometritis subclínica. La gestación se verificó los días 30 y 60 después de la IA. No hubo diferencias significativas entre los grupos eCG y control en cuanto a promedio de lactaciones por vaca (2,33 ± 1,34), días a la primera IA (96,33 ± 9,88), rendimiento medio de leche a la IA (41,38 ± 7,74 l) o el inseminador/toro utilizado para la IA. Los grupos eCG y control mostraron una mayor actividad ovárica a lo largo del tiempo, y aproximadamente el 75% de las vacas en ambos grupos mostraron un cuerpo lúteo al comienzo del protocolo de sincronización. El día 30 después del parto, el 17,4% de las vacas con eCG y el 22,9% de las vacas control mostraron endometritis subclínica, mostrando, las vacas tratadas con eCG, una menor tendencia a presentar contenido intraluminal hiperecogénico (16,8 vs. 21,4%, $P = 0,15$). La actividad ovárica durante el protocolo de sincronización fue similar entre los dos grupos: el 91% de los animales en ambos grupos mostraron luteolisis después de la aplicación de prostaglandina y el 88% mostró ovulación

después de la última administración de la hormona liberadora de gonadotropina. La fertilidad fue similar entre los dos grupos en ambos momentos después de la IA (30 días, 34,9 vs. 31,8%; 60 días, 30.6 vs. 28.5%; $P > 0.2$). Estos resultados sugieren que la administración temprana de eCG después del parto no mejora la fertilidad de las vacas lecheras sometidas a estrés por calor, por lo que otras estrategias pueden ser más efectivas para mitigar la reducción de la fertilidad postparto en vacas lecheras de alta producción.

Referencia de publicación:

Patron-Collantes R, Lopez-Helguera I, Pesantez-Pacheco JL, Sebastian F, Fernández M, Fargas O, Astiz S. *Early postpartum administration of equine chorionic gonadotropin to dairy cows calved during the hot season: Effects on fertility after first artificial insemination*. *Theriogenology* **2017**; 92:83–89. doi: 10.1016/j.theriogenology.2017.01.019.

Referencia de la revista:



Theriogenology provides an international forum for researchers, clinicians, and industry professionals in animal reproductive biology. This acclaimed journal publishes articles on a wide range of topics in reproductive biology and biotechnology, including basic and applied studies in cryobiology of gametes and embryos, conservation biology, and assisted reproduction of domestic, wild, avian, and aquatic species.

The impact score (IS) 2020 of Theriogenology is 2.70, which is computed in 2021 as per its definition. Theriogenology IS is increased by a factor of 0.48 and approximate percentage change is 21.62% when compared to preceding year 2019, which shows a rising trend. The impact score (IS), also denoted as Journal impact score (JIS), of an academic journal is a measure of the yearly average number of citations to recent articles published in that journal. It is based on Scopus data. IS 2020 of Theriogenology is 2.70. If the same upward trend persists, impact score of journal may rise in 2021 as well. Theriogenology has an h-index of 133. It means 133 articles of this journal have more than 133 number of citations. The h-index is a way of measuring the productivity and citation impact of the publications. The h-index is defined as the maximum value of h such that the given journal/author has published h papers that have each been cited at least h number of times. The overall rank of Theriogenology is 5890. According to SCImago Journal Rank

(SJR), this journal is ranked 0.816. SCImago Journal Rank is an indicator, which measures the scientific influence of journals.

Artículo:

A continuación, se adjunta el artículo completo en el formato de la revista donde se ha publicado.



Early postpartum administration of equine chorionic gonadotropin to dairy cows calved during the hot season: Effects on fertility after first artificial insemination



R. Patron-Collantes^a, I. Lopez-Helguera^b, J.L. Pesantez-Pacheco^{c, d}, F. Sebastian^{e, f}, M. Fernández^f, O. Fargas^g, S. Astiz^{d, *}

^a TRIALVET S.L., C/ Encina 22, Cabanillas de la Sierra, 28721, Madrid, Spain

^b Dpto. Ciencia Animal, Universitat de Lleida and Agrotecnio center, Av. Rovira Roure 191, Lleida, Spain

^c School of Veterinary Medicine and Zootechnics, Faculty of Agricultural Sciences, University of Cuenca, Avda. Doce de Octubre, Cuenca, Ecuador

^d Dpto. Reproducción Animal (INIA), Avda. Puerta de Hierro s/n, 28040, Madrid, Spain

^e Cowvet SL, Avda. País Valenciano 6, 5, 46117, Betera, Valencia, Spain

^f Granja SAT More, Camino Alcublas, C/ Porta Celi s/n, 46117, Bètere, Valencia, Spain

^g VAPL S.L., C/Antoni Figueras 20, Tona, 08551, Barcelona, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24 November 2016

Received in revised form

8 January 2017

Accepted 9 January 2017

Available online 11 January 2017

Keywords:

Heat stress

eCG

Postpartum

Cyclicity

Timed AI

Double Ovsynch

ABSTRACT

Heat stress reduces fertility of high-producing dairy cows, and early administration of equine chorionic gonadotropin (eCG) may improve it. Here, 401 heat-stressed, high-producing dairy cows on a single commercial farm were given eCG (500 UI, n = 214) or saline (n = 187) on days 11–17 after calving, and the effects on fertility after the first artificial insemination (AI) were assessed. On post-partum day 96.34 ± 9.88, all cows were inseminated after a “double short Cosynch” synchronization protocol. Ovarian activity and uterine status were checked by ultrasound on the day of eCG administration and every 7 days thereafter for a total of 3 weeks; checks were also performed during synchronization, and 7 days after AI. On post-partum day 30, cytobrush uterine cytology was performed to check for subclinical endometritis. Pregnancy status was checked on days 30 and 60 after AI. The eCG and control groups did not differ significantly in terms of average lactations per cow (2.33 ± 1.34), days in milk at first AI (96.33 ± 9.88), average milk yield at AI (41.38 ± 7.74 L), or the particular inseminator or bull used for AI. The eCG and control groups showed increasing ovarian activity with time, with approximately 75% of cows in both groups showing a corpus luteum at the beginning of the synchronization protocol. On post-partum day 30, 17.4% of eCG cows and 22.9% of control cows showed subclinical endometritis. Cows treated with eCG showed a tendency toward lower hypercogenic intraluminal content (16.8 vs. 21.4%, *P* = 0.15), but ovarian activity during the synchronization protocol was similar between eCG and control groups, with 91% of animals in both groups showing luteolysis after prostaglandin application and 88% showing ovulation after the last administration of gonadotropin-releasing hormone. Fertility was similar between the two groups at both time points after AI (30 days, 34.9 vs. 31.8%; 60 days, 30.6 vs. 28.5%; *P* > 0.2). These results suggest that early postpartum eCG administration does not improve fertility of heat-stressed dairy cows as long as 60 days after AI. Other strategies may be more effective at mitigating the ability of post-partum heat stress to reduce fertility of high-producing dairy cows.

© 2017 Elsevier Inc. All rights reserved.

1. Introduction

High temperatures have been strongly linked to low fertility in

dairy cattle [1–3]. Heat stress appears to reduce fertility by increasing the number of days open, reducing conception rate, and increasing the rates of anestrus, anovulatory or persistent follicles,

* Corresponding author.

E-mail addresses: rpatron@trialvet.com (R. Patron-Collantes), irenelh@ca.udl.cat (I. Lopez-Helguera), jose.pesantez@ucuenca.edu.ec (J.L. Pesantez-Pacheco), covvets@gmail.com (F. Sebastian), migvetf@gmail.com (M. Fernández), octavi.vaplsip@gmail.com (O. Fargas), astiz.susana@inia.es (S. Astiz).

Influencia de la experiencia del ecografista en la pérdida de gestación en vacas lecheras

Título:

Influence of practitioner expertise during early pregnancy diagnosis on pregnancy loss rate: A controlled, blinded trial.

Influencia de la experiencia del veterinario durante el diagnóstico temprano de la gestación en la tasa de pérdida de gestación: un ensayo controlado y ciego.

Resumen:

Se realizó un ensayo de campo controlado para evaluar la posible influencia de la falta de experiencia del veterinario durante el diagnóstico ecográfico (PD-US) temprano de la gestación sobre el riesgo de pérdida de esta. Dos veterinarios, uno con más de 10 años de experiencia en PD-US (Vet-A) y otro con menos de 12 meses de experiencia al comienzo del estudio (Vet-B) visitaron la misma granja lechera una vez por semana durante 33 y 26 semanas, respectivamente. Ninguno de los veterinarios interactuó entre sí en ningún momento durante el estudio, ni sabían que sus datos se utilizarían más adelante en este estudio. Usando el mismo equipo, realizaron PD-US a los 28–34 días después de la inseminación artificial (IA), diagnosticando juntos 915 gestaciones. Todas las vacas se volvieron a controlar entre los días 49 y 56 después de la IA, y las vacas que ya no estaban gestantes se registraron como pérdidas de gestación. Aunque Vet-A y Vet-B diagnosticaron una proporción similar de gestaciones ($58,44 \pm 16\%$ vs $56,96 \pm 18\%$, $P > 0,05$), la tasa de pérdida de gestación fue significativamente mayor entre las vacas diagnosticadas por Vet-B ($10,41 \pm 11,2\%$ vs $4,87 \pm 9,0\%$, $P = 0,029$). Además, entre las vacas diagnosticadas por Vet-B, la tasa de pérdida de gestación fue significativamente mayor hasta que alcanzó 12 meses de experiencia con PD-US ($11,17 \pm 12,14\%$ vs $7,14 \pm 11,01\%$, $P = 0,038$); siendo de hecho, esta última tasa de pérdida, comparable a la de las vacas diagnosticadas por Vet-A durante el mismo período ($3,51 \pm 9,83\%$, $P = .620$). Estos resultados sugieren que la falta de experiencia en el diagnóstico ecográfico durante el período embrionario tardío puede aumentar el riesgo de pérdida temprana de gestación, lo que respalda la necesidad de una capacitación adecuada.

Referencia de publicación:

Patron R, López-Helguera I, Sebastián F, Pesantez-Pacheco JL, Pérez-Villalobos N, Vicente González Martín J, Fargas O, Astiz S. *Influence of practitioner expertise during early pregnancy diagnosis on pregnancy loss rate: A controlled, blinded trial*. *Reprod Domest Anim*. 2017;52(6):1145–1148. doi: 10.1111/rda.13033

Referencia de la revista:




Edited By: H. Rodriguez-Martinez
Impact factor: 2.005
2020 Journal Citation Reports (Clarivate Analytics): 27/63 (Agriculture, Dairy & Animal Science) 27/30 (Reproductive Biology) 48/146 (Veterinary Sciences)
Online ISSN: 1439-0531
© Wiley-VCH GmbH

The journal offers comprehensive information concerning physiology, pathology, and biotechnology of reproduction. Topical results are currently published in original papers, reviews, and short communications with particular attention to investigations on practicable techniques. Carefully selected reports, e. g. on embryo transfer and associated biotechnologies, gene transfer, and spermatology provide a link between basic research and clinical application. The journal applies to breeders, veterinarians, and biologists, and is also of interest in human medicine. Interdisciplinary cooperation is documented in the proceedings of the joint annual meetings. Fields of interest: Animal reproduction and biotechnology with special regard to investigations on applied and clinical research.

Artículo:

A continuación, se adjunta el artículo completo en el formato de la revista donde se ha publicado.

Influence of practitioner expertise during early pregnancy diagnosis on pregnancy loss rate: A controlled, blinded trial

R Patron¹ | I López-Helguera² | F Sebastián³ | J-L Pesantez-Pacheco^{4,5} |
N Pérez-Villalobos¹ | J Vicente González Martín^{1,6} | O Fargas⁷ | S Astiz⁵ 

¹Trialvet SL, Madrid, Spain

²Departament de Ciència Animal, Agrotecnio, Universitat de Lleida, Lleida, Spain

³Cowvet SL, Valencia, Spain

⁴Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador

⁵Animal Reproduction Department, INIA, Madrid, Spain

⁶Departamento de Medicina y Cirugía Animal, Facultad de Veterinaria (UCM), Madrid, Spain

⁷VAPL SL, Barcelona, Spain

Correspondence

Susana Astiz, Animal Reproduction Department, INIA, Madrid, Spain.
Email: astiz.susana@inia.es

Contents

A controlled field trial was conducted to assess the potential influence of practitioner inexperience during early pregnancy diagnosis with ultrasound (PD-US) on the risk of pregnancy loss. A veterinarian with more than 10 years' experience in PD-US (Vet-A) and a veterinarian with fewer than 12 months' experience at the start of the study (Vet-B) visited the same dairy farm once a week for 33 and 26 weeks, respectively. The two veterinarians did not interact with each other at any time during the study, nor did they know that their data would later be used in this study. Using the same farm scanner, they performed PD-US at 28–34 day after breeding, together diagnosing 915 pregnancies. All cows were re-checked at 49–56 day after artificial insemination, and cows no longer pregnant were recorded as having suffered pregnancy loss. Although Vet-A and Vet-B diagnosed a similar proportion of pregnancies ($58.44 \pm 16\%$ vs $56.96 \pm 18\%$, $p > .05$), the rate of pregnancy loss was significantly higher among cows diagnosed by Vet-B ($10.41 \pm 11.2\%$ vs 4.87 ± 9.0 , $p = .029$). In addition, among cows diagnosed by Vet-B, the rate of pregnancy loss was significantly higher among cows diagnosed, while he had fewer than 12 months' PD-US experience ($11.17 \pm 12.14\%$) than among cows that he diagnosed later ($7.14 \pm 11.01\%$, $p = .038$); in fact, this latter loss rate was comparable to that among cows diagnosed by Vet-A during the same period ($3.51 \pm 9.83\%$, $p = .620$). These results suggest that inexperience with PD-US during the late embryonic period can increase risk of early pregnancy loss, supporting the need for proper training.

1 | INTRODUCTION

For technical and economic reasons, bovine practitioners perform early pregnancy diagnosis (PD) during the late embryonic period (Romano et al., 2007), frequently using transrectal amniotic sac visualization with ultrasound (US) (Gandy et al., 2001). Typically, the PD-US technique is conducted 28–35 days after artificial insemination and pregnancies are confirmed 4–6 weeks later (Fricke, Ricci, Giordano, & Carvalho, 2016).

PD-US provides immediate results, is less invasive than transrectal palpation (Vaillancourt et al., 1979), is accurate when performed by trained veterinarians, and can be used to age fetuses and detect twin pregnancies (Romano, Bryan, Ramos, Velez, & Pinedo, 2016). While it is assumed not to harm the conceptus (Ball & Logue, 1994;

Kähn, 1992; Miller, 2008), several researchers have suggested that proper training in PD-US is important for ensuring the safety as well as accuracy of the technique (Fricke et al., 2016; Romano et al., 2016). Nevertheless, little is known about how the expertise of the person performing PD-US affects risk of pregnancy loss.

Therefore, we performed a controlled, blinded field trial to assess the effect of practitioners' PD-US experience on the rate of pregnancy loss.

2 | MATERIAL AND METHODS

The study was conducted on a commercial dairy farm in eastern Spain with 470 cows in lactation with the following characteristics: mean age at first calving, 23.9 months; mean number of lactations,

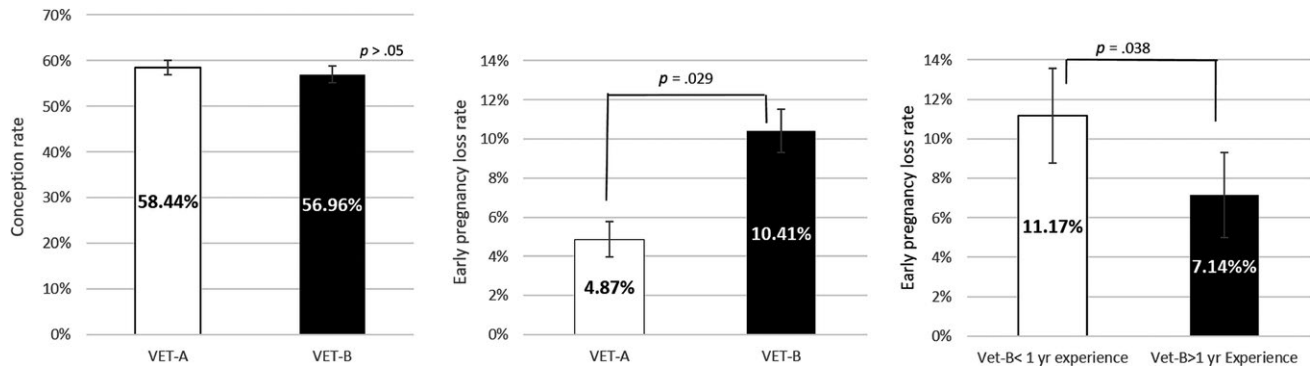


FIGURE 1 Comparison of the early loss of pregnancies diagnosed with ultrasound by a more experienced veterinarian (Vet-A) or less experienced veterinarian (Vet-B) in the same herd. (Left) Conception rate after early pregnancy diagnosis at 28–34 day after artificial insemination. (Middle) Rate of early pregnancy loss based on re-evaluation of pregnant cows at 49–56 day after artificial insemination. (Right) Rate of early pregnancy loss in cows diagnosed as pregnant by Vet-B before or after he had accumulated 12 months' experience with the ultrasound diagnosis procedure

2.3; and mean milk yield per cow per year, 10,580 L. On this farm during the study period, oestrus was synchronized after a waiting period of 70 days after parturition using the G6G/ovsynch protocol for first artificial insemination (Bello, Steibel, & Pursley, 2006). This protocol involves pre-synchronization with PGF, followed 2 day later with GnRH (100 μ g) and then 6 day later with the first GnRH injection of Ovsynch, after which the Ovsynch program is completed. The entire protocol from pre-synchronization to timed artificial insemination takes 18 day. A pedometer system was used to detect oestrus in subsequent inseminations. The farm was visited weekly by two practitioners, who performed routine reproductive explorations. PD-US was performed at 28–34 days after artificial insemination using an Ibex Pro portable ultrasound machine equipped with a 7.5-MHz linear transducer. Pregnancy was diagnosed based on the presence or absence of foetal heartbeat (Kastelic & Ginther, 1989) and confirmed at days 49–56 after artificial insemination.

All activities within the study were routine farm practises, with no ethical approval required following the European Union Directive 2010/63/UE.

Between March 2014 and December 2015, a controlled, blinded field trial was conducted. During this period, the farm was visited once weekly by Veterinarian A (Vet-A), who had more than 10 years' PD-US experience and by Veterinarian B (Vet-B), who had fewer than 12 months' PD-US experience at the start of the study. Vet-B had obtained his veterinary medicine degree 18 months before participation in this study, and during that time, he had been working in the field. Vet-B received training from Vet-A in reproductive check-ups and pregnancy diagnosis over a one-month period, when they performed routine reproduction check-ups together at commercial farms. Vet-B performed all explorations and diagnoses on his own under the supervision of Vet-A. After 1 month, Vet-A considered that Vet-B was capable of performing PD-US as well as other reproductive health procedures entirely independently.

PD-US was performed as described (Baxter & Ward, 1997; Romano et al., 2006). In brief, the practitioner removed the faeces from the

rectum, introduced the lubricated transducer and positioned it dorsal to the genital tract, then advanced it cranially. The uterus was not manipulated unless absolutely necessary. The ovaries were scanned only if problems arose when imaging the conceptus. A positive diagnosis of pregnancy was made if the allantochorion and embryo in the uterine lumen were visualized and a heartbeat was detected. The reproductive tract was not examined further once the embryo was found, to minimize risk of additional trauma to the uterus and conceptus.

The two veterinarians did not interact with each other, nor did they know that their data would later be used. After the conclusion of the study period, the veterinarians consented to have their data analysed and published.

Vet-A visited the farm 33 times and Vet-B 26 times, diagnosing a total of 915 early pregnancies at similar gestational ages (Vet-A, 31.76 ± 2.09 day; Vet-B, 31.59 ± 1.89 day) on cows with similar lactations (Vet-A, 2.33 ± 1.24 lactations/cow; Vet-B, 2.11 ± 0.95 lactations/cow). All pregnant cows were re-evaluated at 49–56 day after artificial insemination; those no longer pregnant were considered to have suffered early pregnancy loss. Neither veterinarian had access to pregnancy loss data from the other colleague during the study.

By the end of May 2015, Vet-B had acquired 12 months' PD-US experience, so we conducted an additional analysis to compare pregnancy loss rates of Vet-A and Vet-B before and after this point. Before this point, Vet-A visited the farm 26 times and diagnosed 425 pregnancies, while Vet-B visited the farm 19 times and diagnosed 296 pregnancies. After this point, Vet-A visited the farm seven times and diagnosed 102 pregnancies, while Vet-B visited the farm seven times and diagnosed 92 pregnancies.

2.1 | Statistics

SPSS[®] 22.0 (IBM, New York, NY) was used. As data showed a skewed distribution based on the Kolmogorov-Smirnov test, differences between practitioners were assessed for significance using nonparametric Mann-Whitney analyses. Threshold of significance was defined as $p < .05$.

3 | RESULTS

The accuracy of pregnancy diagnosis for each veterinarian in terms of sensitivity, specificity, positive predictive value and negative predictive value, based on the use as "Gold standard" the second pregnancy diagnosis at days 49–56 was, for the Vet-A: 100 (293/293), 93.59 (219/234), 95.13 (293/308) and 100% (219/219), respectively, while Vet-B achieved the following accuracy percentages: 100 (198/198), 87.89 (167/190), 89.59 (198/221) and 100% (167/167) for sensitivity, specificity, positive predictive value and negative predictive value, respectively.

The conception rate at first diagnosis by both veterinarians was 57.8% (386/915), and it was similar for Vet-A (58.44 ± 16%) and Vet-B (56.96 ± 18%, $p > .05$; Figure 1).

The early pregnancy loss rate during the study period was 7.18% (38/529), and this rate was significantly higher among cows diagnosed by Vet-B (10.4 ± 11.2%) than among cows diagnosed by Vet-A (4.87 ± 9%, $p = .029$; Figure 1).

Next, we compared the pregnancy loss rates between Vet-A and Vet-B for diagnoses made before or after June 2015, when Vet-B had accumulated 12 months' PD-US experience. Before this point, the pregnancy loss rate was significantly greater for Vet-B (11.17 ± 12.14%) than for Vet-A (5.18 ± 8.95%, $p = .039$), similar to the results obtained over the entire study period. After this point, the pregnancy loss rate was similar between Vet-B (7.14 ± 11.01%) and Vet-A (3.51 ± 9.83%, $p = .620$; Figure 1). This difference before or after June 2015 was not associated with differences in conception rates, which were similar between Vet-B and Vet-A before June 2015 (60.86 ± 16.9 vs 57.43 ± 15.2%, $p = .620$) and after June 2015 (47.38 ± 19.9 vs 51.86 ± 17.9%, $p = .669$).

4 | DISCUSSION

This study provides some of the first evidence from a controlled field trial that the expertise of the PD-US practitioner can significantly affect the risk of early pregnancy loss in cows. These preliminary data suggest that at least 12 months' PD-US experience is needed to minimize risk of pregnancy loss. It is likely that proper PD-US training can reduce this "learning curve" and therefore should become routinely available.

The present study highlights the importance of experience for PD-US safety, which may have been masked in previous comparisons of early pregnancy diagnosis techniques. For example, one study found a similar mean pregnancy loss rate of 5.3% between PD-US and other techniques (Baxter & Ward, 1997), and another study found a mean pregnancy loss rate of 5.4% between palpation and non-palpation techniques (Alexander et al., 1995), but the practitioners in both studies were "highly experienced" in their respective techniques. This literature suggests that several techniques for early pregnancy diagnosis can give similar results, but as the present study implies, this may be true only when the practitioners are highly experienced.

Although the results of the current study are based on only two veterinarians working on a single farm, the observed difference in pregnancy loss is likely to reflect the difference in experience and not other confounding variables. The two veterinarians worked with the same herd for longer than 20 months using the same US machine. In addition, they diagnosed pregnancies at a similar rate throughout the study period as well as during the period when Vet-B had fewer than 12 months' PD-US experience. These results suggest that less PD-US experience is required to diagnose pregnancy accurately than to diagnose it safely.

The correlation between PD-US inexperience and higher risk of early pregnancy loss may reflect rough handling that damages the conceptus, perhaps through altered vascularization of placenta and other systems (Johnson, 1986; Maiorka et al., 2015), or through mechanical trauma to the heart (Abbitt et al., 1978; Franco, Drost, Thatcher, Shille, & Thatcher, 1987), which is located near the conceptus surface at days 28–35 of development (Pierson & Ginther, 1984). However, in this study, it is unlikely to be the main cause, based on the short average age of the cows diagnosed and the proper technique used to diagnose pregnancy (avoiding to retract the uterus).

The total pregnancy loss on our farm during the study period was 7.2%, which is slightly lower than the 11.9% reported in an extensive study involving more than 20,000 pregnancies (Wiltbank et al., 2016). Our lower loss rate may reflect how we diagnosed pregnancy: in another study reporting a similar loss rate (Fricke et al., 2016), and pregnancy was diagnosed based on foetal heartbeat as in the present work. Our lower loss rate may also reflect other farm factors (Wiltbank et al., 2016).

This small field trial provides clear evidence that PD-US inexperience can increase risk of early pregnancy loss. Practitioners should receive adequate training before implementing this technique on farms to shorten the "learning curve".

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to Pedro Cuesta and Iagoba Cano (Research Support Department of the UCM, Madrid, Spain) for statistical analyses and to the farm staff and veterinarians for their work.

CONFLICT OF INTEREST

None of the authors have any conflict of interest to declare.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

RP was engaged in study design, experimental work, data analyses and manuscript writing. ILH was engaged in the, experimental work, data analyses and manuscript writing and successive corrections. FS led the experimental work, data recovering and manuscript corrections. JLPP was engaged in study design, data analyses and manuscript corrections. NPV was engaged in data analyses and manuscript writing and corrections. JVGM led study design and participated in the manuscript corrections. OF led study design, data recovering, data

analysing and manuscript corrections. SA coordinated the research group, led experimental design and performance, data recovering and analyses, manuscript writing and corrections.

REFERENCES

- Abbott, B., Ball, L., Kitto, G. P., Sitzman, C. G., Wilgenburg, B., Raim, L. W., & Seidel, G. E. Jr. (1978). Effect of three methods of palpation for pregnancy diagnosis per rectum on embryonic and fetal attrition in cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 173, 973–977.
- Alexander, B. M., Johnson, M. S., Guardia, R. O., Van de Graaf, W. L., Senger, P. L., & Sasser, R. G. (1995). Embryonic loss from 30 to 60 days post breeding and the effect of palpation per rectum on pregnancy. *Theriogenology*, 43, 551–556.
- Ball, P. J., & Logue, D. D. (1994). Ultrasound diagnosis of pregnancy in cattle. *Veterinary Record*, 134, 532.
- Baxter, S. J., & Ward, W. R. (1997). Incidence of fetal loss in dairy cattle after pregnancy diagnosis using an ultrasound scanner. *Veterinary Record*, 140, 287–288.
- Bello, N. M., Steibel, J. P., & Pursley, J. R. (2006). Optimizing ovulation to first GnRH improved outcomes to each hormonal injection of ovsynch in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89, 3413–3424.
- Franco, O. J., Drost, M., Thatcher, M. J., Shille, V. M., & Thatcher, W. W. (1987). Fetal survival in the cow after pregnancy diagnosis by palpation per rectum. *Theriogenology*, 27, 631–644.
- Fricke, P. M., Ricci, A., Giordano, J. O., & Carvalho, P. D. (2016). Methods for and implementation of pregnancy diagnosis in dairy cows. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 32, 165–180.
- Gandy, B., Tucker, W., Ryan, P., Williams, A., Tucker, A., Moore, A., ... Willard, S. (2001). Evaluation of the early conception factor (ECF) test for the detection of nonpregnancy in dairy cattle. *Theriogenology*, 56, 637–647.
- Johnson, R. (1986). Intestinal atresia and stenosis. A review comparing its etiopathogenesis. *Veterinary Research Communications*, 10, 95–104.
- Kahn, W. (1992). Ultrasonography as a diagnostic tool in female animal reproduction. *Animal Reproduction Science*, 28, 1–10.
- Kastelic, J. P., & Ginther, O. J. (1989). Fate of conceptus and corpus luteum after induced embryonic loss in heifers. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 194, 922–928.
- Maiorka, P. C., Favaron, P. O., Mess, A. M., dos Santos, C. R., Alberto, M. L., Meirelles, F. V., & Miglino, M. A. (2015). Vascular alterations underlie developmental problems manifested in cloned cattle before or after birth. *PLoS One*, 10, e0106663.
- Miller, D. L. (2008). Safety assurance in obstetrical ultrasound. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*, 29, 156–164.
- Pierson, R. A., & Ginther, O. J. (1984). Ultrasonography for detection of pregnancy and study of embryonic development in heifers. *Theriogenology*, 22, 225–233.
- Romano, J. E., Bryan, K., Ramos, R. S., Velez, J., & Pinedo, P. (2016). Effect of early pregnancy diagnosis by per rectum amniotic sac palpation on pregnancy loss, calving rates, and abnormalities in newborn dairy calves. *Theriogenology*, 85, 419–427.
- Romano, J. E., Thompson, J. A., Forrest, D. W., Westhusin, M. E., Tomaszewski, M. A., & Kraemer, D. C. (2006). Early pregnancy diagnosis by transrectal ultrasonography in dairy cattle. *Theriogenology*, 66, 1034–1041.
- Romano, J. E., Thompson, J. A., Kraemer, D. C., Westhusin, M. E., Forrest, D. W., & Tomaszewski, M. A. (2007). Early pregnancy diagnosis by palpation per rectum. Influence on embryo/fetal viability in dairy cattle. *Theriogenology*, 67, 486–493.
- Vaillancourt, D., Bierschwal, C. J., Ogwu, D., Elmore, R. G., Martin, C. E., Sharp, A. J., & Youngquist, R. S. (1979). Correlation between pregnancy diagnosis by membrane slip and embryonic mortality. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 175, 466–468.
- Wiltbank, M. C., Baez, G. M., Garcia-Guerra, A., Toledo, M. Z., Monteiro, P. L., Melo, L. F., ... Sartori, R. (2016). Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. *Theriogenology*, 86, 239–253.

How to cite this article: Patron R, López-Helguera I, Sebastián F, et al. Influence of practitioner expertise during early pregnancy diagnosis on pregnancy loss rate: A controlled, blinded trial. *Reprod Dom Anim*. 2017;00:1–4. <https://doi.org/10.1111/rda.13033>

Uso de protocolo G6G en segundas y posteriores inseminaciones

Título:

Resynchronization with the G6G protocol: A retrospective, observational study of second and later timed artificial inseminations on commercial dairy farms.

Resincronización con el protocolo G6G: estudio retrospectivo y observacional sobre segundas y subsiguientes inseminaciones artificiales a tiempo fijo en granjas lecheras comerciales.

Resumen:

Registramos, en granjas lecheras comerciales, las tasas de concepción (CR) y las tasas estimadas de preñez después de la segunda y posteriores inseminaciones artificiales programadas (IATF) después de la resincronización hormonal, usando el llamado protocolo G6G (PGF día-0; GnRH días 2 y 8; PGF días 15 y 16, GnRH día 17; IATF día 18), y el protocolo Ovsynch® de 5 días o 5DO (GnRH día 0; PGF 5, 6 días; GnRH 7 días; TAI 8 días). Ambos protocolos se implementaron en paralelo en cuatro granjas con 1.368 IATF y posteriores, que se utilizaron para la comparación de dichos protocolos basada en regresión logística [544 IATF en primíparas; 824 en vacas multíparas; 1.024 IATF tras G6G (600 IATF en multíparas y 424 en primíparas); 344 IATF tras 5DO (224 IATF en multíparas y 120 en primíparas); 280 IATF durante la temporada de calor; 1.088 durante la estación fría]. La tasa de concepción fue 31,7% ± 12,0% entre todas las vacas, 35,1% ± 10,7% entre las vacas resincronizadas con el protocolo G6G y 21,8% ± 9,7% entre las vacas resincronizadas con el protocolo 5DO ($P < 0,0001$). La CR entre todas las vacas fue menor durante la estación cálida (19,3 % ± 8,4 %) que durante la estación fría (34,9 % ± 10,6 %; $P < 0,0001$), y considerando la estacionalidad, se observaron resultados similares con los protocolos G6G. La regresión logística mostró efectos significativos sobre la CR en las segundas IATF y posteriores por protocolo (OR = 0,514; IC del 95 % 0,385–0,686; $P < 0,0001$) y estación (OR = 0,486; IC del 95 % 0,350–0,676; $P < 0,0001$). El número de partos no influyó en la CR en segundas IATF y posteriores ($P > 0.1$), y no se encontró interacción con la estación o el protocolo de resincronización. Las tasas de gestación estimadas basadas en los de CR de ambos protocolos hormonales sugieren que G6G se puede usar de manera efectiva para la segundas IATFs y posteriores y resalta la importancia de considerar el protocolo y la estación al diseñar estrategias de resincronización en las granjas lecheras.

Referencia de publicación:

Patron R, Lopez-Helguera I, Pesantez-Pacheco JL, Perez-Villalobos N, Heras J, Vicente Gonzalez J, Fargas O, Astiz S. *Resynchronization with the G6G protocol: A retrospective, observational study of second and later timed artificial inseminations on commercial dairy farms*. *Reprod Domest Anim.* **2019**;54(2):243–251. doi: 10.1111/rda.13343

Referencia de la revista:




Edited By: H. Rodriguez-Martinez
Impact factor: 2.005
2020 Journal Citation Reports (Clarivate Analytics): 27/63 (Agriculture, Dairy & Animal Science) 27/30 (Reproductive Biology) 48/146 (Veterinary Sciences)
Online ISSN: 1439-0531
© Wiley-VCH GmbH

Artículo:

A continuación, se adjunta el artículo completo en el formato de la revista donde se ha publicado.

Resynchronization with the G6G protocol: A retrospective, observational study of second and later timed artificial inseminations on commercial dairy farms

Raquel Patron¹ | Irene Lopez-Helguera² | Jose Luis Pesantez-Pacheco^{3,4} |
 Natividad Perez-Villalobos⁵ | Javier Heras⁶ | Juan Vicente Gonzalez^{1,7} |
 Octavi Fargas⁸ | Susana Astiz⁴ 

¹TRIALVET S.L., Madrid, Spain

²Departamento de Ciencia Animal, Universitat de Lleida and Agrotecnio Center, Lleida, Spain

³School of Veterinary Medicine and Zootechnics, Faculty of Agricultural Sciences, University of Cuenca, Cuenca, Ecuador

⁴Departamento de Reproducción Animal (INIA), Madrid, Spain

⁵Facultad de Ciencias Biomédicas, Universidad Europea de Madrid, Madrid, Spain

⁶VETHER GIRONA SL, Girona, Spain

⁷Departamento de Medicina y Cirugía Animal, Veterinary Faculty, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spain

⁸VAPL S.L., Barcelona, Spain

Correspondence

Susana Astiz, Departamento de Reproducción Animal (INIA), Madrid, Spain.
 Email: astiz.susana@inia.es

Contents

We recorded conception rates and estimated pregnancy rates following second and later timed artificial inseminations (TAIs) after hormonal resynchronization on commercial dairy farms, using the so-called G6G protocol (PGF day-0; GnRH 2, 8 days; PGF 15, 16 days, GnRH 17 days; TAI 18 days), and the 5-day Ovsynch protocol or 5DO (GnRH day 0; PGF 5, 6 days; GnRH 7 days; TAI 8 days). In four farms, both protocols were implemented in parallel, and these 1,368 s and later TAIs were used for the protocols' comparison based on logistic regression (544 TAIs in primiparous; 824 in multiparous cows; 1,024 TAIs after G6G [600 TAIs in multiparous and 424 in primiparous]; 344 TAIs after 5DO [224 TAIs in multiparous and 120 in primiparous]; 280 TAIs during the hot season; 1,088 during the cool season). Conception rate (CR) was $31.7\% \pm 12.0\%$ among all cows, $35.1\% \pm 10.7\%$ among cows resynchronized with the G6G protocol and $21.8\% \pm 9.7\%$ among cows resynchronized with the 5DO protocol ($p < 0.0001$). CR among all cows was lower during the hot season ($19.3\% \pm 8.4\%$) than during the cool season ($34.9\% \pm 10.6\%$; $p < 0.0001$), and similar seasonal results were observed with G6G protocols. Logistic regression showed significant effects on CR in second and later TAIs by protocol (OR = 0.514; 95% CI 0.385–0.686; $p < 0.0001$) and season (OR = 0.486; 95% CI 0.350–0.676; $p < 0.0001$). Parity did not influence CR after second and later TAIs ($p > 0.1$), and no interaction with season or resynchronization protocol was found. Estimated pregnancy rates based on these CR data from both hormonal protocols suggest that G6G can be effectively used for second and later TAIs and highlight the importance of considering protocol and season when designing strategies for second and later timed AIs on dairy farms.

KEYWORDS

5dO, parity, pregnancy rate, resynchronization, season

1 | INTRODUCTION

Decreasing cow fertility on dairy farms demonstrated in recent decades, to which a major contributing factor is ineffective oestrous detection (Roelofs, Lopez-Gatius, Hunter, Eerdenburg, & Hanzen, 2010), has led many dairy farms to adopt the practice of timed artificial insemination (TAI) following synchronization of ovulation (Colazo & Mapletoft, 2014). Conception rates at the first TAI after parturition can be up to 50%, with success depending on several factors such as management practices, body condition, postpartum uterine diseases and hormonal treatments (Lopez-Helguera, Lopez-Gatius, & Garcia-Ispuerto, 2012). Moreover, heat stress has been associated with a decreased fertility of herds (García-Ispuerto et al., 2007). To overcome these effects, several TAI systems have been proposed as hormonal therapy to mitigate decreased conception rates in hot season (Cartmill et al., 2001; Stevenson & Pulley, 2012; reviewed by De Rensis, Garcia-Ispuerto, & Lopez-Gatius, 2015).

Strategies to maximize conception rates at the second and subsequent TAIs may substantially improve the reproductive rhythm of the herd and thereby overall reproductive efficiency. Several schemes have been developed to resynchronize cows after a negative pregnancy diagnosis (Forro et al., 2015) or even before their pregnancy status is known. For example, the original system of ovulation synchronization (Ovsynch protocol; Pursley, Mee, & Wiltbank, 1995) has been modified to shorten the interval between first administration of gonadotropin-releasing hormone (GnRH) and administration of prostaglandin from 7 days to 5 (Colazo & Ambrose, 2015; Santos, Narciso, Rivera, Thatcher, & Chebel, 2010). This 5-day Ovsynch (5DO) protocol has been associated with conception rates of 45.3% (Colazo & Ambrose, 2015) and 34.7% (Motavalli, Dirandeh, Deldar, & Colazo, 2017), but it requires two doses of prostaglandin. These rates and the short duration of the 5DO protocol make it an attractive option for resynchronizing cows, which should maximize pregnancy rates.

Much longer but also effective is the so-called G6G protocol, which involves presynchronization with prostaglandin, followed 2 days later with GnRH (100 mg) and then 6 days later with the first GnRH injection of the 7-day Ovsynch procedure, corresponding to an interval of 18 days from first prostaglandin to TAI. A similar synchronization protocol was previously designed for first inseminations after calving (Stevenson & Pulley, 2012). G6G was also originally designed for first artificial inseminations (Bello, Steibel, & Pursley, 2006), and the G6G protocol reproducibly achieves high conception rates at the first TAI ranging from 35% (Astiz & Fargas, 2013) to 57% (Yousuf, Martins, Ahmad, Nobis, & Pursley, 2016). This protocol causes a large proportion of cows being at the optimal stage of the cycle to initiate Ovsynch and improve most aspects of synchronization before or during the Ovsynch. The modification of introducing a second prostaglandin administration before TAI has been reported by improving reproductive efficiency when compared to classical G6G (Heidari, Dirandeh, Ansari Pirsaraei, & Colazo, 2017). Another variation with an initial prostaglandin 14 days before initiation the G6G protocol increased progesterone concentrations

before artificial insemination and decreased late embryonic/early foetal loss (Dirandeh, Roodbari, & Colazo, 2015; Dirandeh, Roodbari, Gholizadeh, et al., 2015). This modification enlarges in additional 14 days the whole protocol and makes this option not advisable for second and later TAIs.

A possibility that has yet to be investigated in detail is whether the G6G protocol can be used effectively and in an efficient way as a resynchronization protocol.

Few studies have directly observed resynchronization protocols by considering the risks of insemination and conception; multiplying these risks together gives the pregnancy rate, which is what dairy farms seek to maximize. Therefore, studies on resynchronization efficacy should examine all factors that affect either rate. These factors include the days until first pregnancy diagnosis, which influences the interval between inseminations (Silva et al., 2009). Another important factor is parity, which has been associated with fertility (De Kruif, 1978) and with conception rate within synchronization protocols (Astiz & Fargas, 2013; Marques Mde et al., 2015). Finally, heat stress can decrease fertility (De Rensis & Scaramuzzi, 2003) and reduce uterine blood flow as well as oocyte quality, reducing the effectiveness of insemination (Roth, Meidan, Shaham-Albalancy, Braw-Tal, & Wolfenson, 2001). Many of these negative factors could be overcome, in part, by employing hormonal strategies.

Our hypothesis was that G6G, although even being a presynchronization protocol initially thought for first inseminations, and much longer than any other resynch protocol, can be as efficient as a short one (5DO) for second and later TAIs if the achieved conception rate is higher enough than that obtained after the 5DO protocol, to counteract the advantageous shorter length of the 5DO protocol.

Therefore, the aim of the present study was to describe conception rates and estimated pregnancy rates after a scarcely used for resynchronization protocol (G6G) and 5DO resynchronization for second and later TAIs in cows, on commercial dairy farms. The analysis on the retrospective data took into account factors suspected to influence conception and pregnancy rates: parity, season of TAI, hormone brands and time until first pregnancy diagnosis.

2 | MATERIAL AND METHODS

2.1 | Animals and experimental procedures

This study included retrospective farm data for 4,279 s and later TAIs in dairy Holstein cows (2,809 TAIs in primiparous cows, 1,470 in multiparous cows) from 29 high-yield commercial farms in eastern Spain.

The mean number of cows in milk was 400 per farm, and the mean milk yield per cow per lactation was 10,507 L. All herds were managed under similar conditions, which included ad libitum access to water and twice-daily feeding with a total mixed ration (TMR) that was balanced to meet or exceed nutrient recommendations for lactating dairy cows (NRC, 2001).

One first part of the analysis aimed to compare conception rates (CR) from second and later inseminations after two hormonal resynchronization protocols implemented in parallel in four farms. The G6G resynchronization protocol (Figure 1; Bello et al., 2006) was used with the modification of two prostaglandin doses before insemination (Heidari et al., 2017; Wiltbank et al., 2015). The protocol consisted of prostaglandin administration on day 0, GnRH on days 2 and 8, prostaglandin on days 15 and 16, GnRH on day 17 (afternoon), and finally TAI on day 18 (Figure 1). This meant an interval of 18 days between protocol start and TAI. The 5DO protocol (Bisinotto et al., 2010) consisted of GnRH on day 0, two prostaglandin doses on days 5 and 6, GnRH on day 7 (afternoon), and finally TAI on day 8 (morning; Figure 1). This meant an interval of 8 days between protocol start and TAI.

The GnRH analogues used were gonadorelin diacetate 100 µg (Cystoreline; Ceva SA, Barcelona, Spain) or buserelein acetate 0.0042 mg (Receptal; MSD, Boxmeer, Netherlands). The following analogues of prostaglandin $F_{2\alpha}$ (PGF) were used: cloprostenol sodium 500 µg (Cyclix; Virbac SA, Barcelona, Spain) and dinoprost tromethamine 5 mg/ml (Dinolytic, Pfizer, Paris, France; or Enzaprost, Ceva SA, Barcelona, Spain). The choice of analogues was made arbitrarily by the farms themselves, reflecting the retrospective nature of our study. The doses used were in all cases those doses recommended by the drug producer. The use of the different hormones was also included into the model, as fixed effect.

Cows were not subjected to ultrasound examinations to assure the absence of anestrus or ovarian diseases, prior to inclusion in the resynchronization protocol. Pregnancy diagnoses were performed by transrectal palpation or ultrasound between 28 and 45 days after TAI, without recording ovarian status, and the resynchronization protocol was started on the day of pregnancy diagnosis ± 3 days in all non-pregnant cows. However, actual interinsemination intervals were not available. At these farms where both protocols were used in parallel, the weekly basis was preferred. However, this distribution was not consistently followed, which explains the unbalanced amount of TAI (more G6G TAI than 5DO TAI). In these farms, four inseminators (one per farm) randomly performed all AIs. TAI performed in the other 25 farms were made by farm inseminators. No

synchronization rate data were available, and only second and later TAI after finished protocols were included.

This study included 1,368 s and later TAI (544 TAI in primiparous cows, 824 in multiparous cows). A total of 1,024 s and later TAI were recorded in animals resynchronized using G6G (600 TAI in multiparous cows and 424 in primiparous cows). A total of 344 s and later TAI were performed in animals resynchronized using 5DO (224 TAI in multiparous cows, 120 in primiparous cows). Finally, a total of 280 s and later TAI were performed during the hot season and 1,088 during the cool season. The included TAI depending on farm were Farm-1 with 519 TAI (47 after 5dO and 472 after G6G); Farm-2 with 648 TAI (163 after 5dO and 485 after G6G); Farm-3 with 31 TAI (5 after 5dO and 26 after G6G); and Farm-4 with 170 TAI (129 after 5dO and 41 after G6G).

The second subset of second and later TAI ($n = 2,098$) came from a total of 25 farms that only implemented one of the two protocols. These data were used to describe farm average conception rate (CR) results of those farms, without statistical comparisons among protocols (treatment was in this case cofounded with farm). G6G was exclusively implemented on 19 farms and 5DO on six farms.

All activities within the study were routine farm practices, with no ethical approval required following the European Union Directive 2010/63/UE.

2.2 | Outcomes and variables

Data were collected on parity (primiparous vs. multiparous) and season at TAI, with the hot season defined as June, September and October, and the cool season defined as November–May. No resynchronization protocols were carried out in July or August since temperatures during these months are usually too high and pregnancy rates too low to make synchronizations profitable. Interactions between parity and season as well as interactions among these factors and resynchronization protocol were also analysed.

2.3 | Statistical analyses

Data were analysed using SPSS® 22.0 (IBM, USA) to identify relationships among synchronization protocol, parity and season. The experimental unit was the TAI in the subset of TAI performed in the four farms, where both protocols were implemented in parallel. The statistical model including fixed effects of two resynchronization protocols (G6G vs. 5dO), season, parity, hormone brand and all interactions was applied, with farm as random variable. Binary data were analysed by logistic regression using a stepwise forward method based on the Wald statistic criterion of $p > 0.10$, to obtain the odds ratio values (OR) with associated 95% confidence interval (95%CI).

All data are reported as mean \pm SD and, where appropriate, as an odds ratio (OR) with associated 95% confidence interval (95%CI).

Data referred to the other subset of TAI were described as farm average conception rates and were considered relevant as example of farm extensive use of these hormonal protocols as resynchronization protocols.

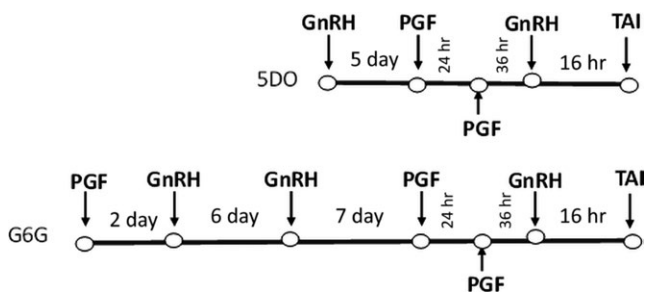


FIGURE 1 Schedule of hormonal treatments in lactating dairy cows according to the 5DO (5 days Ovsynch) and G6G resynchronization protocols, ending with second and later TAI. GnRH: gonadotropin-releasing hormone; PGF: prostaglandin $F_{2\alpha}$; TAI: timed artificial insemination. Non-pregnancy diagnosis was performed 0–3 days before beginning of the hormonal protocols

TABLE 1 Conception rates of second and later TAIs in primiparous and multiparous cows after G6G or 5DO resynchronization, stratified by season of insemination

	Resynch protocol	All year		Hot season		Cool season		p Value ^a
		TAI, n	% CR	TAI, n	% CR	TAI, n	% CR	
Herd	5DO	344	21.8 ± 9.7	65	20.0 ± 14.8	279	22.2 ± 8.1	0.098
	G6G	1,024	35.1 ± 10.7	215	19.1 ± 5.1	809	39.3 ± 7.3	<0.0001
	Total	1,368	31.7 ± 12.0	280	19.3 ± 8.4	1,088	34.9 ± 10.6	<0.0001
Prim	5DO	120	23.3 ± 14.4	17	23.5 ± 24.3	103	23.3 ± 12.3	0.952
	G6G	424	33.3 ± 9.7	115	20.0 ± 1.7	309	38.1 ± 6.3	<0.0001
	Total	544	31.1 ± 11.7	132	20.5 ± 8.7	412	34.4 ± 10.4	<0.0001
Mult	5DO	224	20.1 ± 5.7	48	18.8 ± 9.6	176	21.6 ± 3.9	0.002
	G6G	600	36.3 ± 11.2	100	18.0 ± 7.2	500	40.0 ± 7.8	<0.0001
	Total	824	32.1 ± 12.2	148	18.2 ± 8.0	676	35.2 ± 10.7	<0.0001

Notes. See Methods for detailed descriptions of the 5DO and G6G resynchronization protocols. Conception rates are reported as percentages (mean ± SD) of pregnancies per timed artificial insemination.

Herd: all animals; Mult: multiparous cows; Prim: primiparous cows; TAI: timed artificial insemination.

^aFor comparisons of conception rates during the hot or cool season.

3 | RESULTS

3.1 | Comparison between reproductive results after G6G versus 5DO hormonal protocols use for second and later TAIs

Mean conception rate was 31.7% ± 12.0% among all cows undergoing second and later TAIs, 35.1% ± 10.7% among cows resynchronized using the G6G protocol and 21.8% ± 9.7% among cows resynchronized using the 5DO protocol (Table 1). Parity did not significantly affect conception rate: it was 31.7% ± 11.7% among primiparous cows and 32.1% ± 12.2% among multiparous ones ($p = 0.098$).

Farm CR (%) was significantly different among farms ($p < 0.0001$) when analysed alone, with Farm-1 CR being 39.5% ± 10.4%; Farm-2 25.8% ± 6.2%; Farm-3 with 42.0% ± 28.8%; and Farm-4 28.8% ± 13.6%, but in the logistic regression model, when taking into account all other fixed effects, farm did not result significantly affecting CR values.

Logistic regression showed significant effects on conception rate in second and later TAIs by synchronization protocol (21.8 ± 9.7 vs. 35.1% ± 10.7% for 5DO and G6G, respectively; OR = 0.514; 95% CI 0.385–0.686; $p < 0.0001$) and season (19.3 ± 8.4 vs. 34.9% ± 10.6% for the hot and cool season, respectively; OR = 0.486; 95% CI 0.350–0.676; $p < 0.0001$). The factors “farm,” “parity,” “hormone brand” and any interaction among the factors did not influence the CR in the statistical model ($p > 0.1$).

3.2 | Descriptive reproductive data on second and later TAIs from 25 dairy cattle farms using G6G or 5DO hormonal protocols for resynchronization

Average farm conception rates including second and later TAIs performed during the all year ranged from 0.0% to 73.1% for all the cows and from 0% to 67% and 0% to 100% when divided into

multi- and primiparous subgroups, respectively. Mean farm conception rate was 38.2% ± 14.6% among all cows undergoing second and later TAIs, 28.2% ± 14.8% during the hot season and 40.9% ± 15.0% during the cool season. CR average values during the different seasons and depending on parity are resumed in Table 2.

3.3 | Estimated pregnancy rates

In order to estimate the theoretical reproductive efficiency (i.e., estimated maximal pregnancy risk or PR) based on the observed CR after each resynchronization protocol analysed in this study, CR values were multiplied by insemination rates, during each season as a function of when pregnancy was diagnosed after TAI (Table 3).

4 | DISCUSSION

This study suggests that season and resynchronization protocol, but not parity, affect conception rate during the second and later TAI in dairy commercial farms. Our results also suggest that the G6G resynchronization protocol, although long, may provide satisfactory conception and estimated pregnancy rates.

Productive farms aim to get the most cows pregnant in the shortest period of time following the voluntary waiting time (Poock, Horner, & Milhollin, 2009). This leads many farms to select shorter resynchronization protocols in order to intensify the reproductive rhythm (Giordano, Wiltbank, et al., 2013; Ribeiro, Galvão, Thatcher, & Santos, 2012). Our data suggest, and the theoretical figures recorded in Table 3, however, that a longer protocol can be as effective as a shorter one if the conception rate is higher enough to overcome longer interinsemination intervals. At the same time, the interval between TAI and pregnancy diagnosis

TABLE 2 Farm conception rates of second and later TAIs in primiparous and multiparous cows after G6G or 5DO resynchronization, stratified by season of insemination^a

	Resynch protocol	All year		Hot season		Cool season		p Value ^b
		Farms, n	% CR	Farms, n	% CR	Farms, n	% CR	
Herd	5DO	6	31.1 ± 4.9	3	27.8 ± 16.8	6	32.6 ± 4.0	0.713
	G6G	19	40.4 ± 16.3	13	28.5 ± 15.6	19	43.3 ± 16.7	0.04
	Total	25	38.2 ± 14.6	16	28.2 ± 14.8	25	40.9 ± 15.0	0.038
Prim	5DO	5	24.6 ± 15.6	3	29.2 ± 26.0	5	25.4 ± 16.0	0.940
	G6G	18	45.7 ± 24.8	12	31.0 ± 25.4	18	48.2 ± 24.7	0.163
	Total	23	41.0 ± 23.9	15	30.4 ± 23.8	23	43.3 ± 24.2	0.282
Mult	5DO	6	37.5 ± 15.5	3	26.5 ± 7.7	6	39.8 ± 15.3	0.438
	G6G	19	37.5 ± 12.7	13	27.1 ± 10.9	19	41.0 ± 14.2	0.014
	Total	25	37.5 ± 12.8	16	26.8 ± 9.8	25	40.8 ± 13.9	0.005

Notes. See Methods for detailed descriptions of the 5DO and G6G resynchronization protocols. Conception rates are reported as percentages (mean ± SD) of pregnancies per timed artificial insemination.

Herd: all animals; Mult: multiparous cows; Prim: primiparous cows; TAI: timed artificial insemination.

^aDue to the non-experimental design, and because each farm implemented a different synchronization protocol and treatment is confounded with farm, no comparison is made and protocols. ^bFor comparisons of conception rates during the hot or cool season.

TABLE 3 Estimated, theoretical pregnancy rates in cows resynchronized with 5DO or G6G protocols, stratified by season of timed artificial insemination and by number of days after TAI that pregnancy was diagnosed

Protocol	Days at PD	Length (day)	TAI-TAI (day)	IR	All year		Hot season		Cool season	
					CR	PR	CR	PR	CR	PR
5DO	27	8	35	60%	22%	13.20%	20%	12.00%	22%	13.20%
G6G	27	18	45	47%	35%	16.45%	20%	9.40%	39%	18.33%
5DO	31	8	39	54%	22%	11.88%	20%	10.80%	22%	11.88%
G6G	31	18	49	43%	35%	15.05%	20%	8.60%	39%	16.77%
5DO	34	8	42	50%	22%	11.00%	20%	10.00%	22%	11.00%
G6G	34	18	52	40%	35%	14.00%	20%	8.00%	39%	15.60%
5DO	38	8	46	46%	22%	10.12%	20%	9.20%	22%	10.12%
G6G	38	18	56	38%	35%	13.30%	20%	7.60%	39%	14.82%
5DO	41	8	49	43%	22%	9.46%	20%	8.60%	22%	9.46%
G6G	41	18	59	36%	35%	12.60%	20%	7.20%	39%	14.04%

Notes. See Methods for detailed descriptions of the 5DO and G6G resynchronization protocols.

CR: conception rate (pregnancies per TAI); Days at PD: number of days between TAI and pregnancy diagnosis; IR: insemination rate (21 days/TAI-TAI); Length (day): number of days between the start of the resynchronization protocol and subsequent TAI; PR: estimated pregnancy rate; TAI: timed artificial insemination; TAI-TAI: minimal interval in days between TAIs.

is important: the later that pregnancy is diagnosed, the more the estimated pregnancy rate with either protocol is influenced by the expected conception rate (Table 3), and less by the interval between inseminations. Although actual interinsemination intervals were not available, our results confirm previous studies demonstrating the importance of the interval between TAI and pregnancy diagnosis (Giordano, Stangaferro, Wijma, Chandler, & Watters, 2015; Sinedino, Lima, Bisinotto, Cerri, & Santos, 2014; Wljma, Stangaferro, Masello, Granados, & Giordano, 2017).

The average conception rate observed after the 5DO protocol in our study is lower than the 34.7% or 45.3% reported by other authors in the absence of heat stress (Colazo & Ambrose, 2015; Motavalli et

al., 2017). This discrepancy may be due to the heat stress factor, always present in Spain, where all the farms were placed. However, we have to highlight the large variation range of CRs across the farms in our study, which can make that these lower rates were not real.

Mean conception rate after the longer presynchronization protocol such as G6G is expected to be over 30%, as found in our study. Subluteal progesterone (P4) concentrations worsen ovulatory follicle development and subsequent fertility in cattle (Revah & Butler, 1996). On the other hand, high P4 concentrations at the AI due to inadequate CL regression may interfere with semen transport and fertilization (Graham & Clarke, 1997) and also impair the normal ovulation process (Bridges & Fortune, 2003) resulting in reduced

fertility (Behrouzi, López-Helguera, Mapletoft, Ambrose, & Colazo, 2016; Giordano, Wiltbank, et al., 2012; Lopes et al., 2013). The inclusion of a presynchronization of the oestrous cycle before TAI and the application of two doses of prostaglandin before TAI can solve in some extent those problems. The presynchronization step in the G6G protocol induces optimal conditions for the Ovsynch injections (Sterry, Welle, & Fricke, 2006). This presynchronization may have been particularly beneficial in the present study, which included cows that failed to become pregnant after one previous artificial insemination, regardless of the cycle stage of the ovaries. Another explanation is that protocols such as G6G that optimize the physiological milieu in the uterus before TAI can overcome problems of anovularity or physiological limitations that preclude cycling (Bello et al., 2006; Bisinotto et al., 2010; Dewey et al., 2010; Giordano, Fricke, & Cabrera, 2013). Therefore, a better CR after G6G protocol than after 5DO was expected. Moreover, recent studies proposed a differentiated resynchronization strategy, based on the ovarian status, that is the presence of a corpus luteum ≥ 15 mm and a follicle ≥ 10 mm at the time of pregnancy diagnosis. The new strategy did not enhance conception rate but reduced time to pregnancy because of a reduction of the TAI-TAI interval for cows with a CL at pregnancy diagnosis (Wijma et al., 2017). This study highlights again the relevance of the interval TAI-TAI when deciding resynchronization programs in dairy cows.

In our study, the conception rate was significantly lower in the hot season ($19.3\% \pm 8.4\%$) than in the cool season ($34.9\% \pm 10.6\%$; $p < 0.0001$) independently from parity and synchronization protocol. Similar results have been reported by others (De Rensis & Scaramuzzi, 2003), including in cows undergoing a second and later insemination (Giordano, Wiltbank, et al., 2012). Multiple physiological mechanisms are likely to explain this relationship between conception rate and season (Hansen & Arechiga, 1999). In general, it is complicated to overcome the several physical effects triggered by the heat stress on the ovarian and uterine structures exclusively with hormonal strategies. Several TAI strategies have been proposed as hormonal therapy to mitigate decreased conception rates in hot season (reviewed by De Rensis et al., 2015; Dirandeh, Roodbari, & Colazo, 2015; Dirandeh, Roodbari, Gholizadeh, et al., 2015; Voelz, Rocha, Scortegagna, Stevenson, & Mendonça, 2016). For example, the practice of administering GnRH repeatedly in the autumn (after the hot season) in order to accelerate follicular turnover and thereby enhance fertility has been described (Friedman, Voet, Reznikov, Dagoni, & Roth, 2014; Roth, Bor, Braw-Tal, & Wolfenson, 2004). However, other strategies have failed to improve fertility in heat stressed cows (Patron-Collantes et al., 2017). In our study, we could neither detect any statistically significant interaction between protocol and season, suggesting no positive effect of the hormonal protocols included in this study on the CR of second and more TAIs.

We did not observe any effect of parity on conception rate during the second and later TAIs, in contrast to numerous studies showing that primiparous cows are more fertile than multiparous ones at the first insemination (Lima et al., 2012), and in contrast to at least one

study showing greater fertility in primiparous cows than multiparous ones at second and later inseminations (Sterry et al., 2006). Our study is not alone in this regard: other studies have observed similar conception rates between primiparous and multiparous cows after resynchronization and TAI (Dewey et al., 2010; Forro et al., 2015). This has even been observed with the Double Ovsynch resynchronization protocol (Giordano, Fricke, et al., 2013), even though this protocol, when used at the first insemination, leads to a notably higher conception rate in primiparous cows than in multiparous cows (Astiz & Fargas, 2013; Souza, Ayres, Ferreira, & Wiltbank, 2008). The relationship between parity and fertility is poorly understood and likely to be complex. For example, one study has reported higher fertility in cows with three or more lactations than in cows with one or two (Alkar, Tibary, Wenz, Nebel, & Kasimanickam, 2011). Parity has different effects on fertility. According to El-Razek, Genedy, and Zaghoul (2018), the conception rate decreases in multiparous cows, after being synchronized with G6G coinciding with Yusuf, Latief-Toleng, Prawira-Rahardja, Ako, and Sahiruddin-Eriansyah (2017) and the studies of LeBlanc et al (2002), in which it is suggested that the decrease in the CR is due to the higher risk in multiparous cows of suffering clinical endometritis. Yusuf et al. (2010) also suggest that cows with more than four births have more services per conception DeVries, Holtshausen, Oba, and Beauchemin (2011) adds the role of the Negative Energy Balance, which affects more intensively multiparous than primiparous cows. In turn, it has been observed that the increase in parity causes a significant enlargement in days open (Elmetwally et al., 2016), but not in the return to ovarian activity after calving.

However, not many studies focus on the difference in CR associated with parity when only second and later TAIs are observed (Dewey et al., 2010; Forro et al., 2015). One explanation for a lack of effect of parity on conception rate specifically at second and later TAIs is that primiparous cows have lost certain advantages of reproductive physiology from not having produced milk before. One study reporting similar conception rates between primiparous and multiparous cows (Dewey et al., 2010) found smaller dominant follicles and less luteal tissue in resynchronized cycles of primiparous cows than in multiparous cows. Reduced levels of progesterone in the circulation prior to artificial insemination have been linked to lower fertility in lactating dairy cows (Bisinotto et al., 2015), and the extent of progesterone reduction correlates with high milk yield and daily dry matter intake (Sartori, Haughian, Shaver, Rosa, & Wiltbank, 2004). Primiparous cows produce less total and peak milk than multiparous cows but have greater lactational persistency (Lean, Galland, & Scott, 1989), and they may show a more negative energy balance. This leads us to hypothesize that after primiparous cows have produced high levels of milk for a certain time—which was the case of the cows in our study—their reproductive physiology matches that of their multiparous counterparts, resulting in similar conception rates. Further studies are required to explore this hypothesis.

A strength of the present study is that it describes a scarcely used resynchronization protocol (G6G) in a large number of inseminations

across commercial dairy farms, making it more likely to indicate actual efficacy, independent of farm effects and a prolonged interinsemination interval. Moreover, it detects a lack of effect the factor parity at these second or later TAIs. Limiting the ability of our results to guide protocol selection is the retrospective, observational design of the study. As a result, we could not control for other factors that influence conception rate after resynchronization, such as body condition score (Forro et al., 2015), somatic cell count, number of inseminations or days in milk at insemination (Giordano et al., 2015). Finally, we did not record early pregnancy loss rates, which can heavily influence decisions to use one or another resynchronization protocol on farms (Giordano, Kalantari, Fricke, Wiltbank, & Cabrera, 2012).

Despite these disadvantages, the large number of TAIs in this study gives it sufficient statistical power to derive robust conclusions about resynchronization, season, parity and their interactions in the absence of local, farm-specific confounding factors. In this sense, the pregnancy rates that we estimated based on timing of first pregnancy diagnosis, protocol and season may be a useful “rough guide” for farms when choosing a resynchronization protocol based on their own records.

5 | CONCLUSIONS

With this study, a rarely used “G6G” hormonal protocol is demonstrated to effectively resynchronize herds and increase the options available for artificial insemination. We also provide evidence that hormonal protocol and season but not parity should be considered when designing strategies for second and later timed artificial inseminations.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Emili Calvet and Francisco Sebastián for their assistance during the study, as well as Iagoba Cano and Pedro Cuesta (Department of Research Support, Complutense University of Madrid) for help with statistical analyses.

CONFLICT OF INTEREST

Authors have no conflict to declare.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

RP and AS designed data collecting and study design. RP, ILH and JL PP collected data. JH, JVG, OF and SA processed farm and global data. RP, NPV, OF and SA wrote manuscript, and all authors revised it until its final version.

ORCID

Susana Astiz  <http://orcid.org/0000-0002-9718-0903>

REFERENCES

- Alkar, A., Tibary, A., Wenz, J. R., Nebel, R. L., & Kasimanickam, R. (2011). Presynchronization with GnRH 7 days prior to resynchronization with CO-Synch did not improve pregnancy rate in lactating dairy cows. *Theriogenology*, *76*, 1036–1041. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011.05.006>
- Astiz, S., & Fargas, O. (2013). Pregnancy per AI differences between primiparous and multiparous high-yield dairy cows after using Double Ovsynch or G6G synchronization protocols. *Theriogenology*, *79*, 1065–1070. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.01.026>
- Behrouzi, A., López-Helguera, I., Mapletoft, R. J., Ambrose, D. J., & Colazo, M. G. (2016). Plasma progesterone concentration at TAI in dairy cows: what is low enough? Proceedings of the 18th International Congress on Animal Reproduction, 26–30 June 2016, Tours, France.
- Bello, N. M., Steibel, J. P., & Pursley, J. R. (2006). Optimizing ovulation to first GnRH improved outcomes to each hormonal injection of ovsynch in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *89*, 3413–3424. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72378-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72378-5)
- Bisinotto, R. S., Castro, L. O., Pansani, M. B., Narciso, C. D., Martinez, N., Sinedino, L. D., ... Fair, T. (2015). Progesterone supplementation to lactating dairy cows without a corpus luteum at initiation of the Ovsynch protocol. *Journal of Dairy Science*, *98*, 2515–2528. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9058>
- Bisinotto, R. S., Ribeiro, E. S., Martins, L. T., Marsola, R. S., Greco, L. F., Favoreto, M. G., ... Santos, J. E. (2010). Effect of interval between induction of ovulation and artificial insemination (AI) and supplemental progesterone for resynchronization on fertility of dairy cows subjected to a 5-d timed AI program. *Journal of Dairy Science*, *93*, 5798–5808. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3516>
- Bridges, P. J., & Fortune, J. E. (2003). Characteristics of developing prolonged dominant follicles in cattle. *Domestic Animal Endocrinology*, *25*, 199–214. [https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(03\)00053-5](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(03)00053-5)
- Cartmill, J. A., El-Zarkouny, S. Z., Hensley, B. A., Rozell, T. G., Smith, J. F., & Stevenson, J. S. (2001). An alternative AI breeding protocol for dairy cows exposed to elevated ambient temperatures before or after calving or both. *Journal of Dairy Science*, *84*, 799–806. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74536-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74536-5)
- Colazo, M. G., & Ambrose, D. J. (2015). Effect of initial GnRH and duration of progesterone insert treatment on the fertility of lactating dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*, *50*, 497–504. <https://doi.org/10.1111/rda.12518>
- Colazo, M. G., & Mapletoft, R. J. (2014). A review of current timed-AI (TAI) programs for beef and dairy cattle. *The Canadian Veterinary Journal*, *55*, 772–780.
- De Kruijff, A. (1978). Factors influencing the fertility of a cattle population. *Journal of Reproduction and Fertility*, *54*, 507–518. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0540507>
- De Rensis, F., Garcia-Ispuerto, I., & Lopez-Gatius, F. (2015). Seasonal heat stress: Clinical implications and hormone treatments for the fertility of dairy cows. *Theriogenology*, *84*, 659–666. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.04.021>
- De Rensis, F., & Scaramuzzi, R. J. (2003). Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow – A review. *Theriogenology*, *60*, 1139–1151. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(03\)00126-2](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(03)00126-2)
- DeVries, T. J., Holtshausen, L., Oba, M., & Beauchemin, K. A. (2011). Effect of parity and stage of lactation on feed sorting behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *94*, 4039–4045. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4264>
- Dewey, S. T., Mendonca, L. G., Lopes, G. Jr, Rivera, F. A., Guagnini, F., Chebel, R. C., & Bilby, T. R. (2010). Resynchronization strategies to improve fertility in lactating dairy cows utilizing a presynchronization injection of GnRH or supplemental progesterone: I. Pregnancy

- rates and ovarian responses. *Journal of Dairy Science*, 93, 4086–4095. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3233>
- Dirandeh, E., Roodbari, A. R., & Colazo, M. G. (2015). Double-Ovsynch, compared with presynch with or without GnRH, improves fertility in heat-stressed lactating dairy cows. *Theriogenology*, 83(3), 438–443. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.10.011>
- Dirandeh, E., Roodbari, A. R., Gholizadeh, M., Deldar, H., Masoumi, R., Kazemifard, M., & Colazo, M. G. (2015). Administration of prostaglandin F_{2α} 14 d before initiating a G6G or a G7G timed artificial insemination protocol increased circulating progesterone prior to artificial insemination and reduced pregnancy loss in multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 98, 5414–5421. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9417>
- Elmetwally, M. A., Montaser, A., Elsadany, N., Bedir, W., Hussein, M., & Zaabel, S. (2016). Effects of parity on postpartum fertility parameters in Holstein dairy cows. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*, 9, 91–99. <https://doi.org/10.9790/2380-0908029199>
- El-Razek, E. M. A., Genedy, T. M., & Zaghloul, A. H. (2018). Effect of parity and milk production on conception rate after G6G or Ovsynch protocols in dairy cows. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*, 57, 46–51. <https://doi.org/10.5455/ajvs.246155>
- Forro, A., Tsousis, G., Beindorff, N., Sharifi, A. R., Brozos, C., & Bollwein, H. (2015). Factors affecting the success of resynchronization protocols with or without progesterone supplementation in dairy cows. *Journal of Veterinary Science*, 16, 121–126. <https://doi.org/10.4142/jvs.2015.16.1.121>
- Friedman, E., Voet, H., Reznikov, D., Dagoni, I., & Roth, Z. (2014). Hormonal treatment before and after artificial insemination differentially improves fertility in subpopulations of dairy cows during the summer and autumn. *Journal of Dairy Science*, 97, 7465–7475. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-7900>
- García-Ispuerto, I., López-Gatius, F., Bech-Sabat, G., Santolaria, P., Yáñez, J. L., Nogareda, C., ... López-Béjar, M. (2007). Climate factors affecting conception rate of high producing dairy cows in northeastern Spain. *Theriogenology*, 67, 1379–1385. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.02.009>
- Giordano, J. O., Fricke, P. M., & Cabrera, V. E. (2013). Economics of resynchronization strategies including chemical tests to identify non-pregnant cows. *Journal of Dairy Science*, 96, 949–961. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5704>
- Giordano, J. O., Kalantari, A. S., Fricke, P. M., Wiltbank, M. C., & Cabrera, V. E. (2012). A daily herd Markov-chain model to study the reproductive and economic impact of reproductive programs combining timed artificial insemination and estrus detection. *Journal of Dairy Science*, 95, 5442–5460. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4972>
- Giordano, J. O., Stangafarro, M. L., Wijma, R., Chandler, W. C., & Watters, R. D. (2015). Reproductive performance of dairy cows managed with a program aimed at increasing insemination of cows in estrus based on increased physical activity and fertility of timed artificial inseminations. *Journal of Dairy Science*, 98, 2488–2501. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8961>
- Giordano, J. O., Wiltbank, M. C., Fricke, P. M., Bas, S., Pawlisch, R., Guenther, J. N., & Nascimento, A. B. (2013). Effect of increasing GnRH and PGF_{2α} dose during Double-Ovsynch on ovulatory response, luteal regression, and fertility of lactating dairy cows. *Theriogenology*, 80, 773–783. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.07.003>
- Giordano, J. O., Wiltbank, M. C., Guenther, J. N., Pawlisch, R., Bas, S., Cunha, A. P., & Fricke, P. M. (2012). Increased fertility in lactating dairy cows resynchronized with Double-Ovsynch compared with Ovsynch initiated 32 d after timed artificial insemination. *Journal of Dairy Science*, 95, 639–653. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4418>
- Graham, J. D., & Clarke, C. L. (1997). Physiological action of progesterone in target tissues. *Endocrine Reviews*, 18, 502–519. <https://doi.org/10.1210/edrv.18.4.0308>
- Hansen, P. J., & Arechiga, C. F. (1999). Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairy cow. *Journal of Animal Science*, 77(Suppl 2), 36–50.
- Heidari, F., Dirandeh, E., Ansari Pirsaraei, Z., & Colazo, M.-G. (2017). Modifications of the G6G timed-AI protocol improved pregnancy per AI and reduced pregnancy loss in lactating dairy cows. *Animal*, 2017, 2002–2009. <https://doi.org/10.1017/S1751731117000520>
- Lean, I. J., Galland, J. C., & Scott, J. L. (1989). Relationships between fertility, peak milk yields and lactational persistency in dairy cows. *Theriogenology*, 31, 1093–1103. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(89\)90493-7](https://doi.org/10.1016/0093-691X(89)90493-7)
- LeBlanc, S. J., Duffield, T. E., Leslie, K. E., Bateman, K. G., Keefe, G. P., Walton, J. S., & Johnson, W. H. (2002). Defining and diagnosing postpartum clinical endometritis and its impact on reproductive performance in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 85, 2223–2236. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74302-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74302-6)
- Lima, F. S., Bisinotto, R. S., Ribeiro, E. S., Ayres, H., Greco, L. F., Galvao, K. N., ... Santos, J. E. (2012). Effect of one or three timed artificial inseminations before natural service on reproductive performance of lactating dairy cows not observed for detection of estrus. *Theriogenology*, 77, 1918–1927. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.01.011>
- Lopes, G. Jr, Giordano, J. O., Valenza, A., Herlihy, M. M., Guenther, J. N., Wiltbank, M. C., & Fricke, P. M. (2013). Effect of timing of initiation of resynchronization and presynchronization with gonadotropin-releasing hormone on fertility of resynchronized inseminations in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96, 3788–3798. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6429>
- Lopez-Helguera, I., Lopez-Gatius, F., & Garcia-Ispuerto, I. (2012). The influence of genital tract status in postpartum period on the subsequent reproductive performance in high producing dairy cows. *Theriogenology*, 77, 1334–1342. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011.10.038>
- Marques Mde, O., Morotti, F., da Silva, C. B., Junior, M. R., da Silva, R. C., Baruselli, P. S., & Seneda, M. M. (2015). Influence of category-heifers, primiparous and multiparous lactating cows-in a large-scale resynchronization fixed-time artificial insemination program. *Journal of Veterinary Science*, 16, 367–371. <https://doi.org/10.4142/jvs.2015.16.3.367>
- NRC. (2001). National Research Council Nutrient Requirements of Dairy Cattle (7th rev ed). In *National Academy of Sciences* (pp. 13–27). Washington, DC: National Academy Press.
- Motavalli, T., Dirandeh, E., Deldar, H., & Colazo, M. G. (2017). Evaluation of shortened timed-AI protocols for resynchronization of ovulation in multiparous Holstein dairy cows. *Theriogenology*, 95, 187–192. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.03.003>
- Patron-Collantes, R., Lopez-Helguera, I., Pesantez-Pacheco, J. L., Sebastian, F., Fernández, M., Fargas, O., & Astiz, S. (2017). Early postpartum administration of equine chorionic gonadotropin to dairy cows calved during the hot season: Effects on fertility after first artificial insemination. *Theriogenology*, 92, 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.01.019>
- Poock, S., Horner, J., & Milhollin, R. (2009). Dairy growth council's dairy cattle reproductive manual (pp. 5–9). Program, U.o.M.E.C.A. Missouri.
- Pursley, J. R., Mee, M. O., & Wiltbank, M. C. (1995). Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF_{2α} and GnRH. *Theriogenology*, 44, 915–923. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(95\)90040-4](https://doi.org/10.1016/0093-691X(95)90040-4)
- Revah, I., & Butler, W. R. (1996). Prolonged dominance of follicles and reduced viability of bovine oocytes. *Journal of Reproduction and Fertility*, 106, 39–47. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1060039>
- Ribeiro, E. S., Galvão, K. N., Thatcher, W. W., & Santos, J. E. P. (2012). Economic aspects of applying reproductive technologies to dairy herds. *Animal Reproduction*, 9, 370–387.

- Roelofs, J., Lopez-Gatiús, F., Hunter, R. H., van Eerdenburg, F. J., & Hanzen, C. (2010). When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Theriogenology*, *74*, 327–344. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.02.016>
- Roth, Z., Bor, A., Braw-Tal, R., & Wolfenson, D. (2004). Carry-over effect of summer thermal stress on characteristics of the preovulatory follicle of lactating cows. *Journal of Thermal Biology*, *29*, 681–685. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2004.08.040>
- Roth, Z., Meidan, R., Shaham-Albalancy, A., Braw-Tal, R., & Wolfenson, D. (2001). Delayed effect of heat stress on steroid production in medium-sized and preovulatory bovine follicles. *Reproduction*, *121*, 745–751. <https://doi.org/10.1530/rep.0.1210745>
- Santos, J. E., Narciso, C. D., Rivera, F., Thatcher, W. W., & Chebel, R. C. (2010). Effect of reducing the period of follicle dominance in a timed artificial insemination protocol on reproduction of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *93*, 2976–2988. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2870>
- Sartori, R., Haughian, J. M., Shaver, R. D., Rosa, G. J., & Wiltbank, M. C. (2004). Comparison of ovarian function and circulating steroids in estrous cycles of Holstein heifers and lactating cows. *Journal of Dairy Science*, *87*, 905–920. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73235-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73235-X)
- Silva, E., Sterry, R. A., Kolb, D., Mathialagan, N., McGrath, M. F., Ballam, J. M., & Fricke, P. M. (2009). Effect of interval to resynchronization of ovulation on fertility of lactating Holstein cows when using transrectal ultrasonography or a pregnancy-associated glycoprotein enzyme-linked immunosorbent assay to diagnose pregnancy status. *Journal of Dairy Science*, *92*, 3643–3650. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1704>
- Sinedino, L. D., Lima, F. S., Bisinotto, R. S., Cerri, R. L., & Santos, J. E. (2014). Effect of early or late resynchronization based on different methods of pregnancy diagnosis on reproductive performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *97*, 4932–4941. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7887>
- Souza, A. H., Ayres, H., Ferreira, R. M., & Wiltbank, M. C. (2008). A new presynchronization system (Double-Ovsynch) increases fertility at first postpartum timed AI in lactating dairy cows. *Theriogenology*, *70*, 208–215. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.03.014>
- Sterry, R. A., Welle, M. L., & Fricke, P. M. (2006). Effect of interval from timed artificial insemination to initiation of resynchronization of ovulation on fertility of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *89*, 2099–2109. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72280-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72280-9)
- Stevenson, J. S., & Pulley, S. L. (2012). Pregnancy per artificial insemination after presynchronizing estrous cycles with the Presynch-10 protocol or prostaglandin F_{2α} injection followed by gonadotropin-releasing hormone before Ovsynch-56 in 4 dairy herds of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *95*, 6513–6522. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5707>
- Voelz, B. E., Rocha, L., Scortegagna, F., Stevenson, J. S., & Mendonça, L. G. D. (2016). Treatment of lactating dairy cows with gonadotropin-releasing hormone before first insemination during summer heat stress. *Journal of Dairy Science*, *99*, 7612–7623. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10970>
- Wijma, R., Stangaferro, M. I., Masello, M., Granados, G. E., & Giordano, J. O. (2017). Resynchronization of ovulation protocols for dairy cows including or not including gonadotropin-releasing hormone to induce a new follicular wave: Effects on re-insemination pattern, ovarian responses, and pregnancy outcomes. *Journal of Dairy Science*, *100*, 7613–7625. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12550>
- Wiltbank, M. C., Baez, G. M., Cochrane, F., Barletta, R. V., Trayford, C. R., & Joseph, R. T. (2015). Effect of a second treatment with prostaglandin F_{2α} during the Ovsynch protocol on luteolysis and pregnancy in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *98*, 8644–8654. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9353>
- Yousuf, M. R., Martins, J. P., Ahmad, N., Nobis, K., & Pursley, J. R. (2016). Presynchronization of lactating dairy cows with PGF_{2α} and GnRH simultaneously, 7 days before Ovsynch have similar outcomes compared to G6G. *Theriogenology*, *86*, 1607–1614. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.05.021>
- Yusuf, M., Latief-Toleng, A., Prawira-Rahardja, D., Ako, A., & Sahiruddin-Eriansyah, A. (2017). Reproductive performance of dairy cows at different parities (A Case Study in Enrekang Regency, Indonesia). *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, *4*, 331–334. <https://doi.org/10.18178/joaat.4.4.331-334>
- Yusuf, M., Nakao, T., Ranasinghe, R. B., Gautam, G., Long, S. T., Yoshida, C., ... Hayashi, A. (2010). Reproductive performance of repeat breeders in dairy herds. *Theriogenology*, *73*(9), 1220–1229. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.01.016>

How to cite this article: Patron R, Lopez-Helguera I, Pesantez-Pacheco JL, et al. Resynchronization with the G6G protocol: A retrospective, observational study of second and later timed artificial inseminations on commercial dairy farms. *Reprod Dom Anim*. 2018;00:1–9. <https://doi.org/10.1111/rda.13343>

DISCUSIÓN

DISCUSIÓN

Son diversos los factores que intervienen en la eficiencia de una granja bovina de leche y las opiniones de los autores en cuanto a la importancia o influencia de estos, también son variados. Factores como la gestión de la salud del rebaño (Derks *et al.*, 2014), la alimentación (Siberski-Cooper *et al.*, 2021) o el bienestar animal (Allendorf *et al.*, 2015) son primordiales. En la presente tesis doctoral hemos querido hacer un mayor énfasis en el manejo reproductivo, que también se considera un factor esencial en la eficiencia (Cardoso Consentini *et al.*, 2020) y, de hecho, supone la principal preocupación a nivel mundial de la industria lechera para determinar y prever la rentabilidad de una granja (Kim *et al.*, 2019). La eficiencia reproductiva permite seleccionar aquellos animales genéticamente mejores, aumenta la producción de leche individual y disminuye el desecho voluntario, lo que alarga la vida útil de las vacas y redundando en una producción de leche más sostenible (Dallago *et al.*, 2021; Yusuf *et al.*, 2011).

La necesidad de leche en la población mundial va en aumento, mientras que la situación actual del sector (materias primas de baja disponibilidad y a un coste muy alto, consideraciones medioambientales, etc.) promueve una mayor intensificación para la supervivencia de los sistemas productivos en el mercado. Por esta razón, el número de granjas y animales totales disminuye, pero la producción se concentra en granjas más grandes, salvando la polémica de las macrogranjas (Redacción Revista Frisona Española, 3 de febrero de 2022; noticias rtve 12.01.22; Cedrón M, 2022; Diario La voz de Galicia 10.01.22.).

Son diversos los estudios que consideran el impacto negativo de la intensificación lechera en distintos ámbitos: el medio ambiente (Del Prado *et al.*, 2013), el bienestar animal (Koeck *et al.*, 2014), la salud humana (Westhoek *et al.*, 2014) y los medios de vida rurales (Flaten, 2003). Sin embargo, hemos querido centrarnos en granjas de producción intensiva, no solo como una visión de la futura situación del sector, sino porque la producción intensiva puede suponer el equilibrio entre el abastecimiento de las necesidades de leche mundiales y la sostenibilidad de todos los aspectos que caracterizan a una granja (producción, alimentación, genética y bienestar animal; Britt *et al.*, 2021). Por otro lado, estamos convencidos de que la producción intensiva no tiene por qué estar ligada a situaciones negativas de bienestar o impacto medioambiental, refiriéndonos a lo que se conoce como intensificación sostenible, cuyo objetivo es aumentar la productividad disminuyendo los efectos negativos ambientales asociados a las prácticas agrícolas habituales (Garnett *et al.*, 2013; Gerssen-Gondelach *et al.*, 2017; Clark y Tilman, 2017;

Capper y Cady, 2020; Balaine *et al.*, 2020) y puede ser una gran solución en diferentes regiones, donde otro tipo de producción agraria no es factible (Monteiro Novo *et al.*, 2013).

Así pues, el objetivo general de esta tesis doctoral consistió en la evaluación del efecto de distintas estrategias de manejo reproductivo en vacas de leche de alta producción españolas sobre la eficiencia de las granjas, centrándonos en algunos aspectos concretos. Para ello se abordó el proceso reproductivo de las vacas desde el momento postparto hasta su inseminación, posterior diagnóstico de gestación y reinseminación, en caso de un diagnóstico negativo.

El aumento de la temperatura media global es indiscutible (Calleja-Agius *et al.*, 2020), al igual que lo es su efecto sobre el estado general, la productividad y la reproducción de los animales, por lo que hacer frente al estrés por calor es imperante (Huber *et al.*, 2020; Morrell, 2020; Gauly y Ammer, 2020). La estrategia inmediata para mitigar la disminución de la fertilidad debido al estrés por calor en vacas de alta producción es el enfriamiento eficiente de los animales mediante ventiladores y aspersores (Roth, 2020). Sin embargo, aunque el enfriamiento es fundamental; por sí solo no es suficiente para disminuir los efectos del estrés por calor en la reproducción. Puede complementarse con modificaciones de la alimentación, disminución de las tasas de enfermedad y mastitis, inseminación artificial a tiempo fijo (IATF), transferencia de embriones y el uso de distintas hormonas (Samad *et al.*, 2020). De hecho, puesto que los efectos del estrés por calor en la reproducción son tan complejos, algunos autores sugieren que es más beneficioso un manejo reproductivo integral durante el verano con tratamientos hormonales adicionales para mejorar el rendimiento reproductivo durante el verano (Roth, 2022). Este mismo autor indica que el manejo hormonal será exitoso siempre que las vacas mantengan la normotermia durante la mayor parte de las horas del día. Dada la relevancia de este factor, nuestro primer estudio se basó en la manipulación hormonal en condiciones de estrés por calor, dado lo prometedor de las evidencias científicas publicadas sobre el uso de eCG para la mejora de la fertilidad, bajo estas circunstancias. Según diversos estudios, la eCG beneficia el desarrollo y la supervivencia del embrión y puede facilitar la reanudación temprana de la actividad ovárica al mejorar el crecimiento del folículo ovárico y la ovulación temprana (García-Ispierto *et al.*, 2013; García-Ispierto *et al.*, 2013; De Rensis *et al.*, 2014; De Rensis *et al.*, 2015; Vojgani *et al.*, 2013). Nuestro primer estudio buscaba comprobar si la administración de eCG en el postparto temprano durante épocas de calor, podría mitigar la reducción de la fertilidad asociada normalmente al estrés por calor y más en concreto, a una mejor y más acelerada recuperación de la ciclicidad postparto en condiciones de estrés térmico. Para que nuestras conclusiones fueran consistentes sobre los efectos observados de la eCG, medimos la actividad

ovárica y la salud uterina directamente para observar si había mejoría o si la reanudación de la actividad ovárica se aceleraba. Sin embargo, contrariamente a nuestra hipótesis, nuestros resultados, indican que la administración de eCG en los días 11–17 posteriores al parto no mejora la tasa de concepción después de la primera IA ni la tasa de pérdida de gestación en el día 60 después de la IA en vacas lecheras de alta producción que habían parido durante la estación calurosa. Todo ello destaca la necesidad de realizar estudios para examinar en qué condiciones el tratamiento con eCG puede ser efectivo y en general, con cualquier hormona, quedando pendientes estudios sobre otros productos hormonales que puedan aportar beneficios como la progesterona (con GnRH previa a la IA y un enfriamiento adecuado en todo momento) la gonadotropina coriónica humana (hCG; López-Gatius *et al.*, 2006; Willard *et al.*, 2003; Shiff *et al.*, 2018), la GnRH post-IA, ya que estudios indican que mejora las tasas de concepción en verano y otoño (Friedman *et al.*, 2014) o la somatotropina bovina (bST). Diversos estudios muestran que el uso de bST en las primeras inseminaciones tras el parto, bien en programas de IATF o a celo visto mejoran las tasas de preñez y disminuyen las de muerte embrionaria temprana entre los días 31 y 45 después de la IA, debido a que mejora la calidad del embrión y su desarrollo (Moore y Thatcher, 2006; Ribeiro *et al.*, 2014). Quizá la opción sea planificar bien la reproducción como solución definitiva a largo plazo para mejorar la tolerancia al estrés por calor y la fertilidad (Sammad *et al.*, 2019).

De hecho, se ha demostrado que la exposición al estrés por calor en novillas y vacas compromete su estado inmunológico, lo que va mucho más allá del efecto estrictamente reproductivo (Dahl *et al.*, 2016, 2020; Monteiro *et al.*, 2014, 2016; Tang *et al.*, 2022). Más allá, parece ser que el efecto del estrés por calor sufrido por el feto mientras lo padece su madre gestante puede dar lugar a menores tasas de éxito reproductivo y productivo posterior de la hija (Chávez *et al.*, 2020) e incluso, es posible que de generaciones posteriores (Ouellet *et al.*, 2021). De manera que esta situación se debe mejorar mediante el enfriamiento de las novillas y vaca, durante el parto y en periodo seco (últimas fases de gestación) para controlar el estrés por calor en el feto (do Amaral *et al.*, 2011.; Fabris *et al.*, 2019; Dahl *et al.*, 2016). Además, el enfriamiento activo, concretamente de las novillas al final de la gestación, promueve una mejora de su termorregulación durante su vida productiva y en la de su progenie (Davidson *et al.*, 2021). Esto introduce el complejo mundo de la “epigenética” en la producción lechera.

Otra estrategia, seguramente de más futuro para combatir el efecto del estrés por calor es la selección genética (y actualmente, genómica) de individuos termotolerantes en diferentes escenarios (Osei-Amponsah *et al.*, 2019; Silpa *et al.*, 2021; Hassan *et al.*, 2019; Garner *et al.*,

2016). Recientemente, los avances en las técnicas genómicas han permitido la mejora genética porque aumentan la precisión de la selección de rasgos reproductivos (Mrode *et al.*, 2019; Gutiérrez-Reinoso *et al.*, 2021; Mueller y Van Eenennaam, 2022). Además, el genotipado ha ayudado a resolver algunos antagonismos genéticos. Curiosamente, en la raza holstein, la selección genómica para la mayoría de los rasgos de fertilidad y producción ha resultado en un aumento de dos y cuatro veces en la tasa de mejora genética, respectivamente (Weller *et al.*, 2017; Taylor *et al.*, 2018; Rezende *et al.*, 2019).

Así pues, parece que las estrategias a seguir para proteger y reducir el efecto del calor sobre nuestros animales y sobre la eficiencia reproductiva debe ir más allá de “simples” tratamientos hormonales previos al ciclo que queremos utilizar. Nuestro resultado nos parece especialmente importante, ya que por muy prometedor que pueda resultar un procedimiento o el uso de cualquier sustancia o principio activo, consideramos que nunca deben aplicarse sistemáticamente sin antes comprobar sus efectos particulares en la granja. Del mismo modo, todos los procedimientos que se lleven a cabo deben ser estudiados *in situ*, teniendo en cuenta las posibles variables y gastos que conlleva su aplicación en una granja, para asegurar su rentabilidad. Finalmente, igual que defendemos la utilización de tratamientos, una vez demostrada su eficacia, seguridad y eficiencia económica (DOUE.2019), si ésta se puede ver discutida, o incluso contraindicada, hay que enfatizarlo y también aplicarlo en el campo. Por ello, la actualización y formación constante del profesional es fundamental y la comprobación de las evidencias preliminares publicadas, esencial.

Enlazando con el punto de la formación de los profesionales, sabemos que es fundamental para el desarrollo de cualquier actividad. En concreto, son varios los investigadores que han coincidido en la importancia de la formación de los técnicos ecografistas para que el diagnóstico sea preciso y seguro (Fricke *et al.*, 2016; Romano *et al.*, 2016), lo que nos sitúa en el segundo trabajo de la presente tesis doctoral. En bovino de leche, un diagnóstico de gestación temprano (<30d) y fiable es de radical importancia para la eficiencia reproductiva y productiva de cualquier granja lechera actualmente (Walsh *et al.*, 2011; Holman *et al.*, 2011). La ecografía transrectal está ampliamente contrastada como técnica de diagnóstico de gestación rápido, seguro y fiable, considerada menos invasiva que la palpación rectal (Paisley *et al.*, 1978.; Vaillancourt *et al.*, 1979). Este diagnóstico de gestación temprano implica un nivel elevado de exigencia sobre el técnico que diagnostica: el intervalo entre inseminaciones medias depende, a su vez, del intervalo IA-diagnóstico de gestación que seamos capaces de hacer, y por supuesto, de su fiabilidad (Gaja *et al.*, 2013; Borş *et al.*, 2022). Sin embargo, dado que apenas había información

de cómo la experiencia del técnico afecta el riesgo de pérdida de la gestación (Richardson *et al.*, 2010), en nuestro segundo estudio quisimos comprobar si la experiencia práctica del técnico a la hora de realizar el diagnóstico ecográfico de la gestación repercutía en un mayor o menor riesgo de pérdida de gestación temprana en vacas. Nuestros resultados evidencian que la experiencia del profesional sí puede afectar significativamente el riesgo de pérdida temprana de la gestación y sugieren que una experiencia de, al menos, 12 meses puede minimizar este riesgo. Aunque la causa principal de pérdida de gestación por este medio se asocia normalmente a un manejo brusco del útero, dañando al embrión; en nuestro estudio consideramos esta situación poco probable en inicio, dada la edad de gestación media de las vacas diagnosticadas (31 d) lo que evitaba la necesidad de retraer el útero. Puede que la “presión” psicológica, de la que hablamos previamente, desempeñara un rol importante, en la destreza y cuidado, mientras se efectúa el diagnóstico por parte del técnico aún inexperto. Además, sería necesario valorar la asociación del nivel de experiencia con otras variables, como vuelve a ser el estrés por calor o las gestaciones gemelares principalmente, que durante el estudio no pudimos valorar. Varios estudios han comprobado que bajo condiciones de estrés por calor el flujo sanguíneo de útero disminuye, lo que puede afectar al desarrollo embrionario, reduciéndose la implantación embrionaria y produciéndose una mayor mortalidad ante cualquier estímulo adicional (Jordan, 2003; West *et al.*, 2003). Las gestaciones gemelares, por otro lado, adquieren importancia ya que se ha demostrado que a medida que aumenta la producción de leche, también lo hacen las gestaciones gemelares y es en éstas, donde la proporción de pérdida de gestación puede suponer el 30,7%, independientemente de otros factores (Díaz *et al.*, 2008). Otras circunstancias posibles que no hemos valorado en el presente estudio fue la relación entre la pérdida de gestación y la incidencia de mastitis, que pudiera haber constituido un factor de confusión (Dahl *et al.*, 2018). Sin embargo, también lo consideramos poco probable, puesto que el nivel de células somáticas y de mastitis incidentes se ha mantenido estable a lo largo del tiempo en esta granja, en medias anuales (datos no publicados).

En cualquier caso, y como reflexión general, en base a esta parte del trabajo, querríamos enfatizar que antes de introducir cualquier nueva prueba de diagnóstico, debemos asegurarnos de la precisión de dicha prueba en particular para disminuir la tasa de pérdidas de gestación yatrogénicas derivadas de los falsos negativos, de cualquier técnica de diagnóstico de gestación, que, a día de hoy, implicaría inducción de aborto por la utilización de sucesivas prostaglandinas en resincronizaciones (Fodor y Ózsvári, 2018; Scenzi, 2021). Estos son los puntos críticos de técnicas diagnósticas, basadas por ejemplo en proteínas de gestación (PAG) como PSPB, PAG-1

y PSP60 RIA, base de kits ELISA comerciales visuales rápidas, diseñadas para su uso en granja. Dichas pruebas proporcionan un método alternativo a la ecografía para determinar gestación temprana en bovino, previo al día 35 de gestación (Szenci, 2021). Sin embargo, no terminamos de solventar el problema. Por un lado, la viabilidad de las PAG en sangre, una vez que el embrión que las ha generado ha muerto, se mantienen durante muchos días tras la muerte embrionaria, dando, por tanto "falsos positivos" (derivando en una baja especificidad). Y otra circunstancia aún más crítica, la sensibilidad de dichas pruebas se acerca al 100% (que es lo que exigimos para no provocar abortos yatrogénicos) cuando la concentración de PAG es máxima, que es en torno a los 32 días de gestación (Sice *et al.*, 2022). Antes, esta sensibilidad no es del 100%. Pasados los 32 días de gestación los niveles disminuyen, aumentando de nuevo a partir del día 72 de gestación (Fricke *et al.*, 2016). Por todo esto se recomienda confirmar la gestación el día 74 (Ricci *et al.*, 2015) diagnosticada con esta técnica. También, por todo lo explicado, consideramos las PAG una herramienta complementaria útil e interesante, pero no puede usarse como único modo de diagnóstico de gestación temprana. A este respecto, últimamente también están en estudio técnicas que han demostrado una alta precisión, no para el diagnóstico de vacas gestantes, sino para el diagnóstico de la pérdida de gestación de forma temprana (21 días), que es lo más interesante en este caso, como la ecografía Doppler de flujo de color del cuerpo lúteo (Dubuc *et al.*, 2020). Esta técnica implica ya una mayor inversión para el equipo, un mayor nivel de formación por parte del veterinario ecografista y tampoco termina de maximizar la sensibilidad. Por lo tanto, aún no podemos considerar como validada la utilidad de la metodología Doppler para el diagnóstico de gestación temprano, al menos con para gestación en momentos anteriores al día 28. En general, debemos permanecer abiertos y dispuestos a incluir los adelantos tecnológicos y científicos que nos ayuden a efectuar diagnósticos de no-gestación tempranos, pero permaneciendo críticos en cuanto a los resultados en campo, considerar la sensibilidad y especificidad, y también atender la relevancia que tienen en cada caso el entrenamiento de los técnicos a la hora de efectuar el diagnóstico.

Con nuestros resultados concluimos que una formación adecuada antes de implementar las técnicas de diagnóstico en las granjas es primordial para acortar la "curva de aprendizaje", aun admitiendo la limitación de nuestro estudio, de que fuera el caso de circunstancias concretas ligadas a nuestras circunstancias.

Así pues, en la presente tesis doctoral, nos reiteramos en uno de los objetivos claros de las granjas lecheras que es que la mayor cantidad de vacas quede gestante en el menor tiempo posible tras el periodo de espera voluntario (Oltenucu *et al.*, 1990; Temesgen *et al.*, 2022). Por

ello, hemos abordado una posible estrategia para mejorar la fertilidad a la primera IA posparto con eCG durante la época calurosa. Posteriormente, nos hemos centrado en mejorar el conocimiento respecto a una de las posibilidades de diagnóstico de no-gestación temprano, ya que cuanto antes identifiquemos los animales no gestantes, antes podemos instaurar medidas para volver a inseminarlos. Finalmente, aquellos animales diagnosticados vacíos deben volver a inseminarse cuanto antes hasta quedar gestantes (Lucy, 2005) usándose en estos animales, determinados protocolos hormonales de sincronización. Así pues, el tercer estudio del presente trabajo de tesis doctoral pretendió contribuir a profundizar en el conocimiento para conseguir una gestación lo antes posible, centrándonos en las resincronizaciones en los animales que no quedaron gestantes tras una primera IA. Son mayoritarias las granjas que eligen protocolos hormonales de resincronización denominados “cortos” para intensificar el ritmo reproductivo (Giordano *et al.*, 2013; Ribeiro *et al.*, 2012). Sin embargo, como sabemos que los protocolos más largos, que introducen más aplicaciones hormonales, elevan la fertilidad esperada, quisimos comparar, en un tercer estudio, un protocolo de IATF “largo” (protocolo “G6G”) con uno más corto (protocolo “5d-Ovsynch[®]”), y más típico de reinseminaciones, para evaluar si podría resultar apropiado para segundas y subsiguientes inseminaciones. Según nuestros resultados, el protocolo G6G, aunque largo, sí puede proporcionar una buena tasa de concepción y de preñez, en comparación con un protocolo más corto como el 5DO, ya que, estos días que se “pierden” por ser más largo, se “ganan” por su mejor fertilidad final. De esta forma, un protocolo más largo puede ser tan efectivo como uno más corto si la tasa de concepción es lo suficientemente alta como para superar los intervalos entre inseminaciones más largos. A partir de este trabajo, una de las ideas que podemos concluir, es que, más allá de fijarnos en concreto en un protocolo determinado y generalizar su uso es el hecho de que los protocolos hormonales y en general, los sistemas de manejo reproductivo deben adaptarse a cada granja. Incluso, si es posible, deberíamos adaptarlos individualmente a cada vaca si fuera posible, contemplando un conjunto de variables como producción, medio ambiente, etc. Por otro lado, si al utilizar protocolos más largos, pero con mayor fertilidad, reducimos de media el número de inseminaciones por gestación también reducimos la cantidad de hormonas administradas por gestación, mejorando la aceptabilidad (sostenibilidad social) del sistema productivo. Somos conscientes de la pérdida gradual de conexión entre consumidores y productores que ha propiciado una falta de conocimiento desde la perspectiva y las prácticas de gestión de la producción animal por parte de la población en general (Frewer *et al.*, 2005; Henchion *et al.*, 2022) y no podemos obviar las demandas e inquietudes sociales y del consumidor. Los consumidores se cuestionan cada vez más los sistemas de producción (Weary y Von Keyserlingk, 2017) y muchas preocupaciones de

los consumidores se centran en prácticas que perciben como “antinaturales” o “nocivas”, incluido el confinamiento del rebaño, el uso sistemático de hormonas y antibióticos, separación de los terneros recién nacidos de sus madres, el uso de fertilizantes químicos y pesticidas, y el impacto medioambiental de los sistemas de producción (Henchion *et al.*, 2022; Britt *et al.*, 2018; Ventura *et al.*, 2013; Regan *et al.*, 2022) Por lo tanto, este tercer trabajo contribuye no sólo a mejorar la eficiencia reproductiva de nuestras granjas, sino también a su sostenibilidad social y por ende su sostenibilidad global.

Finalmente, nos gustaría enunciar algunas reflexiones globales. En general, la relevancia de la eficiencia reproductiva en los sistemas productivos de vacas lecheras no es discutible. La maximización del nivel de producción individual ha dado lugar a mayores tasas anuales de eliminación de vacas y vidas productivas más cortas. Sin embargo, criar novillas para reemplazar un alto porcentaje de vacas puede no ser lo más rentable y este paradigma productivo comienza a ser puesto en cuestión (Weigel *et al.*, 2012; Calus *et al.*, 2015; De Vries, 2020). Así pues, la capacidad de las granjas para producir leche de forma sostenible (económica y medioambientalmente) está estrechamente relacionada con la longevidad de las vacas lecheras, es decir, la duración de la vida productiva. Esta longevidad no sólo depende de la sanidad de las vacas, sino también de su nivel productivo, estrechamente relacionado y dependiente de su eficiencia reproductiva. Por lo tanto, este aspecto sigue siendo importante de cara al futuro de la rentabilidad de las granjas (Dallago *et al.*, 2021). Una opción viable que ha surgido desde que las pruebas genómicas se hicieron factibles alrededor de 2010 es seleccionar animales por longevidad, y además, “producir” sólo la cantidad necesaria de novillas, vendiendo aquéllas con un menor mérito genético (Hu *et al.*, 2021; De Vries, 2020). Una opción es inseminar con semen sexado y sólo producir el número de hembras, de genética lechera, necesarios para nuestra reposición, y el resto dar lugar a animales para producción cárnica (Holden y Butler, 2018; Bittante *et al.*, 2020; Clasen *et al.*, 2021; Ettema *et al.*, 2017). De hecho, Bittante *et al.* (2020) indican que al llevar a cabo esta práctica aumenta la fertilidad general del rebaño. De cualquier forma, para instaurar estas estrategias, la eficiencia reproductiva debe ser ya óptima, siendo de nuevo el pivote esencial de cambio para posibilitar la rentabilidad de nuestras granjas y de las granjas futuras.

En definitiva, el mayor consumo de productos lácteos junto con el crecimiento continuo, más o menos acelerado de la población mundial, se traduce en una necesidad prevista de, aproximadamente, 600 mil millones de kilogramos más de leche en 2067 que la que se produce hoy. Según la FAO, las vacas lecheras producen alrededor del 80 % de la leche mundial (Britt *et*

al., 2018; Moscovici Joubran *et al.*, 2021; DDOR, 2019). Si en 2021 había 138 millones de vacas lecheras en todo el mundo (USDA, 2021), para producir los 600 000 millones de kilogramos de leche adicionales necesarios para 2067, una vaca lechera promedio en el mundo necesitaría duplicar su producción anual de 2405 a 4531 kg (Britt *et al.*, 2018). Nuestra responsabilidad es hacer granjas del futuro rentables, eficientes y sostenibles. Esto supone desafíos para la industria láctea y para la comunidad científica que sitúan la eficiencia reproductiva en una posición central, en un continuo cambio y evolución de sus objetivos específicos. Por todo ello, debemos continuar con nuestros esfuerzos en la generación de evidencias científicas que nos permitan crear e innovar soluciones para este paradigma productivo, escuchando también la opinión pública como impulsora de cambios en la industria láctea (Neave *et al.*, 2022; Nature Journal 2019; Ly *et al.*, 2021; Capper, 2020).

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Derivadas del objetivo 1:

1. La administración de eCG en vacas lecheras de alta producción, entre los días 11 y 17 posteriores al parto, y que estuvieron sometidas a estrés por calor durante el parto, no mejora la actividad ovárica, en términos de la presencia de un cuerpo lúteo, folículo dominante o quistes foliculares, ni en la fertilidad, ni en la tasa de pérdida de gestación hasta 60 días después de la IA.
2. A nivel uterino, las vacas tratadas con eCG muestran un contenido intraluminal hiperecogénico menor entre los días 25 y 32 postparto que el grupo control.
3. Dado que valores diarios máximos de THI durante el parto de las vacas estudiadas fueron mayores que los valores máximos de THI tomados como referencia, es posible que el estrés por calor de los animales en nuestro estudio fuera lo suficientemente fuerte como para anular cualquier aumento de fertilidad inducido por nuestro protocolo de tratamiento con eCG, por lo que deben realizarse nuevos estudios.

- Derivadas del objetivo 2:

1. La falta de práctica del veterinario en el diagnóstico ecográfico de la gestación durante el período embrionario tardío puede aumentar el riesgo de pérdida temprana de la gestación.
2. Tras un periodo de entrenamiento, considerado en este caso de 12 meses, la tasa de pérdida de gestación fue similar a la del veterinario experimentado. Esto respalda la necesidad de una capacitación adecuada.
3. Sin embargo, la inexperiencia del veterinario ecografista no afecta a la capacidad de diagnóstico de gestación.

- Derivadas del objetivo 3:

1. El protocolo hormonal "G6G", aunque más largo que los protocolos usados normalmente para la resincronización, es útil para ese propósito en granjas de vacas lecheras de alta producción. Proporciona unas tasas de concepción adecuadas para

segundas y subsiguientes inseminaciones, ya que la tasa de concepción es mayor comparada con la de otros protocolos más cortos, como el 5DO.

2. Para diseñar estrategias de resincronización se debe tener en cuenta el protocolo hormonal a utilizar y el nivel de estrés por calor, pero no el número de partos, ya que este parámetro no afecta la tasa de concepción.
3. El intervalo entre la IATF y el diagnóstico de gestación es relevante, puesto que cuanto más tarde se diagnostique la gestación, la PR estará más influenciada por la CR con cualquiera de los protocolos y menos por el intervalo entre inseminaciones.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFIA

- Abbit B, Ball L, Kitto GP, Sitzman CG, Wilgenburg B, Raim LW, Seidel GE, 1978. Effect of three methods of palpation for pregnancy diagnosis per rectum on embryonic and fetal attrition in cows. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 173:973–977
- Adrien ML, Mattiauda DA, Artegoitia V, Carriquiry M, Motta G, Bentancur O, Meikle A, 2012. Nutritional regulation of body condition score at the initiation of the transition period in primiparous and multiparous dairy cows under grazing conditions: milk production, resumption of post-partum ovarian cyclicity and metabolic parameters. *Animal*. 6(2):292–299. doi:10.1017/S175173111100142X
- AFCA-campo galego noticias. Relativo a la ONE19. The Alltech Ideas Conference. 2019. <https://www.campogalego.gal/ultimas-innovacions-no-sector-agrogandeiro-no-alltech-ideas-conference/>
- Agricultural Outlook 2009–2018. OECD-FAO 2009. https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2009-en
- Akyuz A, Boyaci S, Cayli A, 2010. Determination of critical period for dairy cows using temperature humidity index. *J. Anim. Vet Adv.*,9(13):1824–1827. doi:10.3923/javaa.2010.1824.1827
- Alimentación en España 2016. Producción, Industria, Distribución, Consumo. Mercasa. 2017. <https://www.mercasa.es/publicaciones/alimentacion-en-espana>
- Allendorf JJ, Wettemann PJ, 2015. Does animal welfare influence dairy farm efficiency? A two-stage approach. *J. Dairy Sci.*, 98(11):7730–40. doi: 10.3168/jds.2015-9390
- Allore HG, Erb HN, 2000. Simulated effects on dairy cattle health of extending the voluntary waiting period with recombinant bovine somatotropin. *Prev. Vet. Med.*,46:29–50
- Alnimer MA, Ababneh MM, 2014. Effect of estrus expression prior to ovulation synchronization protocols on reproductive efficiency of lactating dairy cow. *Livest Sci.*,163:172–180
- Arbel R, Bigun Y, Ezra E, Sturman H, Hojman D, 2001. The effect of extended calving intervals in high-yielding lactating cows on milk production and profitability. *J Dairy Sci*;84(3):600–608
- Asociación Pastores por el Monte Mediterráneo y del Foro Europeo para la Conservación de la Naturaleza y el Pastoralismo, 2013. Ganadería Extensiva y PAC en Andalucía, Un análisis con propuestas para el futuro. Recuperado el 12 de Febrero de 2018 <http://www.pastoresmonte.org/dl94>

- Astiz S, Fargas O, 2013. Pregnancy per AI differences between primiparous and multiparous high-yield dairy cows after using Double Ovsynch® or G6G synchronization protocols. *Theriogenology*, 79(7):1065–1070
- Augère-Granier ML, 2018. The EU dairy sector. Main features, challenges and prospects. European Parliament Research Service
- Ayres H, Ferreira RM, Cunha AP, Araujo RR, Wiltbank MC, 2013. Double-Ovsynch® in high-producing dairy cows: Effects on progesterone concentrations and ovulation to GnRH treatments. *Theriogenology*, 79:159–164
- Baars A, Oosting A, Engels E, Kegler D, Kodde A, Schipper L, Verkade HJ, Van der Beek E, 2016. Milk fat globule membrane coating of large lipid droplets in the diet of young mice prevents body fat accumulation in adulthood. *Br. J. Nutr.*, 115(11), 1930–1937 doi:10.1017/S0007114516001082
- Badinga L, Thatcher WW, Diaz T, Drost M, Wolfenson D, 1993. Effect of environmental heat stress on follicular development and steroidogenesis in lactating Holstein cows. *Theriogenology*, 39 (4): 797–810
- Bailey T, Currin J, 1999. Heifer Inventory and the Economics of Replacement Rearing. Virginia Cooperative Extension. Dairy Sci. Publication 404–287
- Bailey TL, Dascanio JM, 1999. Analyzing reproductive records to improve dairy herd production. *Vet Med (Praha)*, 94:269–276
- Baillie S, Crossan A, Reid S, Brewster S, 2003. Preliminary development and evaluation of a bovine rectal palpation simulator for training veterinary students. *Cattle Practice*, 11(2):101–106.
- Balaine L, Dillon EJ, Läßle D, Lynch J, 2020. Can technology help achieve sustainable intensification? Evidence from milk recording on Irish dairy farms. *Land use policy*, 92:104437. doi: 10.1016/j.landusepol.2019.104437
- Balehegn M, Mekuriaw Z, Miller L, McKune S, Adesogan A, 2019. Animal-sourced foods for improved cognitive development. *Anim. Front.*, 9:50–57. <https://doi.org/10.1093/af/vfz039>
- Ball L, Carroll EJ, 1963. Induction of fetal death in cattle by manual rupture of the amniotic vesicle. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 142:373–374
- Barletta RV, Maturana Filho M, Carvalho PD, Del Valle TA, Netto AS, Rennó FP, Mingoti RD, Gandra JR, Mourão GB, Fricke PM, Sartori R, Madureira EH, Wiltbank MC, 2017. Association of changes among body condition score during the transition period with NEFA and BHBA concentrations, milk production, fertility, and health of Holstein cows. *Theriogenology*, 104:30–36. doi: 10.1016/j.theriogenology.2017.07.030

- Baró Rodríguez L, López-Huertas LE, Boza Puerta JJ, 2010. Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Lácteos y derivados lácteos. In: Gil Hernández A, editor. Tratado de nutrición (Tomo II). 2ª ed. Madrid: Médica Panamericana, p. 1–26
- Bascom SS, Young AJ, 1998. A summary of the reasons why farmers cull cows. *J. Dairy Sci.*, 81(8):2299–2305
- Bastin C, Gengler N, 2013. Genetics of body condition score as an indicator of dairy cattle fertility: A review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 17(1): 64–75
- Bastin C, Loker S, Gengler N, Sewalem A, Miglior F, 2010. Genetic relationships between body condition score and reproduction traits in Canadian Holstein and Ayrshire first-parity cows. *J. Dairy Sci.*; 93:2215–2228
- Bauman DE, Currie WB, 1980. Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *J. Dairy Sci.*, 63: 1514–1529
- Behera BK, Sharma CG, Singh SK, Kumar H, Chaudhari RK, Mahla AS, Das GK, Krishnaswamy N, 2016. Relationship between endometritis and oxidative stress in the follicular fluid and luteal function in the buffalo. *Reprod. in Dom. Ani.*, 51(5):844–847
- Bellarby J, Tirado R, Leip A, Weiss F, Lesschen JP, Smith P, 2013. Livestock greenhouse gas emissions and mitigation potential in Europe. *Glob. Change Biol.*, 19: 3–18. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02786.x>
- Bello NM, Steibel JP, Pursley JR, 2006. Optimizing Ovulation to First GnRH Improved Outcomes to Each Hormonal Injection of Ovsynch® in Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.*,89(9):3413–3424
- Benavides Ballesteros HO; León Aristizabal GE, 2007. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM
- Berger PJ, Shanks RD, Freeman AE, Laben RC, 1981. Genetic aspects of milk yield and reproductive performance. *J. Dairy Sci.*, 64:114–122
- Berry DP, Buckley F, Dillon P, Evans RD, Rath M, Veerkamp RF, 2003. Genetic relationships among body condition score, body weight, milk yield, and fertility in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 86:2193–2204
- Berry DP, Lee JM, Macdonald KA, Roche JR, 2007. Body Condition Score and Body Weight Effects on Dystocia and Stillbirths and Consequent Effects on Postcalving Performance. *J. Dairy Sci.*, 90 (9):4201–4211. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0023>

- Bevers MM, Dieleman SJ, van Tol HT, Blankenstein DM, van den Broek J, 1989. Changes in pulsatile secretion patterns of LH, FSH, progesterone, androstenedione and oestradiol in cows after superovulation with PMSG. *J. Reprod. Fertil.*, 87(2):745–54. doi: 10.1530/jrf.0.0870745
- Bewley J, Schutz M, 2008. Review: An interdisciplinary review of body condition scoring for dairy cattle. *Prof. Anim. Sci.*, 24:507–529. doi:10.15232/S1080-7446(15)30901-3
- Bisinotto RS, Ribeiro ES, Martins LT, Marsola RS, Greco LF, Favoreto MG, Risco CA, Thatcher WW, Santos JEP, 2010. Effect of interval between induction of ovulation and artificial insemination (AI) and supplemental progesterone for resynchronization on fertility of dairy cows subjected to a 5-d timed AI program. *J. Dairy Sci.*, 93:5798–5808. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3516>
- Bittante G, Negrini R, Bergamaschi M, Cecchinato A, Toledo-Alvarado H, 2020. Pure-breeding with sexed semen and crossbreeding with semen of double-musled sires to improve beef production from dairy herds: Factors affecting heifer and cow fertility and the sex ratio. *J. Dairy Sci.*, 103(6):5246–5257. doi: 10.3168/jds.2019-17932
- Bond RL, Midla LT, Gordon ED, Welker FHB, Masterson MA, Mathys DA, Mollenkopf DF, 2019. Effect of student transrectal palpation on early pregnancy loss in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 102(10):9236–9240. doi: 10.3168/jds.2019-16515
- Bonneville-Hébert A, Bouchard E, Du Tremblay D, Lefebvre R, 2011. Effect of reproductive disorders and parity on repeat breeder status and culling of dairy cows in Quebec. *Can. J. Vet. Res.*, 75:147–151
- Borş SI, Borş A, 2022. Economics of Rebreeding Nonpregnant Dairy Cows Diagnosed by Transrectal Ultrasonography on Day 25 after Artificial Insemination. *Animals (Basel)*, 12(6):761. doi: 10.3390/ani12060761
- Bossaert P, Leroy JLMR, De Campeneere S, De Vlieghe S, Opsomer G, 2009. Differences in the glucose-induced insulin response and the peripheral insulin responsiveness between neonatal calves of the Belgian Blue, Holstein-Friesian, and East Flemish breeds. *J. Dairy Sci.*, 92:4404–4411. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2218>
- Bouraoui R, Lahmar M, Majdoub A, Djemali M, Belyea R, 2002. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Anim. Res.*, 51(6): 479–491. doi: <https://doi.org/10.1051/animres:2002036>
- Brito LF, Bedere N, Douhard F, Oliveira HR, Arnal M, Peñagaricano F, Schinckel AP, Baes CF, Miglior F, 2021. Review: Genetic selection of high-yielding dairy cattle toward sustainable farming systems in a rapidly changing world. *Animal*, 15 (1). <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100292>

- Britt JH, Cushman RA, Dechow CD, Dobson H, Humblot P, Hutjens MF, Jones GA, Ruegg PS, Sheldon IM, Stevenson JS, 2018. Invited review: Learning from the future-A vision for dairy farms and cows in 2067. *J Dairy Sci.*;101(5):3722–3741. doi: 10.3168/jds.2017-14025
- Britt JH, Cushman RA, Dechow CD, Dobson H, Humblot P, Hutjens MF, Jones GA, Mitloehner FM, Ruegg PL, Sheldon IM, Stevenson JS, 2021. Review: Perspective on high-performing dairy cows and herds. *Animal*,15 (1):100298. doi: 10.1016/j.animal.2021.100298
- Broom DM, 2011. A History of Animal Welfare Science. *Acta Biotheor.*, 59:121–137. <https://doi.org/10.1007/s10441-011-9123-3>
- Brouček J, Novák P, Vokřálová J, Šoch M, Kišac P, Uhrinčať M, 2009. Effect of high temperature on milk production of cows from free-stall housing with natural ventilation. *Slovak. J. Anim. Sci.*, 42(4):167–173
- Buckwell A, Nordang Uhre A, Williams A, Polakova J, Blum W, Schiefer J, ... & Haber W, 2014. Sustainable intensification of European agriculture. Rise Foundation.
- Butler WR, Everett RW, Coppock CE, 1981. The relationship between energy balance, milk production and ovulation in postpartum Holstein cows. *J. Anim. Sci.*, 53: 742–748
- Butler WR, 2003. Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows. *Livest. Prod. Sci.*, 83 (2–3): 211–218. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(03\)00112-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00112-X)
- Butler WR, 2005. Inhibition of ovulation in the postpartum cow and the lactating sow. *Livest. Prod. Sci.*, 98 (1–2): 5–12. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.10.007>
- Cabrera VE, 2012. A simple formulation and solution to the replacement problem: A practical tool to assess the economic cow value, the value of a new pregnancy, and the cost of a pregnancy loss. *J. Dairy Sci.*, 95:4683–4698. doi:10.3168/jds.2011-5214
- Cabrera VE, 2014. Economics of fertility in high-yielding dairy cows on confined TMR systems. *Anim. Int. J. Anim. Biosci.*, 8:211–221. doi: 10.1017/S1751731114000512
- Cain M, Lynch J, Allen MR, Fuglestedt JS, Frame DJ, Macey AH, 2019. Improved calculation of warming-equivalent emissions for short lived climate pollutants. *npj Clim. Atmos. Sci.*, 2:29
- Calleja-Agius J, England K, Calleja N, 2021. The effect of global warming on mortality. *Early Hum Dev.*,155:105222. doi: 10.1016/j.earlhumdev.2020.105222

- Calsamiglia S, Astiz S, Baucells J, Castillejos L, 2018. A stochastic dynamic model of a dairy farm to evaluate the technical and economic performance under different scenarios. *J. Dairy Sci.*, 101(8):7517–7530. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12980>
- Calus MPL, Bijma P, Veerkamp RF, 2015. Evaluation of genomic selection for replacement strategies using selection index theory. *J. Dairy Sci.*, 98:6499–6509. doi: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9192>
- Canfield RW, Butler WR, 1990. Energy balance and pulsatile LH secretion in early postpartum dairy cattle. *Domest. Anim. Endocrinol.*, 7(3):323–330. [https://doi.org/10.1016/0739-7240\(90\)90038-2](https://doi.org/10.1016/0739-7240(90)90038-2)
- Canfield RW, Sniffen CJ, Butler WR, 1990. Effects of Excess Degradable Protein on Postpartum Reproduction and Energy Balance in Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.*, 73(9):2342–2349
- Capper JL, Cady RA, Bauman DE, 2009. The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *J. Anim. Sci.* Oxford University Press; p. 2160–7
- Capper JL, 2020. Opportunities and Challenges in Animal Protein Industry Sustainability: The Battle Between Science and Consumer Perception. *Anim. Front.*, 10(4):7–13. doi: 10.1093/af/vfaa034
- Capper JL, Cady RA. 2020. The effects of improved performance in the U.S. dairy cattle industry on environmental impacts between 2007 and 2017. *J. Anim. Sci.*, 98(1):skz291. doi: 10.1093/jas/skz291
- Caraviello DZ, Weigel KA, Fricke PM, Wiltbank MC, Florent MC, Cook NB, No rdlund KV, Zwald NR, Rawson CL, 2006. Survey of management practices on reproductive performance of dairy cattle on large US commercial farms. *J. Dairy Sci.*, 89, 4723–4735
- Carbon trust. 2013. Carbon footprint [On line]. 16 mayo 2013. <http://www.carbontrust.com/resources/guides/carbon-footprinting-and-reporting/carbon-footprinting>
- Cardoso Consentini CE, Wiltbank MC, Sartori R, 2021. Factors That Optimize Reproductive Efficiency in Dairy Herds with an Emphasis on Timed Artificial Insemination Programs. *Animals (Basel)*, 11(2):301. <https://doi.org/10.3390/ani11020301>
- Carvalho PD, Souza AH, Amundson MC, Hackbart KS, Fuenzalida MJ, Herlihy MM, Ayres H, Dresch AR, Vieira LM, Guenther JN, Grummer RR, Fricke PM, Shaver RD, Wiltbank MC, 2014. Relationships between fertility and postpartum changes in body condition and body weight in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 97(6):3666–3683. doi: 10.3168/jds.2013-7809
- Carvalho P, Santos V, Giordano J, Wiltbank M, Fricke P, 2018. Development of fertility programs to achieve high 21-day pregnancy rates in high-producing dairy cows. *Theriogenology*, 114:165–172. doi: 10.1016/j.theriogenology.2018.03.037

- Carvalho M, Peñagaricano F, Santos J, Devries T, McBride B, Ribeiro E, 2019. Efectos a largo plazo de la enfermedad clínica posparto en la producción de leche, la reproducción y el sacrificio de vacas lecheras. *J. Dairy Sci.*, 102: 11701–11717. doi: 10.3168 / jds.2019-17025
- Cederberg C, Flysjo A, Sonesson U, Sund V, Davis J, 2009a. Greenhouse Gas Emissions from Swedish Consumption of Meat, Milk and Eggs 1990 and 2005 (SIK Report No794). The Swedish Institute for Food and Biotechnology, Gothenburg
- Cedrón M. Claves de la batalla de las macrogranjas. *La voz de Galicia*. 10.01.22. https://www.lavozdegalicia.es/noticia/somosagro/2022/01/09/claves-batalla-macrogranjas/0003_202201G9P27993.htm
- Centro de Educación sobre Bienestar de Animales de Granja. FAWEC, Farm Animal Welfare Education Centre, Universidad Autónoma de Barcelona
- Chávez MI, García JE, Véliz FG, Gaytán LR, de Santiago A, Mellado M, 2020. Effects of in utero heat stress on subsequent reproduction performance of first-calf Holstein heifers. *Span. J. Agric. Res.*, 18 (2), e0404. <https://doi.org/10.5424/sjar/2020182-15721>
- Chebel RC, Santos JE, Reynolds JP, Cerri RL, Juchem SO, Overton M, 2004. Factors affecting conception rate after artificial insemination and pregnancy loss in lactating dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.*, 84:239–255
- Chebel RC, Ribeiro ES, 2016. Reproductive Systems for North American Dairy Cattle Herds, *Vet. Clin. N. Am. - Food Anim. Pract.*, 32(2):267–284. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2016.01.002>
- Chebel RC, Silva PRB, Endres MI, Ballou MA, Luchterhand KL, 2016. Social stressors and their effects on immunity and health of periparturient dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 99, 3217–3228. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10369>
- Citek J, Nemeckova D, Stadnik L, Stupka R, 2017. Ovarian diseases in Holstein dairy cows, factors determining their occurrence and impact on reproduction traits and breeding costs. *Indian J. Anim. Sci.*, 87: 810–813
- Clark M, Tilman D, 2017. Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environ. Res. Lett.*, 12: 111002
- Clasen JB, Kargo M, Østergaard S, Fikse WF, Rydhmer L, Strandberg E, 2021. Genetic consequences of terminal crossbreeding, genomic test, sexed semen, and beef semen in dairy herds. *J. Dairy Sci.*, 104(7):8062–8075. doi: 10.3168/jds.2020-20028

- Colazo MG, Mapletoft RJ, 2014. A review of current timed-AI (TAI) programs for beef and dairy cattle. *Can. Vet. J.*, 55(8): 772–780
- Cole JB, VanRaden PM, 2018. Symposium review: Possibilities in an age of genomics: The future of selection indices. *J. Dairy Sci.*,101(4):3686–3701
- Collantes F, 2014. La evolución del consumo de productos lácteos en España. 1952–2007. *Revista de Historia Industrial*, nº 55, Año XXIII, 2014.2
<https://raco.cat/index.php/HistoriaIndustrial/article/view/280118>
- Crowe MA, Williams EJ, 2012. Triennial lactation symposium: effects of stress on postpartum reproduction in dairy cows. *J Anim Sci*; 90:1722–1727. doi: 10.2527/jas.2011-4674
- Crowe MA, Diskin MG, Williams EJ, 2014. Parturition to resumption of ovarian cyclicity: comparative aspects of beef and dairy cows. *Animal*; 8:1–14. doi: 10.1017/S1751731114000251
- Crowe MA, Williams EJ, Mulligan FJ, 2015. Physiological and health factors affecting fertility in beef and dairy cows. *Cattle Practice*; 23:47–61
- Crowe MA, Hostens M, Opsomer G, 2018. Reproductive management in dairy cows - the future. *Ir. Vet. J.*; 71: 1
- Cruz Uribe F, 2011. Tendencias para la producción bovina mundial. *Revista Ciencia Animal*: 1(4), 97: 103
- Dahl GE, Tao S, Monteiro APA, 2016. Effects of late-gestation heat stress on immunity and performance of calves. *J. Dairy Sci.*;99(4):3193–3198. doi: 10.3168/jds.2015-9990
- Dahl MO, De Vries A, Maunsell FP, Galvao KN, Risco CA, Hernandez JÁ, 2018. Epidemiologic and economic analyses of pregnancy loss attributable to mastitis in primiparous Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 101(11):10142–10150. doi: 10.3168/jds.2018-14619
- Dahl GE, Tao S, Laporta J, 2020. Heat Stress Impacts Immune Status in Cows Across the Life Cycle. *Front. Vet. Sci.*, 7:116–116. doi:<https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00116>
- Dairy Declaration of Rotterdam (DDOR) Global Dairy Fact 2019.
<http://www.dairydeclaration.org/Facts-and-Resources>
- Dallago GM, Wade KM, Cue RI, McClure JT, Lacroix R, Pellerin D, Vasseur E, 2021. Keeping Dairy Cows for Longer: A Critical Literature Review on Dairy Cow Longevity in High Milk-Producing Countries. *Animals (Basel)*, 11(3):808. doi: 10.3390/ani11030808. Erratum in: *Animals (Basel)*. 2021 Oct 14;11(10)

- Dash S, Chakravarty AK, Singh A, Upadhyay A, Singh M, Yousuf S, 2016. Effect of heat stress on reproductive performances of dairy cattle and buffaloes: A review. *Veterinary world*, 9(3):235
- Davidson BD, Dado-Senn B, Padilla NR, Fabris TF, Casarotto LT, Ouellet V, Toledo IM, Dahl GE, Laporta J, 2021. Late-gestation heat stress abatement in dairy heifers promotes thermoregulation and improves productivity. *J. Dairy Sci.*, 104(2):2357–2368. doi: 10.3168/jds.2020-18998
- Dawson FLM, Ball L, Kitto GP, Sitzman CG, Wilgenburg B, Raim LW, *et al.*, 1974. Methods for early termination of pregnancy in the cow. *Vet. Rec.*,94:542–548
- De Kruif A, 1978. Factors influencing the fertility of a cattle population. *J. Reprod. Fertil.*, 54:507–518
- De Rensis F, López-Gatius F, 2014. Use of equine chorionic gonadotropin to control reproduction of the dairy cow: a review. *Reprod. Domest. Anim.*,49(2):177–82. doi: 10.1111/rda.12268
- De Rensis F, Garcia-Ispuerto I, López-Gatius F, 2015. Seasonal heat stress: Clinical implications and hormone treatments for the fertility of dairy cows. *Theriogenology*, 84(5):659–66. doi: 10.1016/j.theriogenology.2015.04.021
- De Vries A, Conlin BJ, 2003. Economic value of timely determination of unexpected decreases in detection of estrus using control charts. *J. Dairy Sci.*, 86(11):3516–3526. doi:10.3168/jds.S0022-0302(03)73956-3
- De Vries A, 2006. Economic Value of Pregnancy in Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.*, 89:3876–3885
- De Vries A, Kaniyamattam K, 2020. A review of simulation analyses of economics and genetics for the use of in-vitro produced embryos and artificial insemination in dairy herds. *Anim. Reprod.* 17:20200020. doi: 10.1590/1984-3143-ar2020-0020
- De Vries, 2020. Symposium review: Why revisit dairy cattle productive lifespan? *J. Dairy Sci.*,103(4):3838–3845. doi: 10.3168/jds.2019-17361
- Declaraciones obligatorias del sector vacuno de leche. MAPA-FEGA (Fondo Español de Garantía Agraria). 2019
- Del Moral MJ, Morales M, González Martín JV, Astiz S, 2011. Estado reproductivo de las explotaciones bovinas lecheras españolas: Recopilación y publicación de índices reproductivos de nuestras granjas. *Frisona Española* 185: 90–98
- Del Prado A, Crosson P, Olesen JE, Rotz CA, 2013. Whole-farm models to quantify greenhouse gas emissions and their potential use for linking climate change mitigation and adaptation in temperate grassland ruminant-based farming systems. *Animal*, 7 (2):373–385. doi:https://doi.org/10.1017/S1751731113000748

- Dematawewa CMB, Berger PJ, 1998. Genetic and phenotypic parameters for 305-day yield, fertility, and survival in Holsteins. *J. Dairy Sci.*, 81:2700–2709
- Derks M, Hogeveen H, Kooistra SR, van Werven T, Tauer LW, 2014. Efficiency of dairy farms participating and not participating in veterinary herd health management programs. *Prev. Vet. Med.*, 117(3–4):478–86. doi: 10.1016/j.prevetmed.2014.10.008
- DesCôteaux L, Buczinski S, 2009. Ultrasonographic examination of the reproductive tract and mammary gland. *Bovine ultrasonography*, p.109–19
- Dewey ST, Mendonça LGD, Lopes Jr G, Rivera FA, Guagnini F, Chebel RC, Bilby TR, 2010. Resynchronization strategies to improve fertility in lactating dairy cows utilizing a presynchronization injection of GnRH or supplemental progesterone: I. Pregnancy rates and ovarian responses. *J. Dairy Sci.*, 93:4086–4095
- DHI-202 herd summary. 1997. Fact sheet: A-1. Dairy Records Management Systems, Raleigh (NC)
- Díaz Cañas V, Quintela Arias LA, Becerra JJ, Huanca W, Huanca T, García Herradón P, 2008. Pregnancy loss in dairy cattle: Effect of twin pregnancy. Conference: I Congreso Internacional AERA-BAS. At: Gijón (Spain)
- Díaz Yubero MA, *et al.*, 2016. El sector lácteo español en la encrucijada. Serie Economía. Cajamar Caja Rural
- Dietary guidelines for the Americans 2015. Home of the Office of Disease Prevention and Health Promotion. <http://www.health.gov/dietaryguidelines/2015.asp>
- Dirandeh E, Roodbari AR, Gholizadeh M, Deldar H, Masoumi R, Kazemifard M, Colazo MG, 2015. Administration of prostaglandin F2 α 14 d before initiating a G6G or a G7G timed artificial insemination protocol increased circulating progesterone prior to artificial insemination and reduced pregnancy loss in multiparous Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 98(8):5414–5421
- Diskin MG, 1996. Factors affecting conception rates in cows. *Ir. Vet. J.*, 49:245–249
- Diskin MG, Morris DG, 2008. Embryonic and early foetal losses in cattle and other ruminants. *Reprod. Domest. Anim.*, 43(2):260–7. doi: 10.1111/j.1439-0531.2008.01171.x
- Diskin MG, Parr MH, Morris DG, 2012. Embryo death in cattle: an update. *Reprod Fert Develop.*;24:244–251. doi: 10.1071/RD11914

Do Amaral BC, Connor EE, Tao S, Hayen MJ, Bubolz JW, Dahl GE, 2011. Heat stress abatement during the dry period influences metabolic gene expression and improves immune status in the transition period of dairy cows. *J. Dairy Sci.*,94(1):86–96. doi: 10.3168/jds.2009-3004

Dobson H, Smith RF, Royal MD, Knight CH, Sheldon IM, 2007. The high-producing dairy cow and its reproductive performance. *Reprod. Domest. Anim.*; 42:17–23

Documento de interpretación de los reglamentos de subproductos de origen animal no destinados al consumo humano (SANDACH)).
www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/gestion_riesgos/guia_sandach.pdf

Dohoo IR, Martin SW, 1984. Subclinical ketosis: Prevalence and associations with production and disease. *Can. J. Comp. Med.*, 48:1–5
doi: 10.1016/j.theriogenology.2016.04.037

Domecq JJ, Skidmore AL, Lloyd JW, Kaneene JB, 1997. Relationship between body condition scores and conception at first artificial insemination in a large dairy herd of high yielding Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 80:113–120

Dorneles Tortorella R, Ferreira R, Tonello Dos Santos J, Silveira de Andrade Neto O, Barreta MH, Oliveira JF, Gonçalves PB, Pereira Neves J, 2013. The effect of equine chorionic gonadotropin on follicular size, luteal volume, circulating progesterone concentrations, and pregnancy rates in anestrus beef cows treated with a novel fixed-time artificial insemination protocol. *Theriogenology*, 79(8):1204–9. doi: 10.1016/j.theriogenology.2013.02.019

DOUE 1968. Rgto (CEE) nº 804/68 del Consejo de 27 de junio de 1968, por el que se establece la Organización común de Mercados en el sector de la leche y de los productos lácteos

DOUE 1984. Rgto nº856/84 del Consejo, de 31 de marzo de 1984

DOUE 7.1.2019. Reglamento (UE) 2019/6 del Parlamento europeo y del Consejo. De 11 de diciembre de 2018. Sobre medicamentos veterinarios y por el que se deroga la Directiva 2001/82/CE

Douglas A, Barr S, Reddy S, Summerbell CD, 2019. A critical review of the role of milk and other dairy products in the development of obesity in children and adolescents. *Nutr. Res. Rev.*, 32(1):106–127. doi: 10.1017/S0954422418000227

Douphrate DI, Hagevoort RG, Nonnenmann MW, Lunner Kolstrup C, Reynolds SJ, Jakob M; Kinsel M, 2013. The Dairy Industry: A Brief Description of Production Practices, Trends, and Farm Characteristics Around the World. *J. Agromedicine* 18(3):187–197

- Du Preez JH, Hatting PJ, Giesecke WH, Eisenberg BE, 1990. Heat stress in dairy cattle and other livestock under southern African conditions. III. Monthly temperature-humidity index mean values and their significance in the performance of dairy cattle. Onderstepoort. J. Vet. Res.,57:243–248
- Dubuc J, Houle J, Rousseau M, Roy JP, Buczinski S, 2020. Short communication: Accuracy of corpus luteum color flow Doppler ultrasonography to diagnose nonpregnancy in dairy cows on day 21 after insemination. J. Dairy Sci., 103(2):2019–2023. doi: 10.3168/jds.2019-17234
- Dunne LD, Diskin MG, Sreenan JM, 2000. Embryo and foetal loss in beef heifers between day 14 of gestation and full term. Anim. Reprod. Sci., 58 (1–2): 39–44. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(99\)00088-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(99)00088-3)
- Edmondson AJ, Lean IJ, LD Weaver, Farver T, Webster G, 1989. A body condition scoring chart for Holstein cows. J. Dairy Sci., 72:68–78
- El sector lácteo en España. Datos de producción, industria y consumo (2008–2015). INLAC 2016
- El sector lácteo español deja atrás una década marcada por profundos cambios. Revista Frisona. 2 de marzo de 2021
- Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Sectores basados en recursos biológicos cap. 70 Ganadería y cría de animales, pp 70.2–70.7. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/Tomo3/70.pdf
- Equinoa Ancho P, Elizaindin G, Iriarte JC, Mujika Arraiago I, Munárriz Martínez C, 2017. Desarrollo de una herramienta para el análisis de la sostenibilidad en explotaciones de vacuno de leche. Navarra Agraria, ISSN 0214–6401, Nº 222, págs. 18–25
- Esslemont RJ, 2003. The cost of poor fertility and what to do about reducing them. Cattle Practice 11:237–250
- Ettema JF, Thomasen JR, Hjortø L, Kargo M, Østergaard S, Sørensen AC, 2017. Economic opportunities for using sexed semen and semen of beef bulls in dairy herds. J. Dairy Sci.,100(5):4161–4171. doi: 10.3168/jds.2016-11333
- EU Agricultural Outlook. For markets and income 2019–2030. European Comission 2020. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9ab90590-a676-11ea-bb7a-01aa75ed71a1>

- EU Agricultural Outlook. For markets and income 2020–2030. European Commission 2021.
https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/food-farming-fisheries/farming/documents/agricultural-outlook-2020-report_en.pdf
- EU Dairy Farms Report Based on 2016 FADN Data.
https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/farming/documents/fadn-dairy-report-2016_en.pdf
- European Commission- Milk Market Situation,2021.
https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/farming/facts-and-figures/markets/overviews/market-observatories/milk_es
- Evans RD, Dillon P, Buckle F, Berry DP, Wallace M, Ducrocq V, Garrick DJ., 2006. Trends in milk production, calving rate and survival of cows in 14 Irish dairy herds as a result of the introgression of Holstein-Friesian genes. *Anim. Sci.*, 82:423–433
- Everett RW, Armstrong DV, Boyd LJ, 1966. Genetic relationship between production and breeding efficiency. *J. Dairy Sci.*, 49:879–886
- Fabris TF, Laporta J, Skibieli AL, Corra FN, Senn BD, Wohlgemuth SE, Dahl GE, 2019. Effect of heat stress during early, late, and entire dry period on dairy cattle. *J. Dairy Sci.*;102(6):5647–5656. doi: 10.3168/jds.2018-15721
- FAO Dairy Market Review (2021). Overview of global dairy market developments in 2020
- Farm economy data by sector. Dairy Farms in EU Based on FADN Data up to 2016 Preliminary Data. Dic 2018
- Federación Nacional de Industrias Lácteas- FeNIL, 2014. Libro Blanco de los Lácteos. Disponible en: <http://www.lacteosinsustituibles.es/p/archivos/pdf/LibroBlanco.pdf>.
- Ferguson JD, Galligan DT, 1999. Veterinary reproductive programs. In Proc. 32nd Annu. Meet., Am. Assoc. Bovine Pract (AABP), Nashville, TN. pp. 133–137. American Association of Bovine Practitioners, Opelika, AL, US
- Ferguson JD, Galligan D, 2000. Assessment of Reproductive Efficiency in Dairy Herds. *Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian*; 22:150–S158
- Fernández Fernández E, Martínez Hernández JA, Martínez Suárez V, Moreno Villares JM, Collado Yurrita LR, Hernández Cabria M, Morán Rey FJ, 2015. Documento de Consenso: importancia, nutricional y metabólica de la leche. [Consensus document: nutritional and metabolic importance of cow's milk]. *Nutr. Hosp.*, 31(1):92–101. doi:10.3305/nh.2015.31.1.8253
- Fernández M, 2021. El precio justo. *Vaca Pinta* nº 22; pp.84–92

- Fernandez-Novo A, Fargas O, Loste JM, Sebastian F, Perez-Villalobos N, Pesantez-Pacheco JL, Patron-Collantes R, Astiz S, 2020. Pregnancy Loss (28–110 Days of Pregnancy) in Holstein Cows: A Retrospective Study. *Animals*, 10, 925; doi:10.3390/ani10060925
- Fetrow J; Stewart S; Eicker S; Rapnicki P, 2007. Reproductive health programs for dairy herds: Analysis of records for assessment of reproductive performance.in: Youngquist RS, Threlfall WR. *Current Therapy in Large Animal Theriogenology*. 2nd ed. WB. Saunders Co, Philadelphia, PA2007:476. doi: 10.1016/B978-072169323-1.50064-7
- Fischer C, Kleinschmidt T, 2018. Synthesis of Galactooligosaccharides in Milk and Whey: A Review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*;17(3):678–697. doi: 10.1111/1541-4337.12344
- Flaten, O, 2003. Adjustments to Changing Economic Conditions in Norwegian Dairy Farming. *International Farm Management Association, 14th Congress, Perth, Western Australia, August 10–15*
- Flysjö A, Henriksson M, Cederberg C, Ledgard S, Englund JE, 2011. The impact of various parameters on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweden. *Agricultural Systems*; 104 (6): 459–469. doi: 10.1016/j.agsy.2011.03.003
- Fodor I, Gábor G, Lang Z, Abonyi-Tóth Z, Ózsvári L, 2019. Relationship between reproductive management practices and fertility in primiparous and multiparous dairy cows. *Can. J. Vet. Res.*, 83(3): 218–227
- Fodor I, Ózsvári L, 2018. Early pregnancy diagnosis on large dairy farms and its role in improving profitability 14, 22–36. <https://doi.org/10.17205/SZIE.AWETH.2018.1.022>
- Foley JA, Ramankutty N, Brauman KA *et al.*, 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478, 337–342
- Folman Y, Kaim M, Herz Z, Rosenberg M, 1984. Reproductive management of dairy cattle based on synchronization of estrous cycles. *J. Dairy Sci.*, 67:153–160
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017: FAOSTAT Statistics Database. Available at <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL> [02.01.2017]
- Francis CA, Callaway MB, 1993. Crop improvement for future farming systems. In: B. Callaway and C. A. Francis (Ed.) *Crop Improvement for Sustainable Agriculture*. pp 1–18. University of Nebraska Press, Lincoln

- Franco OJ, Drost M, Thatcher MJ, Shille VM, Thatcher WW, 1987. Fetal survival in the cow after pregnancy diagnosis by palpation per rectum. *Theriogenology*, 27:631–644
- French HM, Dascanio JJ, Gilbert GE, Robinson JQ, 2018. Bovine Reproductive Palpation Training: Does the Cow Make a Difference? *J. Vet. Med. Educ.*, 45(2):219–223. doi: 10.3138/jvme.1116-172r
- Frewer LJ, Kole A, Van De Kroon SMA, De Lauwere C, 2005. Consumer attitudes towards the development of animal-friendly husbandry systems. *J. Agric. Environ. Ethics.*, 18:345–367
- Fricke PM, 2012. Presentation “Effects of Heat Stress on Reproduction in Dairy Cows”. Department of Dairy Science. University of Wisconsin-Madison
- Fricke PM, Carvalho PD, Lucy MC, Curran F, Herlihy MM, Waters SM, Larkin JA, Crowe MA, Butler ST, 2016. Effect of manipulating progesterone before timed artificial insemination on reproductive and endocrine parameters in seasonal-calving, pasture-based Holstein-Friesian cows. *J. Dairy Sci.*, 99 (8):6780–6792. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11229>
- Fricke PM, Ricci A, Giordano JO, Carvalho PD, 2016. Methods for and Implementation of Pregnancy Diagnosis in Dairy Cows. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.*, 32(1):165–80. doi: 10.1016/j.cvfa.2015.09.006
- Friedman E, Voet H, Reznikov D, Wolfenson D, Roth Z, 2014. Hormonal treatment before and after artificial insemination differentially improves fertility in subpopulations of dairy cows during the summer and autumn. *J. Dairy Sci.*, 97(12):7465–75. doi: 10.3168/jds.2014-7900
- Fuenzalida MJ, Fricke PM, Ruegg PL, 2015. The association between occurrence and severity of subclinical and clinical mastitis on pregnancies per artificial insemination at first service of Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 98:3791–3805
- Gábor G, Kastelic JP, Abonyi-Tóth Z, Gábor P, Endrődi T, Balogh OG, 2016. Pregnancy loss in dairy cattle: Relationship of ultrasound, blood pregnancy-specific protein B, progesterone and production variables. *Reprod. Domest. Anim.*, 51:467–473
- Gaja AO, Al-Dahash SY, Kubota C, Kojima T, Hatazoe I, 2013. Efficacy of a combined protocol for re-insemination of open cows after early pregnancy diagnosis using ultrasonography and its effect on fertility. *Open Vet. J.*, 3(1):43–6
- Galon N, 2010. The use of pedometry for estrus detection in dairy cows in Israel. *J. Reprod. Develop.*, 56:S48–S52
- Galvão KN, Sá Filho MF, Santos JEP, 2007. Reducing the Interval from Presynchronization to Initiation of Timed Artificial Insemination Improves Fertility in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.*, 90(9):4212–4218

- Galvão KN, Fraiblat M, Butler WR, Brittin SB, Guard CL, Gilbert RO, 2010. Effect of early postpartum ovulation on fertility in dairy cows. *Reprod. Domest. Anim.*, 45:207–211
- Galvão K, Federico P, De Vries A, Schuenemann G, 2013. Economic comparison of reproductive programs for dairy herds using estrus detection, timed artificial insemination, or a combination. *J. Dairy Sci.*;96(4):2681–2693. doi: 10.3168/jds.2012-5982
- Gámiz Ramírez P, 2011. Contribución al análisis estructural del sector vacuno lechero en Andalucía. [http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/29_18_50_\(DEFINITI%5B1%5D...pdf](http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/29_18_50_(DEFINITI%5B1%5D...pdf)
- Gantner V, MijiC P, Kuterovac K, SoliC D, Gantner R, 2011. Temperature-humidity index values and their significance on the daily production on dairy cattle. *Mljekarstvo* 61(1):56–63
- Garcia JM, Teixeira P, 2017. Organic versus conventional food: A comparison regarding food safety. *Food Reviews International*, 33(4): 424–446
- García-Ispuerto I, López-Gatius F, Bech-Sabat G, Santolaria P, Yániz JL, Nogareda C, De Rensis F, López-Béjar M, 2007. Climate factors affecting conception rate of high producing dairy cows in northeastern Spain. *Theriogenology*. Volume 67(8):1379–1385
- Garcia-Ispuerto I, López-Gatius F, 2013. A three-day PGF2 α plus eCG-based fixed-time AI protocol improves fertility compared with spontaneous estrus in dairy cows with silent ovulation. *J. Reprod. Dev.*, 59(4):393–7. doi: 10.1262/jrd.2013-017
- Garcia-Ispuerto I, Roselló MA, De Rensis F, López-Gatius F, 2013. A five-day progesterone plus eCG-based fixed-time AI protocol improves fertility over spontaneous estrus in high-producing dairy cows under heat stress. *J. Reprod Dev.*, 59(6):544–8. doi: 10.1262/jrd.2013-041
- García-Ruiz A, Cole JB, VanRaden PM, Wiggans GR, Ruiz-López FJ, Van Tassell CP, 2016. Changes in genetic selection differentials and generation intervals in US Holstein dairy cattle as a result of genomic selection. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 113(28):E3995–4004
- Garner JB, Douglas ML, Williams SRO, Wales WJ, Marett LC, Nguyen TTT, Reich CM, Hayes BJ, 2016. Genomic Selection Improves Heat Tolerance in Dairy Cattle. *Scientific Reports* 6, 34114. <https://doi.org/10.1038/srep34114>
- Garnett T, Appleby MC, Balmford A, Bateman IJ, Benton TG, Bloomer P, Burlingame B, Dawkins M, Dolan L, Fraser D, Herrero M, Hoffmann I, Smith P, Thornton PK, Toulmin C, Vermeulen SJ, Godfray HCJ, 2013. Sustainable intensification in agriculture: Premises and policies. *Science*, 341:33–34

- Garnsworthy P, 2004. The environmental impact of fertility in dairy cows: a modelling approach to predict methane and ammonia emissions. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 112: 211–223
- Gauly M, Ammer S, 2020. Review: Challenges for dairy cow production systems arising from climate changes. *Animal*, 14(S1):s196–s203. doi: 10.1017/S1751731119003239
- Geng T, Qi L, Huang T, 2018. Effects of Dairy Products Consumption on Body Weight and Body Composition Among Adults: An Updated Meta-Analysis of 37 Randomized Control Trials. *Mol. Nutr. Food Res.*, 62 (1). doi: <https://doi.org/10.1002/mnfr.201700410>
- Gerber PJ, Vellinga T, Opio C, Steinfeld H, 2011. Productivity gains and greenhouse gas intensity in dairy systems. *Livest. Sci.*, 139: 100–108
- Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, Mottet A, Opio C, Dijkman J, Falcucci A, Tempio G, 2013. Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma. *Atmospheric Science*, 2:29
- Gerssen-Gondelach SJ, Lauwerijssen RBG, Havlik P, Herrero M, Valin H, Faaij APC, Wicke B, 2017. Intensification pathways for beef and dairy cattle production systems: Impacts on GHG emissions, land occupation and land use change. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 240: 135–147
- Gil A, Ortega RM, 2019. Introduction and Executive Summary of the Supplement, Role of Milk and Dairy Products in Health and Prevention of Noncommunicable Chronic Diseases: A Series of Systematic Reviews. *Adv. Nutr.*;10(2): S67–S73. doi: 10.1093/advances/nmz020
- Gillund P, Reksen O, Gröhn YT, Karlberg K, 2001. Body condition related to ketosis and reproductive performance in Norwegian dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 84(6):1390–6. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(01)70170-1
- Giordano JO, Fricke PM, Wiltbank MC, Cabrera VE, 2011. An economic decision-making support system for selection of reproductive management programs on dairy farms. *J. Dairy Sci.*, 94:6216–6232. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4376>
- Giordano JO, Fricke PM, Guenther JN, Lopes G, Herlihy MM, Nascimento AB, Wiltbank MC, 2012. Effect of progesterone on magnitude of the luteinizing hormone surge induced by two different doses of gonadotropin-releasing hormone in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 95:3781–3793. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5155>

- Giordano JO, Kalantari A, Fricke PM, Wiltbank MC, Cabrera VE, 2012. A daily herd Markov-chain model to study the reproductive and economic impact of reproductive programs combining timed artificial insemination and estrous detection. *J. Dairy Sci.* 95(9): 5442–5460. doi: 10.3168/jds.2011-4972
- Giordano JO, Wiltbank MC, Fricke PM, Bas S, Pawlisch R, Guenther JN, Nascimento AB, 2013. Effect of increasing GnRH and PGF2 α dose during Double-Ovsynch[®] on ovulatory response, luteal regression, and fertility of lactating dairy cows. *Theriogenology*, 80:773–783. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2013.07.003>
- Giordano JO, Thomas MJ, Catucuamba G, Curler MD, Masello M, Stangaferro ML, Wijma R, 2016. Reproductive management strategies to improve the fertility of cows with a suboptimal response to resynchronization of ovulation. *J. Dairy Sci.*, 99(4):2967–2978. doi: 10.3168/jds.2015-10223
- Givens DI, 2020. MILK Symposium review: The importance of milk and dairy foods in the diets of infants, adolescents, pregnant women, adults, and the elderly. *J Dairy Sci.*;103(11):9681–9699. doi: 10.3168/jds.2020-18296
- Gobikrushanth M, De Vries A, Santos JEP, Risco CA, Galvão KN, 2014. Effect of delayed breeding during the summer on profitability of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 97:4236–4246. doi:10.3168/jds.2013-7664
- Godden SM, Stewart SC, Fetrow JF, Rapnicki P, Cady R, Weiland W, Spencer H, Eicker SW, 2003. The relationship between herd rbST supplementation and other factors and risk for removal for cows in Minnesota Holstein dairy herds. In *Proceedures of Four-State Nutrition Conference; MWPS–4SD16; MidWest Plan Service: Ames, IA, USA; LaCrosse, WI, USA; pp. 55–64*
- Goetz P, Diepenbrock A, Wyrzykowski L, 2019. Global Dairy Trends and Drivers. Article based on the IFCN Dairy Report 2019
- Gomes Nogueira C, Oddone N, 2017. Fortalecimiento de la cadena de valor de los lácteos en la República Dominicana. *Publicación de las Naciones Unidas LC/MEX/TS.2017/15*
- González-Recio O, Alenda R, 2005. Genetic parameters for female fertility traits and a fertility index in Spanish dairy cattle. *J. Dairy Sci.*;88(9):3282–3289. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)73011-3
- González-Recio O, Alenda R, Chang YM, Weigel KA, Gianola D, 2006. Selection for Female Fertility Using Censored Fertility Traits and Investigation of the Relationship with Milk Production. *J. Dairy Sci.*; 89:4438–4444
- González-Recio, O, 2020. Así contribuye la genética animal a la Seguridad Alimentaria. Publicado en *The Conversation*. <https://theconversation.com/asi-contribuye-la-mejora-genetica-animal-a-la-seguridad-alimentaria-136526>

- González-Stagnaro C, 2005. Manual de ganadería doble propósito. EDICIONES ASTRO DATA
- Grenov B, Briend A, Sangild PT, Thymann T, Rytter MH, Hother AL, Mølgaard C, Michaelsen KF, 2016. Undernourished Children and Milk Lactose. Food Nutr. Bull.;37(1):85–99. doi: 10.1177/0379572116629024
- Grenov B, Michaelsen KF, 2018. Growth Components of Cow's Milk: Emphasis on Effects in Undernourished Children. Food Nutr. Bull.;39(2):S45–S53. doi: 10.1177/0379572118772766
- Gröhn YT, Rajala-Schultz PJ, 2000. Epidemiology of reproductive performance in dairy cows. Anim. Reprod. Sci., 60–61:605–14
- Grosshans T, Xu ZZ, Burton LJ, Johnson DL, Macmillan KL, 1997. Performance and genetic parameters for fertility of seasonal dairy cows in New Zealand. Livest. Prod. Sci., 51:41–51
- Grummer RR, Mashek DG, Hayirli A, 2004. Dry matter intake and energy balance in the transition period. Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract., 20:447–470
- Guía de las mejores técnicas disponibles para reducir el impacto ambiental de la ganadería, 2017. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente
- Guía práctica de Calificación Ambiental. Explotaciones ganaderas, 2011. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía
- Guías Alimentarias para la Población Española: recomendaciones para una dieta saludable. Sociedad Española de Nutrición Comunitaria (SENC).2001. p:1–502. Madrid; IM&C, S.A. <https://www.nutricioncomunitaria.org/>
- Gümen A., Guenther JN, Wiltbank MC, 2003. Follicular size and response to Ovsynch® versus detection of estrus in anovular and ovular lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 86:3184–3194
- Gumen A, Rastani RR, Grummer RR, Wiltbank MC, 2005. La reducción de los períodos secos y las distintas dietas parto alteran la ovulación posparto y las medidas reproductivas. J. Dairy Sci., 88:2401–2411
- Gumen A, Keskin A, Yilmazbas-Mecitoglu G, Karakaya E, Alkan A, Okut H, Wiltbank MC, 2012. Effect of presynchronization strategy before Ovsynch® on fertility at first service in lactating dairy cows. Theriogenology, 78:1830–8
- Gutierrez-Reinoso MA, Aponte PM, Garcia-Herreros M, 2021. Genomic Analysis, Progress and Future Perspectives in Dairy Cattle Selection: A Review. Animals (Basel), 11:599. <https://doi.org/10.3390/ani11030599>

- Hagemann M, Hemme T, Ndambi A, Alqaisi O, Sultana N, 2011. Benchmarking of greenhouse gas emissions of bovine milk production systems for 38 countries. *Anim. Feed Sci. Technol.*;166–167: 46–58
- Hahn GL, Gaughan JB, Mader TL, Eigenberg RA, 2009. Chapter 5: thermal indices and their applications for livestock environments. In: De Shazer JA, editor. *Livestock energetics and thermal environment management*. St. Joseph: ASABE; pp. 113–130.
- Hansen LB, Cole JB, Marx GD, Seykora AJ, 1999. Productive life and reasons for disposal of Holstein cows selected for large versus small body size. *J. Dairy Sci.*, 82(4):795–801
- Hassan FU, Nawaz A, Rehman MS, Ali MA, Dilshad SMR, Yang C, 2019. Prospects of HSP70 as a genetic marker for thermo-tolerance and immuno-modulation in animals under climate change scenario. *Anim. Nutr.*,5(4):340–350. doi: 10.1016/j.aninu.2019.06.005
- He X, Parenti M, Grip T, Domellöf M, Lönnerdal B, Hernell O, Timby N, Slupsky CM, 2019. Metabolic phenotype of breast-fed infants, and infants fed standard formula or bovine MFGM supplemented formula: a randomized controlled trial. *Sci Rep.* 23;9(1):339. doi: 10.1038/s41598-018-36292-5. Erratum in: *Sci Rep.* 2019 Aug 22;9(1):12382
- Headey D, Hirvonen K, Hoddinott J, 2018. Animal sourced foods and child stunting. *Am. J. Agric. Econ.*; 100:1302–1319. <https://doi.org/10.1093/ajae/aay053>
- Heins BJ, Hansen LB, 2012. "Short communication: Fertility, somatic cell score, and production of Normande × Holstein, Montbéliarde × Holstein, and Scandinavian Red × Holstein crossbreds versus pure Holsteins during their first 5 lactations." *J Dairy Sci.*;95: 918–924
- Henchion MM, Regan Á, Beecher M, MackenWalsh Á, 2022. Developing 'Smart' Dairy Farming Responsive to Farmers and Consumer-Citizens: A Review. *Animals (Basel)*, 12(3):360. doi: 10.3390/ani12030360
- Heras-Molina A, Pesantez Pacheco JL, Astiz S, 2020. Reproductive Efficiency in Dairy Cows: Changing Trends! In: Juan Carlos Gardón and Katy Satué, (Ed.). *Biotechnologies Applied to Animal Reproduction. Current Trends and Practical Applications for Reproductive Management*. Apple Academic Press (AAP) INC. and CRC Press Taylor and Frances Group. Florida. 32905 USA. Approx. 419p w. Hard ISBN: 9781771888714
- Herbut P, Angrecka S, Walczak J, 2018. Environmental parameters to assessing of heat stress in dairy cattle—a review. *Int. J. Biometeorol.*, 62:2089–2097. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1629-9>.
- Herd summary DHI-202, 1997. Fact sheet: A-1. Dairy Records Management Systems, Raleigh (NC)

- Herlihy MM, Giordano JO, Souza AH, Ayres H, Ferreira RM, Keskin A, Nascimento AB, Guenther JN, Gaska JM, Kacuba SJ, Crowe MA, Butler ST, Wiltbank MC, 2012. Presynchronization with double-Ovsynch® improves fertility at first postpartum artificial insemination in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*,95:7003–7014
- Heuer C, Schukken YH, Dobbelaar P, 1999. Postpartum body condition score and results from the first test day milk as predictors of disease, fertility, yield, and culling in commercial dairy herds. *J. Dairy Sci.*, 82:295–304. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75236-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75236-7)
- Holden SA, Butler ST, 2018. Review: Applications and benefits of sexed semen in dairy and beef herds. *Animal*, 12(1): s97–s103. <https://doi.org/10.1017/S1751731118000721>
- Holman A, Thompson J, Routly JE, Cameron J, Jones DN, Grove-White D, Smith RF, Dobson H, 2011. Comparison of oestrus detection methods in dairy cattle. *Vet. Rec.*, 9;169(2):47. doi: 10.1136/vr.d2344
- Holmann FJ, Shumway CR, Blake RW, *et al.*, 1984. Economic value of days open for Holstein cows of alternative milk yields with varying calving intervals. *J Dairy Sci*; 67:636–643
- Horan B, Mee JF, O'Connor P, Rath M, Dillon P, 2004. The effect of strain of Holstein-Friesian cow and feeding system on reproductive performance in seasonal-calving milk production systems. *Anim. Sci.*,79:453–467
- Horrach J, Maydier N, Bertot Valdés JA, Vázquez Montes de Oca R, Garay Durba M, 2020. Eficiencia reproductiva de sistemas vacunos en inseminación artificial. *Tendencias actuales y perspectivas. Revista de Producción Animal*,32(3), 70–78
- Hu H, Mu T, Ma Y, Wang X, Ma Y, 2021. Analysis of Longevity Traits in Holstein Cattle: A Review. *Front. Genet.*, 12. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.695543>
- Huber E, Notaro US, Recce S, Rodríguez FM, Ortega HH, Salvetti NR, Rey F, 2020. Fetal programming in dairy cows: Effect of heat stress on progeny fertility and associations with the hypothalamic-pituitary-adrenal axis functions. *Anim. Reprod. Sci.*, 216:106348. doi:10.1016/j.anireprosci.2020.106348
- Huszenicza G, Molna L, Solti L, Haraszti J, 1987. Postpartal ovarian function in Holstein and crossbred cows on large scale farms in Hungary. *J. Vet. Med. A*,34:249–263
- Ilesanmi-Oyelere BL, Kruger MC, 2020. The Role of Milk Components, Pro-, Pre-, and Synbiotic Foods in Calcium Absorption and Bone Health Maintenance. *Frontiers in nutrition*,7, 578702. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.578702>
- Inchaisri C, Hogeveen H, Vos PLAM, van der Weijden GC, Jorritsma R, 2010. Effect of milk yield characteristics, breed, and parity on success of the first insemination in Dutch dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 93:5179–5187

Inchaisri C, Jorritsma R, Vos PLAM, Van Der Weijden GC, Hogeveen H, 2010. Economic consequences of reproductive performance in dairy cattle. *Theriogenology*; 74:835–46

Inchaisri C, Jorritsma R, Vos PLAM, van der Weijden GC, Hogeveen H, 2011. Analysis of the economically optimal voluntary waiting period for first insemination. *J. Dairy Sci.*, 94(8):3811–23. doi: 10.3168/jds.2010–3790

Informe aceptado por el grupo de trabajo I del grupo intergubernamental de expertos sobre cambio climático; pero no aprobado en detalles. Resumen técnico. IPCC 2018

Informe anual de indicadores agricultura, pesca y alimentación 2019. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2020. https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/informeannual2019_online_tcm30-547983.pdf

Informe de base de datos técnico- económica. Ejercicio económico. 2020 (Redesteco-Rengrati-MAPA 2020).
https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/informebdd_vacunoleche_publicacionweb_nipo_2021_tcm30-582524.pdf

Informe de la CE al Consejo y Parlamento Europeo sobre la evolución del mercado lácteo y de las medidas para facilitar la eliminación progresiva del régimen de cuotas lácteas en 2015.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52010DC0727&from=HR>

Informe del consumo alimentario en España 2018. MAPA 2019.
https://www.mapa.gob.es/images/es/20190807_informedeconsumo2018pdf_tcm30-512256.pdf

Informe sectorial de vacuno de leche 2019. RENGRATI-MAPA, 2020.
<https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/sectores-ganaderos/red-de-granjas-tipicas/vacuno-lechero/>

Informe de coyuntura del sector vacuno de leche. MAPA 2019.
<https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/sectores-ganaderos/vacuno-lechero/informacion-del-sector/informes.aspx>

Informe de coyuntura del sector vacuno de leche. MAPA 2020
<https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/sectores-ganaderos/vacuno-lechero/informacion-del-sector/informes.aspx>

Informe de coyuntura del sector vacuno de leche. MAPA 2021.
https://www.mapa.gob.es/fr/ganaderia/estadisticas/informedecoyuntura-abril2022_tcm36-419671.pdf

Informe sobre la brecha en las emisiones del 2020. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. <https://www.unep.org/es/emissions-gap-report-2020>

Ismael A, Strandberg E, Berglund B, Kargo M, Fogh A, Løvendahl P, 2016. Genotype by environment interaction for the interval from calving to first insemination with regard to calving month and geographic location in Holstein cows in Denmark and Sweden. *J. Dairy Sci.*, 99(7):5498-5507. doi: 10.3168/jds.2015-10820

Jiménez A, 2018. Índices reproductivos más usados en explotaciones de vacas de leche, utilidad y limitaciones. *Revista Vaca Pinta* nº 1. 02.2018

Jiménez A, 2018. Cómo conseguir un 30% de tasa de preñez de 21 d en vacas de alta producción en lactación. *Revista Vaca Pinta*. Nº 7. 12.2018

Jimeno Vinatea V, Castro Madrigal T, Cabezas Albeniz A, 2013. Gestión de los costes de producción en vacuno de leche. *MG Mundo ganadero*, ISSN 0214-9192, Año 24, Nº 252:22–25

Jobst SM, Nebel RL, McGilliard ML, Pelzer KD, 2000. Evaluation of reproductive performance in lactating dairy cows with prostaglandin F_{2α}, gonadotropin-releasing hormone, and timed artificial insemination. *J. Dairy Sci.*, 83:2366–2372

Jordan ER, 2003. Effects of Heat Stress on Reproduction. *J. Dairy Sci.*, 86:E104 – E114

Kalantari AS, Cabrera VE, 2012. The effect of reproductive performance on the dairy cattle herd value assessed by integrating a daily dynamic programming model with a daily Markov chain model. *J. Dairy Sci.*, 95(10):6160–70. doi:10.3168/jds.2012-5587

Kawashima C, Fukihara S, Maeda M, Kaneko E, Montoya CA, Matsui M, Shimizu T, Matsunaga N, Kida K, Miyake Y, Schams D, Miyamoto A, 2007. Relationship between metabolic hormones and ovulation of dominant follicle during the first follicular wave post-partum in high-producing dairy cows. *Reproduction*, 133(1): 155–163

Kelley DE, Ibarbia L, Daetz R, Bittar JH, Risco CA, Santos JE, Ribeiro ES, Galvão KN, 2016. Combined use of progesterone inserts, ultrasonography, and GnRH to identify and resynchronize nonpregnant cows and heifers 21 days after timed artificial insemination. *Theriogenology*, 85(2):230–7. doi: 10.1016/j.theriogenology.2015.09.052

Keraney JF, Schutz MM, Boettcher PJ, 2004. Genotype x environment interaction for grazing vs. confinement. II. Health and reproduction traits. *J. Dairy Sci.*, 87: 510–516

Keshavarzi H, Sadeghi-Sefidmazgi A, Kristensen AR, Stygar AH, 2017. Abortion studies in Iranian dairy herds: I. Risk factors for abortion. *Livest. Sci.*, 195:45–52

- Khan IT, Nadeem M, Imran M, *et al.*, 2019. Antioxidant properties of milk and dairy products: a comprehensive review of the current knowledge. *Lipids Health Dis.*, 18(1):41. <https://doi.org/10.1186/s12944-019-0969-8>
- Kim IH, Jeong JK, 2019. Risk factors limiting first service conception rate in dairy cows and their economic impact. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.*, 32(4):519–26
- Koeck A, Jamrozik J, Schenkel FS, Moore RK, Lefebvre DM, Kelton DF, Miglior F, 2014. Genetic analysis of milk β -hydroxybutyrate and its association with fat-to-protein ratio, body condition score, clinical ketosis, and displaced abomasum in early first lactation of Canadian Holsteins. *J. Dairy Sci.*, 97(11):7286–7292. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8405>
- Kolver ES, Muller LD, 1998. Performance and Nutrient Intake of High Producing Holstein Cows Consuming Pasture or a Total Mixed Ration. *J. Dairy Sci.*, 81, 1403–1411. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75704-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75704-2)
- La distribución agroalimentaria y transformaciones estratégicas en la cadena de valor. MAPA 2008
- La leche como vehículo de salud para la población. Fundación Española de Nutrición (FEN) y Fundación Iberoamericana de Nutrición (FINUT) 2017
- La situación de los recursos zoogenéticos mundiales para la alimentación y la agricultura. Comisión de recursos genéticos para la alimentación y la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación 2010
- Laben RC, Dhanks RD, Berger PJ, Freeman AE, 1982. Factors affecting milk yield and reproductive performance. *J. Dairy Sci.*, 65:1004–1015
- Labérnia J, López-Gatius F, Santolaria P, López-Béjar M, Rutllant J, 1996. Influence of management factors on pregnancy attrition in dairy cattle. *Theriogenology*, 45:1247–1253
- Lamming GE, Darwash AO, 1998. The use of milk progesterone profiles to characterise components of subfertility in milked dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.*, 52: 175–190
- Larson SF, Butler WR, Currie WB, 1997. Reduced Fertility Associated with Low Progesterone Postbreeding and Increased Milk Urea Nitrogen in Lactating Cows. *J. Dairy Sci.*, 80:1288–1295
- LeBlanc SJ, Lissemore KD, Kelton DF, Duffield TF, Leslie KE, 2006. Major advances in disease prevention in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 89:1267–1279
- LeBlanc S, 2007. Economics of improving reproductive performance in dairy herds. *WCDS Adv. Dairy Technol.*, 19:201–214
- Lecomte M, Couëdelo L, Meugnier E, Plaisancié P, Létisse M, Benoit B, Gabert L, Penhoat A, Durand A, Pineau G, Joffre F, Géloën A, Vaysse C, Laugerette F, Michalski MC, 2016. Dietary emulsifiers

from milk and soybean differently impact adiposity and inflammation in association with modulation of colonic goblet cells in high-fat fed mice. *Mol. Nutr. Food Res.*, 60:609–620

Lee J, Kim I, 2007. Pregnancy loss in dairy cows: the contributing factors, the effects on reproductive performance and the economic impact. *J. Vet. Sci.*; 8:283–288

Liang D, Arnold L, Stowe C, Harmon R, Bewley J, 2017. Estimating US dairy clinical disease costs with a stochastic simulation model. *J. Dairy Sci.*, 100: 1472–1486

Lima FS, Bisinotto RS, Ribeiro ES, Ayres H, Greco LF, Galvão KN, Risco CA, Thatcher WW, Santos JEP, 2012. Effect of one or three timed artificial inseminations before natural service on reproductive performance of lactating dairy cows not observed for detection of estrus. *Theriogenology*, 77, 1918–1927. doi:10.1016/j.theriogenology.2012.01.011

LimaFS, Bisinotto RS, Ribeiro ES, Greco LF, Ayres H, Favoreto MG, *et al.*, 2013. Effects of 1 or 2 treatments with prostaglandin F2 α on subclinical endometritis and fertility in lactating dairy cows inseminated by timed artificial insemination. *J. Dairy Sci.*, 96:6480–6488

Liu H, Radlowski EC, Conrad MS, Li Y, Dilger RN, Johnson RW, 2014. Early supplementation of phospholipids and gangliosides affects brain and cognitive development in neonatal piglets. *J Nutr.*;144(12):1903–9. doi: 10.3945/jn.114.199828

Loeffler SH, de Vries MJ, Scukken YH, deZeeuw AC, Dijkhuizen AA, deGraaf FM, Brand A, 1999. Use of IA technician score for body condition, uterine tone and uterine discharge in a model with disease and milk production parameters to predict pregnancy risk at first AI in Holstein dairy cows. *Theriogenology*, 51:1267–1284

Löf E, Gustafsson H, Emanuelson U, 2012. Evaluation of two dairy herd reproductive performance indicators that are adjusted for voluntary waiting period. *Acta Vet. Scand.*, 54(1):5. doi:10.1186/1751-0147-54-5

Lopes G, Giordano J, Valenza A, Herlihy M, Guenther J, Wiltbank M, Fricke P, 2013. Effect of timing of initiation of resynchronization and presynchronization with gonadotropin-releasing hormone on fertility of resynchronized inseminations in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 96: 3788–3798. doi: 10.3168 / jds.2012-6429

Lopez H, Satter LD, Wiltbank MC, 2004. Relationship between level of milk production and estrous behavior of lactating dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.*, 81(3–4):209–223

Lopez H, Caraviello DZ, Satter LD, Fricke PM, Wiltbank MC, 2005. Relationship between level of milk production and multiple ovulations in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 88:2783–2793

López-Gatius F, 2003. Is fertility declining in dairy cattle? A retrospective study in northeastern Spain. *Theriogenology*, 60. 89–99

- López-Gatius F, Yániz J, Madriles-Helm D, 2003. Effects of body condition score and score change on the reproductive performance of dairy cows: A meta-analysis. *Theriogenology*, 59:801– 812
- López-Gatius F, Santolaria P, Mundet I, Yániz JL, 2005. Walking activity at estrus and subsequent fertility in dairy cows. *Theriogenology*, 63:1419–1429
- López-Gatius F, Santolaria P, Martino A, Delétang F, De Rensis F, 2006. The effects of GnRH treatment at the time of AI and 12 days later on reproductive performance of high producing dairy cows during the warm season in northeastern Spain. *Theriogenology*, 65(4):820–30. doi: 10.1016/j.theriogenology.2005.07.002
- Losinger WC, Heinrichs AJ, 1996. Dairy operation management practices and herd milk production. *J. Dairy Sci.*, 79:506–514
- Lucy MC, Staples CR, Thatcher WW, Erickson PS, Cleale RM, Firkins JL, *et al.*, 1992. Influence of diet composition, dry-matter intake, milk production and energy balance on time of post-partum ovulation and fertility in dairy cows. *Anim. Prod.*, 54:323–331
- Lucy MC, 2001. Reproductive loss in high-producing dairy cattle: where will it end? *J. Dairy Sci.*; 84:1277–1293
- Lucy MC, 2005. Second insemination breeding strategies for dairy cows. *Adv. Dairy Technol.*, 17:149–157
- Lucy MC, 2007. Fertility in high-producing dairy cows: reasons for decline and corrective strategies for sustainable improvement. *Soc. Reprod. Fertil.*, 64:237–54. doi: 10.5661/rdr-vi-237
- Lucy MC, 2019. Symposium review: Selection for fertility in the modern dairy cow-Current status and future direction for genetic selection. *J. Dairy Sci.*,102(4):3706–3721
- Ly LH, Ryan EB, Weary DM, 2021. Public attitudes toward dairy farm practices and technology related to milk production. *PLoS ONE.*;16:e0250850. doi: 10.1371/journal.pone.0250850
- MacLeod M, Gerber P, Mottet A, Tempio G, Falcucci A, Opio C, Vellinga T, Henderson B, Steinfeld H, 2013b. Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains – A global life cycle assessment. *FAO*, Roma
- Macmillan KL, 2010. Recent advances in the synchronization of estrus and ovulation in dairy cows. *J. Reprod. Dev.*,56:42–7. doi: 10.1262/jrd.1056s42
- Macmillan K, Gobikrushanth M, Behrouzi A, López-Helguera I, Cook N, Hoff B, Colazo, MG, 2020. The association of circulating prepartum metabolites, minerals, cytokines and hormones with postpartum health status in dairy cattle. *Res. Vet. Sci.*,130, 126–132

- Madureira AM, Silper BF, Burnett TA, *et al.*, 2015. Factors affecting expression of estrus measured by activity monitors and conception risk of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 98:7003–7014
- Marangoni F, Pellegrino L, Verduci E, Ghiselli A, Bernabei R, Calvani R, Cetin I, Giampietro M, Perticone F, Piretta L, Giacco R, La Vecchia C, Brandi ML, Ballardini D, Banderali G, Bellentani S, Canzone G, Cricelli C, Faggiano P, Ferrara N, Flachi E, Gonnelli S, Macca C, Magni P, Marelli G, Marrocco W, Miniello VL, Origo C, Pietrantonio F, Silvestri P, Stella R, Strazzullo P, Troiano E, Poli A, 2019. Cow's Milk Consumption and Health: A Health Professional's Guide. *J. Am. Coll. Nutr.*, 38(3):197–208. doi: 10.1080/07315724.2018.1491016
- Martin O, Blavy P, Derks M, Friggens NC, Blanc F, 2019. Coupling a reproductive function model to a productive function model to simulate lifetime performance in dairy cows. *Animal*, 55(3): 570–579. doi: <https://doi.org/10.1017/S1751731118001830>
- McArt JAA, Nydam DV, Oetzel GR, Overton TR, Ospina PA, 2013. Elevated non-esterified fatty acids and b-hydroxybutyrate and their association with transition dairy cow performance. *Vet. J.*, 198:560–570
- McClary D, Rapnicki P, Overton M, 2014. The Vital 90™ Days and Why It's Important to a Successful Lactation. Elanco Animal Health
- McDowgal S, 2006. Reproduction Performance and Management on Dairy Cattle. *J. Reprod. Dev.* 52,1
- Meadows Ch, 2005. Reproductive Record Analysis En: Frazer GS. ed. *Bovine Theriogenology*. *Vet. Clinics North America: Food Anim Pract.*; 21: 305–323
- Meikle A, Kulcsar M, Chilliard Y, Febel H, Delavaud C, Cavestany D, Chilbroste P, 2004. Effects of parity and body condition at parturition on endocrine and reproductive parameters of the cow. *Reproduction*, 127(6), 727–737
- Meléndez P, Pinedo P, 2007. The association between reproductive performance and milk yield in Chilean Holstein cattle. *J. Dairy Sci.*, 90:184–192
- Michaelsen KF, Nielsen AL, Roos N, Friis H, Mølgaard C, 2011. Cow's milk in treatment of moderate and severe undernutrition in low-income countries. *Nestle Nutr Workshop Ser Pediatr Program.*;67:99–111. doi: 10.1159/000325578
- Middleton E, Minela T, Pursley JR, 2019. The high-fertility cycle: How timely pregnancies in one lactation may lead to less body condition loss, fewer health issues, greater fertility, and reduced early pregnancy losses in the next lactation. *J. Dairy Sci.*, 102: 5577–5587. doi: 10.3168 / jds.2018-15828
- Miglior F, Muir BL, Van Doormaal BJ, 2005. Selection indices in Holstein cattle of various countries. *J. Dairy Sci.*, 88:1255–1263

- Miglior F, Fleming A, Malchiodi F, Brito LF, Martin P, Baes CF, 2017. A 100- Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 100:10251–10271
- Miller P, Van Vleck LD, Henderson CR, 1967. Relationships among herd life, milk production, and calving interval. *J. Dairy Sci.*, 50:1283–1287
- Momcilovic D, Archbald LF, Walters A, Tran T, Kelbert D, Risco C, Thatcher WW, 1998. Reproductive performance of lactating dairy cows treated with gonadotropin-releasing hormone (GnRH) and/or prostaglandin F2a (PGF2 α) for synchronization of estrus and ovulation. *Theriogenology*, 50:1131–1139
- Momont H, 1990. Rectal palpation: safety issues. *Bovine Pract.*, 25:122–123
- Monteiro AP, Tao S, Thompson IM, Dahl GE, 2014. Effect of heat stress during late gestation on immune function and growth performance of calves: isolation of altered colostral and calf factors. *J. Dairy Sci.*, 97(10):6426–39. doi: 10.3168/jds.2013-7891
- Monteiro APA, Tao S, Thompson IMT, Dahl GE, 2016. In utero heat stress decreases calf survival and performance through the first lactation. *J. Dairy Sci.*, 99(10):8443–8450. doi: 10.3168/jds.2016-11072
- Monteiro Novo A, Slingerland M, Jansen K, Kanellopoulos A, Giller KE, 2013. Feasibility and competitiveness of intensive smallholder dairy farming in Brazil in comparison with soya and sugarcane: Case study of the Balde Cheio Programme. *Agric. Syst.*, 121 (2013) 63–72
- Monteiro PLJ, Borsato M, Silva FLM, Prata AB, Wiltbank MC, Sartori R, 2015. Increasing estradiol benzoate, pretreatment with gonadotropin-releasing hormone, and impediments for successful estradiol-based fixed-time artificial insemination protocols in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 98:3826–3839
- Monteiro PLJ, Gonzales B, Drum JN, Santos JEP, Wiltbank MC, Sartori R, 2021. Prevalence and risk factors related to anovular phenotypes in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 104(2):2369–2383. doi: 10.3168/jds.2020-18828
- Montesdeoca Párraga RR, Benítez Cortez I, Macías Andrade EF, Rivadeneira García RT, Sacón Vera E, 2017. Una visión tecno-socioeconómica regional con énfasis en la eficiencia de la cadena de lácteos en los últimos treinta años. *RECA*, 1(2)
- Moore K, Thatcher WW, 2006. Major advances associated with reproduction in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 89(16537958):1254–1266
- Morales MV, 2018. Confort de los trabajadores en las granjas lecheras. *Revista frisona*. Artículos técnicos nº 227

- Moreira F, Risco C, Pires M, Ambrose D, Drost M, DeLorenzo M, Thatcher W, 2000. The Effect of body condition on reproductive efficiency of lactating dairy cows receiving a timed insemination. *Theriogenology*. 53:1305–19
- Moreira F, Orlandi C, Risco CA, Mattos R, Lopes FL, Thatcher WW, 2001. Effects of presynchronization and bovine somatotropin on pregnancy rates to a timed artificial insemination protocol in lactating dairy cows. *J. DairySci.*, 84: 1646–1659
- Morrell JM, 2020. Heat stress and bull fertility. *Theriogenology*, 153:62–67. doi:10.1016/j.theriogenology.2020.05.014
- Moscovici JA, Pierce KM, Garvey N, Shalloo L, O’Callaghan TF, 2021. Invited review: A 2020 perspective on pasture-based dairy systems and products. *J. Dairy Sci.*, 104:7364–7382. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19776>
- Moukarzel S, Dyer RA, Garcia C, Wiedeman AM, Boyce G, Weinberg J, Keller BO, Elango R, Innis SM, 2018. Milk Fat Globule Membrane Supplementation in Formula-fed Rat Pups Improves Reflex Development and May Alter Brain Lipid Composition. *Scientific reports*, 8(1), 15277. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33603-8>
- Mrode R, Ojango JMK, Okeyo AM, Mwacharo JM, 2019. Genomic Selection and Use of Molecular Tools in Breeding Programs for Indigenous and Crossbred Cattle in Developing Countries: Current Status and Future Prospects. *Front. Genet*, 9
- Muehlhoff E, Bennett A, McMahon D, 2013. Milk and dairy products in human nutrition. FAO, Rome, Italy
- Mueller ML, Van Eenennaam AL, 2022. Synergistic power of genomic selection, assisted reproductive technologies, and gene editing to drive genetic improvement of cattle. *CABI Agric. Biosci.* 3, 13. <https://doi.org/10.1186/s43170-022-00080-z>
- Myers ML. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Sectores basados en recursos biológicos cap. 70 Ganadería y cría de animales, pp 70.2–70.7. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/Tomo3/70.pdf
- Myers SS, 2009. Global Environmental Change: The Threat to Human Health. *Worldwatch Report* 181. Worldwatch Institute
- Nature Journal: Counting the hidden \$12-trillion cost of a broken food system, 2019. *Nature*, 574(7778):296. doi: 10.1038/d41586-019-03117-y
- Neave HW, Sumner CL, Henwood RJT, Zobel G, Saunders K, Thoday H, Watson T, Webster JR, 2022. Dairy farmers’ perspectives on providing cow-calf contact in the pasture-based systems of New Zealand. *J. Dairy Sci.*, 105:453–467. doi:10.3168/jds.2021-21047

- Nebel RL, McGilliard ML, 1993. Interactions of High Milk Yield and Reproductive Performance In Dairy Cows. *J. Dairy Sci.*; 76:3257–3268
- Neves RC, Leslie KE, Walton JS, Leblanc SJ, 2012. Reproductive performance with an automated activity monitoring system versus a synchronized breeding program. *J. Dairy Sci.*, 95(10):5683–93. doi: 10.3168/jds.2011-5264
- Norris GH, Jiang C, Ryan J, Porter CM, Blesso CN, 2016. Milk sphingomyelin improves lipid metabolism and alters gut microbiota in high fat diet-fed mice. *J. Nutr. Biochem.*, 30:93-101. doi: 10.1016/j.jnutbio.2015.12.003
- Norris GH, Porter CM, Jiang C, Blesso CN, 2017. Dietary Milk Sphingomyelin Reduces Systemic Inflammation in Diet–Induced Obese Mice and Inhibits LPS Activity in Macrophages. *Beverages*, 3(3):37. doi: <https://doi.org/10.3390/beverages3030037>
- Norris GH, Milard M, Michalski MC, Blesso CN, 2019. Protective properties of milk sphingomyelin against dysfunctional lipid metabolism, gut dysbiosis, and inflammation. *J. Nutr. Biochem.*, 73, 108224. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2019.108224>
- Nota informativa sobre el Avance de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero correspondientes al año 2020. MITECO 2021
- Noticia “Los ganaderos de vacuno de leche se manifiestan en Madrid contra los abusos de la industria y la distribución”. *Revista Frisona española*, 28.01.22. <https://www.revistafrisona.com/Noticia/los-ganaderos-de-vacuno-de-leche-se-manifiestan-en-madrid-contra-los-abusos-de-la-industria-y-la-distribucion>
- Noticias rtve 12.01.22 <https://www.rtve.es/noticias/20220112/macrogranja-cuanto-contamina-ganaderia-intensiva/2252420.shtml>
- Nuevo borrador del “Proyecto de Real Decreto por el que se establecen normas básicas de ordenación de las granjas bovinas”. Requisitos del Gobierno para las nuevas granjas de vacuno de leche. Redacción *Revista Frisona*, 3 de febrero de 2022. <https://www.revistafrisona.com/Noticia/nuevo-borrador-del-proyecto-de-real-decreto-por-el-que-se-establecen-normas-basicas-de-ordenacion-de-las-granjas-bovinas>
- OCDE/FAO (2011). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2011–2020*, OECD Publishing and FAO (disponible también en http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2011-en)
- Oltenacu PA, Ferguson JD, Lednor AJ, 1990. Economic evaluation of pregnancy diagnosis in dairy cattle: A decision analysis approach. *J. Dairy Sci.*, 73:2826–2831
- Oltenacu PA, Frick A, Lindhe B, 1991. Relationship of fertility to milk yield in Swedish cattle. *J. Dairy Sci.*, 74:264–268

- Opsomer G, Coryn M, Deluyker H, Kruif AD, 1998. An analysis of ovarian dysfunction in high yielding dairy cows after calving based on progesterone profiles. *Reprod. Dom. Anim.*, 33: 193–204
- Opsomer G, Gröhn YT, Hertl J, Deluycker H, Coryn M, de Kruif A, 2000. Risk factors for postpartum ovarian dysfunction in high producing dairy cows in Belgium: a field study. *Theriogenology*, 53:841–857. doi: 10.1016/S0093-691X(00)00234-X
- Ortega RM, Jiménez Ortega AI, Perea Sánchez JM, Cuadrado Soto E, Aparicio Vizuite A, López-Sobaler AM, 2019. Valor nutricional de los lácteos y consumo diario aconsejado [Nutritional value of dairy products and recommended daily consumption]. *Nutr Hosp.*;36(Spec No3):25–29. doi: 10.20960/nh.02803
- Ortega-Anaya J, Jiménez-Flores R, 2019. Symposium review: The relevance of bovine milk phospholipids in human nutrition—Evidence of the effect on infant gut and brain development. *J. Dairy Sci.*, 102, 3: 2738–2748. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15342>
- Osei-Amponsah R, Chauhan SS, Leury BJ, Cheng L, Cullen B, Clarke IJ, Dunshea FR, 2019. Genetic Selection for Thermotolerance in Ruminants. *Animals (Basel)*, 11;9(11):948. doi: 10.3390/ani9110948
- Oseni S, Misztal I, Tsuruta S, Rekaya R, 2004. Genetic components of days open under heat stress. *J. Dairy Sci.*, 87: 3022–3028
- Østergaard S, Friggens NC, Chagunda MGG, 2005. Technical and economic effects of an inline progesterone indicator in a dairy herd estimated by stochastic simulation. *Theriogenology*; 64 (16054489):819–843. doi: 10.1016/j.theriogenology.2004.10.022
- Ouellet V, Boucher A, Dahl GE, Laporta J, 2021. Consequences of maternal heat stress at different stages of embryonic and fetal development on dairy cows' progeny. *Anim. Front.*, 17;11(6):48–56. doi: 10.1093/af/vfab059
- Overton MW, Cabrera VE, 2017. *Large Dairy Herd Management*. 3rd ed. American Dairy Science Association; Champaign, IL, USA. Monitoring and quantifying the value of change in reproductive performance; pp. 549–564
- Paisley LG, Mickelson WD, Frost OL, 1978. A survey of the incidence of prenatal mortality in cattle following pregnancy diagnosis by rectal palpation. *Theriogenology*, 9:481–491
- Parmigiani E, Ball L, Lefever D, Rupp G, SeidelG, 1978. Elective termination of pregnancy in cattle by manual abortion. *Theriogenology*, 10:283–290
- Petersson KJ, Berglund B, Strandberg E, Gustafsson H, Flint APF, Woolliams JA, Royal MD, 2007. Genetic analysis of postpartum measures of luteal activity in dairy cows. *J. Dairy Sci.*; 90:427–434

- Petersson KJ, Strandberg E, Gustafsson H, Royal MD, Berglund B, 2008. Detection of delayed cyclicity in dairy cows based on progesterone content in monthly milk samples. *Prev. Vet. Med.*, 15;86(1–2):153–163. doi: 10.1016/j.prevetmed.2008.04.001
- Polsky L, von Keyserlingk MAG, 2017. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J. Dairy Sci.*, 100:8645–8657. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
- Poock S, Horner J, Milhollin R, 2009. Missouri Dairy Growth Council: Dairy cattle reproductive manual. University of Missouri: University of Missouri Extension Commercial Agriculture Program
- Poore J, Nemecek T, 2018. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*;360(6392):987–992. doi: 10.1126/science.aaq0216. Erratum in: *Science*. 2019;363(6429)
- Portaluppi MA, Stevenson JS, 2005. Pregnancy rates in lactating dairy cows after presynchronization of estrous cycles and variations of the Ovsynch® protocol. *J. Dairy Sci.*, 88:914–921
- Prospects for Agricultural markets and income 2008–2015, 2009. Economic analysis and market forecasts. Agricultural and Rural Development
- Pryce JE, Coffey MP, Simm G, 2001. The relationship between body condition score and reproductive performance. *J. Dairy Sci.*, 84:1508–1515
- Pryce JE, Veerkamp RF, 2001. The incorporation of fertility indices in genetic improvement programmes. In: *Fertility in the high producing dairy cow*; Publication 26. BSAS, 237–249
- Pryce JE, Royal MD, Garnsworthy PC, Mao IL, 2004. Fertility in the high-producing dairy cow. *Livest. Prod. Sci.*, 86:125–135
- Pursley JR, Mee MO, Wiltbank MC, 1995. Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF₂alpha and GnRH. *Theriogenology*, 44(7):915–23. doi: 10.1016/0093-691x(95)00279-h
- Pursley JR, Kosorok MR, Wiltbank MC, 1997. Reproductive management of lactating dairy cows using synchronization of ovulation. *J. Dairy Sci.*, 80(2):301–306
- Pursley JR, Silcox RW Wiltbank MC, 1998. Effect of Time of Artificial Insemination on Pregnancy Rates, Calving Rates, Pregnancy Loss, and Gender Ratio After Synchronization of Ovulation in Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.*, 81:2139–2144
- Raheja KL, Burnside EB, Schaeffer LR, 1989. Relationships between fertility and production in Holstein dairy cattle in different lactations. *J. Dairy Sci.*, 72(10):2670–8

Regan Á, Kenny U, Macken-Walsh Á, 2022. What does the public want to know about farming? Findings from a farmer-initiated public consultation exercise in Ireland. *Sustainability*, 14:5391. under review

Resultados del ejercicio económico 2017, Vacuno de leche. Rengrati- MAPA 2018

Revilla A, Romero C, 2016. El sector lácteo español en la encrucijada. Serie economía. Parte III, pp 337–367. Cajamar Caja Rural

Reyes E, 2018. ¿Qué pasa con el tamaño de las granjas lecheras a nivel mundial? <https://www.blog.especialistasenovillas.es/posts/tamano-granjas-lecheras.aspx>

Rezende FM, Nani JP, Peñagaricano F, 2019. Genomic prediction of bull fertility in US Jersey dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 102(4):3230–3240. doi: 10.3168/jds.2018-15810

Rgto (CEE) nº 804/68 del Consejo de 27 de junio de 1968, por el que se establece la Organización común de Mercados en el sector de la leche y de los productos lácteos

Rgto (CEE) nº856/84 del Consejo, de 31 de marzo de 1984

Ribeiro ES, Galvão KN, Thatcher WW, Santos JEP, 2012. Economic aspects of applying reproductive technologies to dairy herds. *Anim. Reprod.*, 9(3):370–387

Ribeiro ES, Lima FS, Greco LF, Bisinotto RS, Monteiro APA, Favoreto M, *et al.*, 2013. Prevalence of periparturient diseases and effects on fertility of seasonally calving grazing dairy cows supplemented with concentrates. *J. Dairy Sci.*, 96:5682–5697

Ribeiro ES, Bruno RG, Farias AM, Hernández-Rivera JÁ, Gomes GC, Surjus R, Becker LF, Birt A, Ott TL, Branen JR, Sasser RG, Keisler DH, Thatcher WW, Bilby TR, Santos JE, 2014. Low doses of bovine somatotropin enhance conceptus development and fertility in lactating dairy cows. *Biol. Reprod.*, 90:10

Ribeiro ES, Gomes G, Greco LF, Cerri RLA, Vieira-Neto A, Monteiro PLJ, *et al.*, 2016. Carryover effect of postpartum inflammatory diseases on developmental biology and fertility in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 99:2201–2220

Ricci A, Carvalho PD, Amundson MC, Fourdraine RH, Vincenti L, Fricke PM, 2015. Factors associated with pregnancy-associated glycoprotein (PAG) levels in plasma and milk of Holstein cows during early pregnancy and their effect on the accuracy of pregnancy diagnosis. *J. Dairy Sci.*, 98(4):2502–14. doi: 10.3168/jds.2014-8974

Ricci A, Li M, Fricke P, Cabrera VE, 2020. Short communication: Economic impact among 7 reproductive programs for lactating dairy cows, including a sensitivity analysis of the cost of hormonal treatments. *J. Dairy Sci.*, 103:5654–5661. doi: 10.3168/jds.2019-17658

- Richardson R, Mortimer R, Whittier J, 2010. Comparison of Fetal Losses from Diagnosis of Pregnancy Using Ultrasonography or Rectal Palpation in Beef Heifers by Novice or Experienced Technicians. *Prof. Anim. Sci.*, 26. doi: [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30613-6](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30613-6)
- Roberts SJ, 1971. *Veterinary obstetrics and genital diseases*. Ithaca, NY: Published by the author
- Rocha A, Rocha S, Carvalheira J, 2001. Reproductive parameters and efficiency of inseminators in dairy farms in Portugal. *Reprod. Domest. Anim.*, 36: 319–324
- Roche JF, Minm M, Diskin MG, Ireland JJ, 1998. A review of regulation of follicle growth in cattle. *J. Anim. Sci.*, 76:16–29
- Roelofs J, López-Gatius F, Hunter RH, van Eerdenburg FJ, Hanzen Ch, 2010. When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Theriogenology*, 74:327–344
- Romano JE, Thompson JA, Forrest DW, Westhusin ME, Tomaszewski MA, Kraemer DC, 2006. Early pregnancy diagnosis by transrectal ultrasonography in dairy cattle. *Theriogenology*, 66, 1034–1041
- Romano JE, Thompson JA, Kraemer DC, Westhusin ME, Forrest DW, Tomaszewski MA, 2007. Early pregnancy diagnosis by palpation per rectum: Influence on embryo/fetal viability in dairy cattle. *Theriogenology* 67: 486–493. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.08.011>
- Romano JE, Thompson JA, Kraemer DC, Westhusin ME, Tomaszewski MA, Forrest DW, 2011. Effects of early pregnancy diagnosis by palpation per rectum on pregnancy loss in dairy cattle. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 239(21879969):668–673
- Romano JE, Bryan K, Ramos RS, Velez J, Pinedo P, 2016. Effect of early pregnancy diagnosis by per rectum amniotic sac palpation on pregnancy loss, calving rates, and abnormalities in newborn dairy calves. *Theriogenology.*, 85(3):419–27. <https://doi: 10.1016/j.theriogenology.2015.09.004>
- Röös E, Bajželj B, Smith P, Patel M, Little D, Garnett T (2017). Greedy or needy? Land use and climate impacts of food in 2050 under different livestock futures. *Glob. Environ. Change*, 47: 1–12
- Rorie RW, Bilby TR, Lester TD, 2002. Application of electronic estrus detection technologies to reproductive management of cattle. *Theriogenology*, 57:137–148
- Roth Z, 2020. Influence of heat stress on reproduction in dairy cows—physiological and practical aspects. *J. Anim. Sci.*, 98:S80–S87. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa139>

- Roth Z, 2022. Cooling is the predominant strategy to alleviate the effects of heat stress on dairy cows. *Reprod. Dom. Anim.*, 57:16–22. **¡Error! Referencia de hipervínculo no válida.**
- Rotz CA, Montes F, Chianese DS, 2010. The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment. *J. Dairy Sci.*; 93: 1266–1282
- Rozenberg S, Body JJ, Bruyère O, *et al.*, 2016. Effects of Dairy Products Consumption on Health: Benefits and Beliefs-A Commentary from the Belgian Bone Club and the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis and Musculoskeletal Diseases. *Calcif Tissue Int*;98(1):1–17
- Ruegg PL, Milton RL, 1995. Body condition scores of Holstein cows on Prince Edward Island, Canada: Relationships with yield, reproductive performance, and disease. *J. Dairy Sci.* 78:552–564
- Rutten CJ, Steeneveld W, Inchaisri C, Hogeveen H, 2014. An ex ante analysis on the use of activity meters for automated estrus detection: To invest or not to invest? *J. Dairy Sci.*, 97(25242421):6869–6887. doi:10.3168/jds.2014-7948
- Sakaguchi M, 2011. Practical aspects of the fertility of dairy cattle. *J. Reprod. Dev.*;57(1):17–33. doi: 10.1262/jrd.10-197e
- Salas-Salvadó J, Babio N, Juárez-Iglesias M, Picó C, Ros E, Moreno Aznar LA, 2018. En nombre del Foro de Debate sobre Lácteos en España. Importancia de los alimentos lácteos en la salud cardiovascular: ¿enteros o desnatados? *Nutr. Hosp.*, 35(4):1479–1490. doi:http://dx.doi.org/10.20960/nh.2353
- Sammad A, Umer S, Shi R, Zhu H, Zhao X, Wang Y, 2020. Dairy cow reproduction under the influence of heat stress. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*, 104(4):978–986. doi: 10.1111/jpn.13257
- Santos V, Carvalho P, Maia C, Carneiro B, Valenza A, Fricke P, 2017. Fertility of lactating Holstein cows submitted to a Double-Ovsynch® protocol and timed artificial insemination versus artificial insemination after synchronization of estrus at a similar day in milk range. *J. Dairy Sci.*, 100(10):8507–8517. doi: 10.3168 / jds.2017-13210
- Santos JEP, Thatcher WW, Chebel RC, Cerri RLA, Galvão KN, 2004. The effect of embryonic death rates in cattle on the efficacy of estrus synchronization programs. *Anim. Reprod. Sci.*, 82–83: 513–535, doi: 10.1016/j.anireprosci.2004.04.015
- Santos JEP, Juchem SO, Cerri RLA, Galvão KN, Chebel RC, Thatcher WW, Dei CS, Bilby CR, 2004a. Effect of bST and reproductive management on reproductive performance of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 87:868–881

- Santos JEP, 2007. Programas de reproducción para vacas lecheras en lactación. *Revista Frisona Española* 160:102–110
- Santos JEP, Rutigliano HM, Filho MFS, 2009. Risk factors for resumption of postpartum estrous cycles and embryonic survival in lactating dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.*, 110:207–221 doi: 10.1016/j.anireprosci.2008.01.014
- Santos JEP, Bisinotto RS, Ribeiro ES, Lima FS, Greco LF, Staples CR, Thatcher WW, 2010. Aplicación de la nutrición y fisiología para mejorar la reproducción en ganado lechero. *Soc. Reprod. Fertility Suppl.*, 67: 387–404. doi: 10.5661 / RDR-VII-387
- Santos JEP, Sartori R, 2016. Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. *Theriogenology*, 86, 239–253
- Sartori R, Bastos MR, Wiltbank MC, 2010. Factors affecting fertilisation and early embryo quality in single-and superovulated dairy cattle. *Reprod. Fertil. Dev.*, 22:151–158
- Savio JD, Boland MP, Hynes N, Roche JF, 1990. Resumption of follicular activity in the early postpartum period of dairy cows. *J. Reprod. Fertil.*, 88(2):569–79. doi: 10.1530/jrf.0.0880569
- Schmidt GH, 1989. Economics of Using Bovine Somatotropin in Dairy Cows and Potential Impact on the US Dairy Industry. *J. Dairy Sci.*;72, 3:737–745. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79167-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79167-0)
- Schmidt GH, 1989. Effect of length of calving interval on income over feed and variable costs. *J. Dairy Sci.*, 72:1605–1611
- Scott TA, Yandell B, Zepeda L, Shaver RD, Smith TR, 1996. Use of lactation curves for analysis of milk production data. *J. Dairy Sci.*, 79:1885–1894. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76557-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76557-8)
- Serrano Martínez E; Ruiz Mantecón A, 2003. *Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 199:159–191
- Shahid M, Reneau J, Chester-Jones H, Chebel R, Endres M, 2015. Cow- and herd-level risk factors for on-farm mortality in Midwest US dairy herds. *J. Dairy Sci.*, 98, 4401–4413
- Sheldon IM, Dobson H, 2000. Effect of administration of eCG to postpartum cows on folliculogenesis in the ovary ipsilateral to the previously gravid uterine horn and uterine involution. *J. Reprod. Fertil.*, 119:157–63
- Shiff O, Lavon Y, Wolfenson D, Roth Z, 2018. Effect of exogenous progesterone supplementation on conception rate of lactating cows in the summer. *The 30th Annual Cattle Production Conference*, Jerusalem, Israel, p. 125–126

- Shiotani A, Fukushima S, Matsumoto H, 2019. Carcinogenesis and Gut Microbiota. *Gan To Kagaku Ryoho*;46(2):199–204
- Shrestha HK, Nakao T, Higaki T, Suzuki T, Akita M, 2004. Resumption of postpartum ovarian cyclicity in high-producing Holstein cows. *Theriogenology* 61:637–649. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(03\)00233-4](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(03)00233-4)
- Shrestha HK, Nakao T, Suzuki T, Higaki T, Akita M, 2004. Effects of abnormal ovarian cycles during pre-service period postpartum on subsequent reproductive performance of high-producing Holstein cows. *Theriogenology*,61(7–8):1559–1571
- Siberski-Cooper CJ, Koltjes JE, 2021. Opportunities to Harness High-Throughput and Novel Sensing Phenotypes to Improve Feed Efficiency in Dairy Cattle. *Animals (Basel)*, 12(1):15. doi: 10.3390/ani12010015
- Sice M, Gómez-Martín A, Gomis J, 2022. Presente y futuro del diagnóstico de gestación en el ganado bovino. *Diagnóstico de gestación en bovinos. AN. VET.* 35: 1–18
- Silke V, Diskin M, Kenny D, Boland M, Dillon P, Mee J, *et al.*, 2002. Extent, pattern and factors associated with late embryonic loss in dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.*, 71:1–12
- Silpa MV, König S, Sejian V, Malik PK, Nair MRR, Fonseca VFC, Maia ASC, Bhatta R, 2021. Climate-Resilient Dairy Cattle Production: Applications of Genomic Tools and Statistical Models. *Front. Vet. Sci.*, 29(8):625189. doi: 10.3389/fvets.2021.625189
- Smith DL, Smith T, Rude BJ, Ward SH, 2013. Short communication: comparison of the effects of heat stress on milk and component yields and somatic cell score in Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.*, 96:3028–3033. doi: 10.3168/jds.2012-5737
- Sociedad Española de Nutrición Comunitaria (SENC). *Guías Alimentarias para la Población Española: recomendaciones para una dieta saludable.* Madrid; IM&C, S.A.2001. p:1–502
- Soll-Kleemann S, O’Riordan T, 2015. The Sustainability Challenges of Our Meat and Dairy Diets. *Environ. Sci. Policy.*, 57(3):34–48. DOI: 10.1080/00139157.2015.1025644
- Sørensen JT, Østergaard S, 2003. Economic consequences of postponed first insemination of cows in a dairy cattle herd. *Livest. Prod. Sci.*, 79:145–153
- Souza AH, Ayres H, Ferreira RM, Wiltbank MC, 2008. A new presynchronization system (Double-Ovsynch®) increases fertility at first postpartum timed AI in lactating dairy cows. *Theriogenology*, 70:208–215

- Stangaferro ML, Wijma R, Masello M, Thomas MJ, Giordano JO, 2018. Economic performance of lactating dairy cows submitted for first service timed artificial insemination after a voluntary waiting period of 60 or 88 days. *J. Dairy Sci.*, 101(8):7500–7516. doi: 10.3168/jds.2018-14484
- Stanton TL; Jones LR; Everett RW; Kachman SD, 1992. Estimating milk, fat, and protein lactation curves with a test day model. *J. Dairy Sci.*; 75:1691–1700. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77926-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77926-0)
- Staples CR, Thatcher WW, Clark JH, 1990. Relationship between ovarian activity and energy status during the early postpartum period of high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 73:938–947
- Starbuck MJ, Dailey RA, Inskip EK, 2004. Factors affecting retention of early pregnancy in dairy cattle. *Anim. Reprod. Sci.*, 84:27–39
- Statham J, 2016. Overview of Management of Reproduction: Cattle. MSD Veterinary Manual. <https://www.msdsvetmanual.com/management-and-nutrition/management-of-reproduction-cattle/overview-of-management-of-reproduction-cattle>
- Sterry RA, Jardon PW, Fricke PM, 2007. Effect of timing of Cosynch on fertility of lactating Holstein cows after first postpartum and Resynch timed-AI services. *Theriogenology*, 67(7):1211–6. doi: 10.1016/j.theriogenology.2007.01.004
- Stevenson JS, 2007. Clinical reproductive physiology of the cow. in: Youngquist R.S. Threlfall W.R. *Current Therapy in Large Animal Theriogenology*, 2nd ed. W.B. Saunders Co, Philadelphia, PA2007:286
- Stevenson JS, 2011. Alternative programs to presynchronize estrous cycles in dairy cattle before a timed artificial insemination program. *J. Dairy Sci.*, 94(1):205–217
- Stevenson JS, Pulley SL, 2012. Pregnancy per artificial insemination after presynchronizing estrous cycles with the Presynch-10 protocol or prostaglandin F₂ α injection followed by gonadotropin-releasing hormone before Ovsynch[®]-56 in 4 dairy herds of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 95(11):6513–6522
- Stevenson JS, Pulley SL, Mellieon HI, 2012. Prostaglandin F₂ α and gonadotropin-releasing hormone administration improve progesterone status, luteal number, and proportion of ovular and anovular dairy cows with corpora lutea before a timed artificial insemination program. *J. Dairy Sci.*, 95(4):1831–1844
- Stevenson JS, 2016. Synchronization and Artificial Insemination Strategies in Dairy Herds. *Vet. Clin. Food Anim.*, 32:349–364. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cvfa.2016.01.007>
- Stevenson JS, Britt JH, 2017. A 100-year review: Practical female reproductive management. *J. Dairy Sci.*, 100 (29153166):10292–10313. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12959>

- Stevenson JS, Britt JH, 2017. A 100-Year Review: Practical female reproductive management. *J. Dairy Sci.*, 100(12):10292–10313. doi: 10.3168/jds.2017-12959
- Stobaugh HC, Ryan KN, Kennedy JA, Grise JB, Crocker AH, Thakwalakwa C, Litkowski PE, Maleta KM, Manary MJ, Trehan I, 2016. Including whey protein and whey permeate in ready-to-use supplementary food improves recovery rates in children with moderate acute malnutrition: a randomized, double-blind clinical trial. *Am. J. Clin. Nutr.*, 103(3):926–33. doi: 10.3945/ajcn.115.124636
- Stoll-Kleemann S, O’Riordan T, 2015. The Sustainability Challenges of Our Meat and Dairy Diets. *Environ. Sci. Policy for Sustainable Development*; 57(3):34–48. doi:10.1080/00139157.2015.1025644
- Stoll-Kleemann S, Schmidt UJ, 2017. Reducing meat consumption in developed and transition countries to counter climate change and biodiversity loss: a review of influence factors. *Reg. Environ. Change*, 17 (5), 1261–1277
- Strickland JM, Wisnieski L, Herdt TH, Sordillo LM, 2021. Serum retinol, β -carotene, and α -tocopherol as biomarkers for disease risk and milk production in periparturient dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 104 (1):915–927
- Suri DJ, Moorthy D, Rosenberg IH, 2016. The Role of Dairy in Effectiveness and Cost of Treatment of Children With Moderate Acute Malnutrition: A Narrative Review. *Food Nutr. Bull.*;37(2):176–85. doi: 10.1177/0379572116633327
- Szenci O, Gyulai G, Nagy P, Kovács L, Varga J, Taverne MA, 1995. Effect of uterus position relative to the pelvic inlet on the accuracy of early bovine pregnancy diagnosis by means of ultrasonography. *Vet Q.*,17:37–39
- Szenci O, 2021. Recent Possibilities for the Diagnosis of Early Pregnancy and Embryonic Mortality in Dairy Cows. *Animals (Basel)*, 11(6):1666. doi: 10.3390/ani11061666
- Tanaka T, Arai M, Ohtani S, Uemura S, Kuroiwa T, Kim S, Kamomae H, 2008. Influence of parity on follicular dynamics and resumption of ovarian cycle in postpartum dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.*,108(1–2): 134–143. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2007.07.013>
- Tang C, Liang Y, Guo J, Wang M, Li M, Zhang H, Arbab AAI, Karrow NA, Yang Z, Mao Y, 2022. Effects of Seasonal Heat Stress during Late Gestation on Growth Performance, Metabolic and Immuno-Endocrine Parameters of Calves. *Animals (Basel)*, 12(6):716. doi: 10.3390/ani12060716

- Taponen J, Katila T, Rodriguez-Martinez H, 1999. Induction of ovulation with gonadotropin-releasing hormone during proestrus in cattle: influence on subsequent follicular growth and luteal function. *Anim. Reprod. Sci.*, 55:91–105
- Taylor JF, Schnabel RD, Sutovsky P, 2018. Review: Genomics of bull fertility. *Animal*, 12(s1):s172–s183. doi: 10.1017/S1751731118000599
- Temesgen MY, Assen AA, Gizaw TT, Minalu BA, Mersha AY, 2022. Factors affecting calving to conception interval (days open) in dairy cows located at Dessie and Kombolcha towns, Ethiopia. *PLOS ONE* 17(2): e0264029. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264029>
- Tenhagen BA, Drillich M, Heuwieser W, 2001. Analysis of cow factors influencing conception rates after two timed breeding protocols. *Theriogenology*, 56:831–838
- Tenhagen BA, Drillich M, Surholt R, *et al.*, 2004. Comparison of timed AI after synchronized ovulation to AI at estrus: reproductive and economic considerations. *J. Dairy Sci.*, 87(1):85–94
- Tenhagen BA, Surholt R, Wittke M, Vogel C, Drillich M, Heuwieser W, 2004. Use of Ovsynch® in dairy herds differences between primiparous and multiparous cows. *Anim. Reprod. Sci.*, 81:1–11
- Thatcher WW, Bilby TR, Bartolome JA, Silvestre F, Staples CR, Santos JE, 2006. Strategies for improving fertility in the modern dairy cow. *Theriogenology*, 2006; 65: 30–44
- Thatcher WW, Flamenbaum I, Block J, Bilby TR, 2010. Interrelationships of heat stress and reproduction in lactating dairy cows. The High Plains Dairy Conference, Amarillo, Texas. <https://pdfs.semanticscholar.org>
- The agricultural year, 2018. European Commission
- The World Bank: Promoting Opportunity, Growth, and Prosperity. THE WORLD BANK ANNUAL REPORT 2014.
- Thiruvankadan AK, Panneerselvam S, Rajendran R, Murali N, 2010. Analysis on the productive and reproductive traits of Murrah buffalo cows maintained in the coastal region of India. *Appl. Anim. Husb. Rural Develop.*; 3. 1–5
- Thompson JA, Marsh WE, Calvin JA, Etherington WG, HW Momont, Kinsel ML, 1994. Pregnancy attrition associated with pregnancy testing by rectal palpation. *J. Dairy Sci.*, 77:3382–3387
- Thompson JA, Magee DD, Tomaszewski MA, Wilks DL, Fourdraine RH, 1996. Management of summer infertility in Texas Holstein dairy cattle. *Theriogenology*, 46:547–558

- Thurmond MC, Picanso JC, 1993. Fetal loss associated with palpation per rectum to diagnose pregnancy in cows. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 203:432–435
- Timby N, Domellöf E, Hernell O, Lönnerdal B, Domellöf M, 2014. Neurodevelopment, nutrition, and growth until 12 mo of age in infants fed a low-energy, low-protein formula supplemented with bovine milk fat globule membranes: a randomized controlled trial. *Am. J. Clin. Nutr.*;99, 4:860–868. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.064295>
- Timby N; Hernell O; Vaarala O; Melin M; Lönnerdal B; Domellöf M, 2015. Infections in Infants Fed Formula Supplemented with Bovine Milk Fat Globule Membranes. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.*,60,3:384–389
- Timby N, Domellöf M, Lönnerdal B, Hernell O, 2017. Supplementation of Infant Formula with Bovine Milk Fat Globule Membranes. *Adv. Nutr.*, 15;8(2):351–355. doi: 10.3945/an.116.014142
- Torsten Hemme IFCN- conferencia anual de Alltech, 18-22 mayo 2019 Lexington (Kentucky, Estados Unidos)
- Tricarico JM, Kebreab E, Wattiaux MA, 2020. MILK Symposium review: sustainability of dairy production and consumption in low-income countries with emphasis on productivity and environmental impact. *J. Dairy Sci.*, 103(11), 9791–9802
- Udo HMJ, Aklilu HA, Phong LT, Bosma RH, Budisatria IGS, Patil BR, Samdup T, Bebe BO, 2011. Impact of intensification of different types of livestock production in smallholder crop-livestock systems. *Livest. Sci.*, 139: 22–30
- UPA INTEGRAL. Menos despoblamiento rural. Más integración de la población migrante. Unión de Pequeños Agricultores y Ganaderos 2020
- USDA. 2009. Pages 33–44 in Dairy 2007, part IV: Reference of dairy cattle health and management practices in the United States. N494. USDA Animal and Plant Health Inspection Service: Veterinary Services, Center for Epidemiology and Animal Health (USDA APHIS:VS, CEAH), Fort Collins, CO
- Vacuno de leche. Informe de base de datos económica Ejercicio económico de 2019. MAPA 2019
- Vaillancourt D, Vierschwal CJ, Ogwu D, Elmore RG, Martin CE, Sharp AJ, Youngquist RS, 1979 Correlation between pregnancy diagnosis by membrane slip and embryonic mortality. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 175:466–468
- Van Amburgh ME; Galton DM; Bauman DE; Everett RW, 1997. Management and economics of extended calving intervals with use of bovine somatotropin. *Livest. Prod. Sci.*; 50:15–28 [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00069-9](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00069-9)

- Van der Kolk LJ, van Laarhoven W, 2005. Working on sustainable cattle (in Dutch). <http://www.fisbv.nl/050503%20def.%20versie%20Eindrapport.pdf>
- Vanholder T, Leroy JLMR, Van Soom A, Maes D, Coryn M, Fiers T, de Kruif A, Opsomer G, 2006. Effect of non-esterified fatty acids on bovine theca cell steroidogenesis and proliferation in vitro. *Anim. Reprod. Sci.*, 92:51–63
- VanRaden PM, Sanders AH, Tooker ME, Miller RH, Norman HD, Kuhn MT, Wiggans GR, 2004. Development of a national genetic evaluation for cow fertility. *J. Dairy Sci.*, 87(15328243):2285–2292
- Veerkamp RF, Koenen EPC, de Jong G, 2001. Genetic correlations among body condition score, yield, and fertility in first-parity cows estimated by random regression models. *J. Dairy Sci.*, 84(11699466): 2327–2335
- Vellinga TV, Hoving IE, 2011. Maize silage for dairy cows: mitigation of methane emissions can be offset by. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 89(3), 413–426
- Ventura BA, Von Keyserlingk MAG, Schuppli CA, Weary DM, 2013. Views on contentious practices in dairy farming: The case of early cow-calf separation. *J. Dairy Sci.*, 96:6105–6116. doi: 10.3168/jds.2012-6040
- Vernon RG, Denis RGP, Sørensen A, 2001. Signals of adiposity. *Domest Anim Endocrinol*, 21: 197–214
- Villa-Godoy A, Hughes TL, Emery RS, Chapin LT, Fogwell RL, 1988: Association between energy balance and luteal function in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 71:1063–1072
- Vojgani M, Akbarinejad V, Niasari-Naslaji A, 2013. Administration of eCG on Day 6 postpartum could enhance reproductive performance of Holstein dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.*, 138:159–62. doi:10.1016/j.anireprosci.2013.03.003
- Walsh SW, Williams EJ, Evans AC, 2011. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.*, 123(3–4):127–38
- Walsh SW, Williams EJ, Evans AC, 2011. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.*, 123(3–4):127–38. doi: 10.1016/j.anireprosci.2010.12.001
- Wathes DC, Beever DE, Cheng Z, Pushpakumara PG, Taylor VJ, 2001. Life-time organisation and management of reproduction in the dairy cow, vol 28. BSAP Occasional Publication, 28, 59–69. doi:10.1017/S1463981500040991

- Wathes DC, Fenwick M, Cheng Z, Bourne N, Llewellyn S, Morris DG, Kenny D, Murphy J, Fitzpatrick R, 2007a. Influence of negative energy balance on cyclicity and fertility in the high producing dairy cow. *Theriogenology*, 68 (1): S232–S241. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.04.006>
- Weary DM, Von Keyserlingk MAG, 2017. Public concerns about dairy-cow welfare: How should the industry respond? *Anim. Prod. Sci.*, 57:1201–1209. doi: 10.1071/AN16680
- Weigel KA, Hoffman PC, Herring W, Lawlor TJ, 2012. Potential gains in lifetime net merit from genomic testing of cows, heifers, and calves on commercial dairy farms. *J. Dairy Sci.*, 95:2215–2225. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4877>
- Weigel KA, VanRaden PM, Norman HD, Grosu H. 2017. A 100-Year Review: Methods and impact of genetic selection in dairy cattle-From daughter-dam comparisons to deep learning algorithms. *J. Dairy Sci.*, 100(12):10234–10250
- Weiss F, Leip A, 2012. Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: A life cycle assessment carried out with the CAPRI model. *Agric. Ecosyst. Environ.*; 149:124–134
- Weller JI, Ezra E, Ron M, 2017. Invited review: A perspective on the future of genomic selection in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 100(11):8633–8644. doi: 10.3168/jds.2017-12879
- West JW, Mullinix BG, Bernard JK, 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 86(1):232–42. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73602-9
- Westhoek H, Lesschen JP, Rood T, Wagner S, De Marco A, Murphy-Bokern D, Leip A, van Grinsven H, Sutton MA, Oenema O, 2014. Food choices, health and environment: Effects of cutting Europe's meat and dairy intake. *Glob. Environ. Change*, 26:196–205. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.02.004>
- White MJ, Armstrong SC, Kay MC, Perrin EM, Skinner A, 2020. Associations between milk fat content and obesity, 1999 to 2016. *Pediatr. Obes.*;15(5):e12612. doi: 10.1111/ijpo.12612
- Wijma R, Stangaferro ML, Masello M, Granados GE, Giordano JO, 2017. Resynchronization of ovulation protocols for dairy cows including or not including gonadotropin-releasing hormone to induce a new follicular wave: Effects on re-insemination pattern, ovarian responses, and pregnancy outcomes. *J. Dairy Sci.*, 100:7613–7625. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12550>
- Willard S, Gandy S, Bowers S, Graves K, Elias A, Whisnant C, 2003. The effects of GnRH administration postinsemination on serum concentrations of progesterone and pregnancy rates in dairy cattle

exposed to mild summer heat stress. *Theriogenology*, 59:1799–1810.
[https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(02\)01232-3](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)01232-3)

Wilson & Reeder's. *Mammal Species of the world*. 3th Ed.; 2005

Wiltbank MC, Baez GM, Garcia-Guerra A, Toledo MZ, Monteiro PLJ, Melo LF, Ochoa JC, Santos JEP, Sartori R, 2016. Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. *Theriogenology*, 86, 239–253, doi:10.1016/j.theriogenology.2016.04.037

Wiltbank MC, Pursley JR, 2014. The cow as an induced ovulator: Timed AI after synchronization of ovulation. *Theriogenology*, 81:170–185. doi: 10.1016/j.theriogenology.2013.09.017

Windig JJ, Calus MPL, Veerkamp RF, 2005. Influence of herd environment on health and fertility and their relationship with milk production. *J. Dairy Sci.*, 88: 335–347

Wolfenson D, Lew BJ, Thatcher WW, Graber Y, Meidan R, 1997. Seasonal and acute heat stress effects on steroid production by dominant follicles in cows. *Anim. Reprod. Sci.*, 47(1–2):9–19

World Cancer Research Fund International, 2018. Diet, nutrition, physical activity and colorectal cancer. Continuous update project. World Cancer Research Fund International, London, UK

Xu ZZ, McKnight DJ, Vishwanath R, Pitt CJ, Burton LJ, 1998. Estrus detection using radiotelemetry or visual observation and tail painting for dairy cows on pasture. *J. Dairy Sci.*, 81:2890–2896

Yániz JL, Santolaria P, Giribet A, López-Gatius F, 2006. Factors affecting walking activity at estrus during postpartum period and subsequent fertility in dairy cows. *Theriogenology*, 66:1943–1950

Youngquist RS, 1997. Pregnancy diagnosis. R.S. Youngquist (Ed.), *Current therapy in large animal theriogenology*, WB Saunders Co.

Yusuf M, Nakao T, Yoshida C, Long ST, Gautam G, Bimalka Kumari Ranasinghe RMS, *et al.*, 2011. Days in milk at first AI in dairy cows; its effect on subsequent reproductive performance and some factors influencing it. *J. Reprod. Dev.*, 57(5):643–9

Zain AED, Nakao T, Raouf MA, Moriyoshi M, Kawata K, Moritsu Y, 1995. Factors in the resumption of ovarian activity and uterine involution in postpartum dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.*, 38 (3):203–214. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(94\)01359-T](https://doi.org/10.1016/0378-4320(94)01359-T)

Zavaleta N, Kvistgaard AS, Graverholt G *et al.*, 2011. Efficacy of an MFGM-enriched complementary food in diarrhea, anemia, and micronutrient status in infants. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.*, 53:561–568

Zhang J, Deng LX, Zhang HL, Hua GH, Han L, Zhu Y, Meng XJ, Yang LG, 2010. Effects of parity on uterine involution and resumption of ovarian activities in postpartum Chinese Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 93(5):1979–86

Zurek E, Foxcrot G, Kennelly J, 1995. Metabolic status and first ovulation in postpartum dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 78:1909–1920

PÁGINAS WEB

<http://www.europarl.europa.eu/supporting-analyses>

<http://www.expansion.com/diccionario-economico/margen-de-beneficio.html>

<http://www.fao.org/dairy-production-products/production/productiondairy-animals/productiondairy-animalscattle/es/>

<http://www.fao.org/dairy-production-products/products/es>

http://www.inlac.es/sector_produccion.php

<http://www.racve.es/publicaciones/ganaderia-y-medio-ambiente-aspectos-legislativos-y-tecnologicos/>

<https://ahdb.org.uk/dairy/uk-and-eu-cow-numbers>

<https://doi.org/10.1093/advances/nmz020>

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/IP_19_1848

https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Milk_and_milk_product_statistics&oldid=511480

https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/animals-and-animal-products/animal-products/milk-and-dairy-products_es

https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/animals-and-animal-products/animal-products/milk-and-dairy-products_es

<https://scar-europe.org/index.php/animal-production>

<https://www.ocla.org.ar/contents/news/details/17823806-evolucion-de-la-produccion-mundial-de-leche>

www.dcanz.com/about-the-nz-dairy-industry/

www.departments.bucknell.edu/biology/resources/msw3/browse.asp?s=y&id=14200687

www.fao.org/dairy-production-products/production/productiondairy-animals/productiondairy-animalscattle/es/

www.fao.org/dairy-production-products/production/productiondairy-animals/es

www.fao.org/dairy-production-products/products/composicion-de-la-leche/es/

www.fao.org/dairy-production-products/products/es

www.fenil.org

ANEXO-PUBLICACIONES ASOCIADAS

PUBLICACIONES ASOCIADAS

Artículos SCI

Fernandez-Novo A, Fargas O, Loste JM, Sebastian F, Perez-Villalobos N, Pesantez-Pacheco JL, **Patron-Collantes R**, Astiz S. 2020. Pregnancy Loss (28–110 Days of Pregnancy) in Holstein Cows: A Retrospective Study. *Animals* 2020, 10, 925; doi:10.3390/ani10060925. (IF: 2,323; Q1)

Conferencias en congresos

Astiz Blanco S. González-Martin JV, Fargas O, Sebastian F., Gonzalez Bulnes A., **Patrón R**, Pesantez JL. “Management Strategies to Enhance Production Efficiency in High Yielding Dairy Cows”; Scientific Session; 2018 ACVIM (American College of Veterinary Internal Medicine) Forum. Seattle, USA: 13-16/6/2018

Astiz Blanco S. González-Martin JV, Fargas O, Sebastian F., Heras J., **Patrón R**, Pesantez JL. “Reproduction in High Yielding Dairy Farms: Learning From Their Own Data”. Scientific Session; 2018 ACVIM (American College of Veterinary Internal Medicine) Forum. Seattle, USA: 13-16/6/2018

Comunicaciones a congresos

Feyjoo, P, Pesántez J, Vázquez J, Heras A, Cáceres E, **Patrón R**, Pérez N, González-Martín JV, Fargas O, Astiz, S. Evolución durante 10 años (2008-2017) de los parámetros reproductivos en granjas lecheras de alta producción tras la implementación sistemática de IATF a primera inseminación y del sistema de camas. Póster. XXIV Congreso Internacional de Medicina Bovina (A.N.E.M.B.E.), pp.405. Sevilla, Spain. 22–24/5/2019

Feyjoo P, Pesántez J, Vázquez J, Heras-Molina A, **Patrón R**, Pérez N, González-Martín JV, Fargas O y Astiz S. Evolución productiva de explotaciones lecheras a partir de la introducción de inseminación artificial a tiempo fijo en primera inseminación y del sistema de cama volteada. Oral. Asociación interprofesional para el desarrollo agrario (AIDA); XVIII Jornadas Sobre Producción Animal. Pp 317; Zaragoza, 7–8/5/2019

Astiz Blanco S., Fargas Busquet O., Sebastián F., Loste JM, **Patron R**, Pesantez-Pacheco JL, Pérez Villalobos N, Lopez–Helguera I, Gonzalez-Martin JV. Factors affecting pregnancy loss in dairy

cows. Póster. RE-P31; pp 335–36. 30th World Buiatrics Congress (WBC). Libro de ponencias. Sapporo, Japan, August 28th to September 1 2018.

Feyjoo P, J.L. Pesántez, A. Heras, V. Sanz, **R. Patrón**, N. Pérez, J. Mesías, M. Vázquez-Gómez, C. García-Contreras, O. Fargas and S. Astiz. Ten years evolution of dairy cattle herds: fertility, production and management. Póster. 69th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP). Libro ponencias. Book of abstracts No. 24 (2018) pp393. Dubrovnik, Croatia. August 27–31 2018

Daniel Martínez, Francisco Sebastián, Javier Sabín, Miguel Fernández, **Raquel Patrón**, Irene López-Helguera, José Luis Pesantez, Octavi Fargas y Susana Astiz. Reproductive efficiency at a commercial farm comparing AI versus ET at first inseminations. 32th meeting European Embryo Transfer Association (AETE). Barcelona, Spain. 9–10 septiembre/2016

Raquel Patron, Irene Lopez-Helguera, Francisco Sebastian, Octavi Fargas, Miguel Fernandez, Susana Astiz. Effect of postpartum eCG administration in dairy cows calved during the hot season on subsequent fertility after first timed artificial insemination. XXVIII World Buiatrics Congress, Dublin 3–8/7/2016

Raquel Patron, Irene Lopez-Helguera, Javier Heras, Octavi Fargas, Susana Astiz. Fertility after different resynchronization protocols with timed AI in 32 commercial dairy farms. XXVIII World Buiatrics Congress, Dublin 3–8/7/2016

Raquel Patron, Irene Helguera, Francisco Sebastián, Octavi Fargas, Susana Astiz. Effect of the expertise of the practitioner during the early pregnancy diagnosis by per rectum amniotic sac visualization with ultrasound on early pregnancy loss. 18th International Congress on Animal Reproduction (ICAR). Tours, Francia. 26–30 junio/2016

Artículos en divulgación

Raquel Patrón Collantes, Juan Vicente González Martín. Tratamiento de la Cetosis: recorrido histórico y actualidad. Revista Vaca Pinta, nº25, 06 2021

Juan Vicente González Martín, **Raquel Patrón Collantes**. ¿Cuándo debemos asistir el parto? Frisona española nº242, m/a 2021

Juan Vicente González, **Raquel Patrón Collantes**. Mortalidad perinatal. Frisona española, nº 243, m/j 2021

Astiz S, Daniel Martínez, Francisco Sebastián, Octavi Fargas, **Raquel Patrón**, José Luís Pesantez. Transferencia de embrións ao vivo como estratexia para mellorar a eficiencia reproductiva en granxas comerciais durante épocas de estrés por calor. Vaca Pinta 2018, 5: 2–5.

Astiz S, Octavi Fargas, Francisco Sebastian, Javier Heras, **Raquel Patrón** y Jose Luis Pesántez Pacheco.

Las explotaciones lecheras no tienen que asumir una mala eficiencia reproductiva. Frisona Española 2018; 223: 96–99

Susana Astiz, **Raquel Patron**, Irene Lopez–Helguera, Jose Luis Pesantez–Pacheco, Natividad Perez–

Villalobos, Javier Heras, Juan Vicente Gonzalez, Octavi Fargas. Experiencias de campo: segundas o más inseminaciones usando G6G como protocolo de sincronización hormonal previo. FRISONA ESPAÑOLA 2018; 227: 96–99

Pérez Villalobos N., **Patrón Collantes R** La recría de las explotaciones lecheras: Manejo de la primera etapa. Producción Animal 2017; 302:70–80

Article

Pregnancy Loss (28–110 Days of Pregnancy) in Holstein Cows: A Retrospective Study

Aitor Fernandez-Novo ¹, Octavi Fargas ², Juan Manuel Loste ³, Francisco Sebastian ⁴, Natividad Perez-Villalobos ⁵, Jose Luis Pesantez-Pacheco ⁶, Raquel Patron-Collantes ⁷ and Susana Astiz ^{8,*}

¹ Dpto. Producción y Sanidad Animal, Salud Pública Veterinaria y Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Facultad de Veterinaria, Universidad CEU Cardenal Herrera. C/Tirant lo Blanc, 7, 46115 Alfara del Patriarca, Valencia, Spain; aitor.fernandeznovo@uchceu.es

² VAPL S.L., C/Antoni Figueras 20, Tona 08551, Barcelona, Spain; octavi.vaplspl@gmail.com

³ Akaborro s/n., 31860 Navarra, Spain; loste@albaitaritz.com

⁴ Cowvet SL, Avda. País Valenciano 6, 5, 46117 Betera, Valencia, Spain; cowvetssl@gmail.com

⁵ Facultad de Ciencias Biomédicas, Universidad Europea de Madrid, C/Tajo s/n, 28670 Villaviciosa de Odón, Madrid, Spain; natividad.perez@universidadeuropea.es

⁶ School of Veterinary Medicine and Zootecnics, Faculty of Agricultural Sciences, University of Cuenca, Avda. Doce de Octubre, 010150 Cuenca, Ecuador; jose.pesantez@ucuenca.edu.ec

⁷ TRIALVET S.L., C/Encina 22, Cabanillas de la Sierra, 28721 Madrid, Spain; rpatron@trialvet.com

⁸ Dpto. Reproducción Animal (INIA), Avda. Puerta de Hierro s/n., 28040 Madrid, Spain

* Correspondence: astiz.susana@inia.es; Tel.: +34-913473769; Fax: +34-3474011

Received: 22 April 2020; Accepted: 25 May 2020; Published: 26 May 2020

Simple Summary: High-yield dairy cow farms have implemented high technified management for the last few decades, aiming at optimizing productions with the best animal welfare canons. A key point to achieve this is the reproductive performance. Around 12% of cattle suffer pregnancy loss during the late embryonic/early foetal period (between 28 and 110 day of pregnancy). Thus, our objective was to study the pregnancy losses occurring in eight different Spanish high-yielding Holstein dairy herds, in locations with severe heat stress during the summer, to examine the link between pregnancy loss and different management factors. Some factors, previously confirmed as significant ones, such as the technician who performed artificial insemination (AI), fixed-time or after observed oestrus AI, the bull used, type of semen or season, did not affect pregnancy loss in our study. Moreover, older cows (compared to heifers), first artificial inseminations (compared to ≥ 2 nd ones) and pregnancies after fixed-time-AI (compared to AI after observed oestrus and natural breedings) were definitively associated to higher pregnancy loss. Therefore, farmers and consultants should adapt their prevention strategies relating to pregnancy loss, particularly, to the parity of the cattle and to type and rank of AI.

Abstract: The objective of this retrospective study was to investigate the prevalence of pregnancy loss (PL; between 28–110 pregnancy days) and its relationship with factors: farm, year (2015–2018), season, artificial insemination (AI)-rank, parity, AI-type (fixed-time vs. oestrus-AI), previous PL, days in milk (DIM), fixed-time-AI protocol, AI-technician, bull, and semen-type (sexed vs. conventional). Data of 19,437 Holstein cattle AIs from eight Spanish farms were studied. Overall conception rate was 34.3% (6696/19,437) and PL 12.3% (822/6696). The PL was more likely to occur in primiparous (10.8%, odds ratio (OR) = 1.35; $p = 0.04$) and multiparous (15.3%; OR = 2.02, $p < 0.01$) than in heifers (PL = 6.9%, reference). Pregnancies achieved with AI after observed oestrus and natural breedings were associated with less PL than pregnancies after fixed-time-AI (12.7 vs. 11.9%; OR = 0.12, $p = 0.01$). First AIs related to higher PL than ≥ 2 nd AIs (PL = 13.8% vs. 11.2; OR = 0.73, $p < 0.01$). The factors season, fixed-time-AI protocol, DIM, bull, AI-technician, or type of semen were not significantly associated with PL. Therefore, farmers and consultants should adapt their preventive strategies relating to PL, particularly, to the parity of the cattle.

Keywords: reproductive strategy; parity; season; rank of AI; type of AI

1. Introduction

Pregnancy loss (PL) during the late embryonic and early fetal phases of pregnancy is a major cause of infertility in dairy cows and a crucial factor for dairy cattle farms' economy [1,2]. Embryonic losses are categorized as early or late before and after day 25, respectively [1], the average rate of late embryonic loss being 10–12%, with this rate ranging broadly among farms from 3.5% to 26.3% [3].

Some studies have focused on possible predictors to forecast pregnancy loss [4], while other studies have concentrated on contributing factors. The following PL risk factors have been observed in epidemiological studies: parity, with multiparous showing higher PL than younger cows [5,6]; individual bulls [1,7–9]. Progesterone level at AI and during the first days of pregnancy has also been related to PL [10–12]. Similarly, the serum concentration of pregnancy-associated glycoproteins (PAGs) [13,14] is correlated to PL probability; the intensity of oestrus at AI [12,15], season at AI [16,17], the protocol for timed AI (FTAI) [18,19], twin pregnancy [9], and ovulation number [12]. Some other factors were not associated with pregnancy loss, such as the rank of AI [16], extended lactation [20], calving-AI interval [16], corpus luteum, and uterine blood flow at first pregnancy diagnosis observed with ultrasonography [10]. However, information is contradictory, and there are other studies that did not outline significant links between these factors and pregnancy loss [21,22].

In light of these observations, it is generally accepted that pregnancy loss in high-producing dairy cows is multifactorial, yet the exact underlying mechanisms remain unknown [3,23,24]. Previous reports have described the incidence and pattern of pregnancy loss in dairy cattle [25], but several of these studies assessed a limited number of cows or included the phases of pregnancy loss (from fertilization to pregnancy term) without clearly separating them [6,12,26]. Therefore, further information on this topic—clarifying factors and pregnancy phases, including a large number of pregnancies and exploring new risk issues—would be welcome, and even crucial, in helping us to find answers to practical questions, and guide management strategies towards improving reproductive efficiency in dairy farms. The hypothesis of the authors is that having lost a previous pregnancy is not a risk factor for future PL, while other factors such as farm, season, or AI rank play a key role. Therefore, the objective of this observational, retrospective study was to examine, in an extensive sample of pregnancies in high-yielding dairy cows, the relationship between pregnancy loss prevalence and the different factors described.

2. Materials and Methods

2.1. Ethics Statement

This is an observational, retrospective study based on data provided by collaborating veterinarian consultants relating to AIs and natural breedings performed at eight high-yielding, intensively managed dairy cattle farms located in different Spanish regions. No experimental intervention was performed, and farms carried out all their activities according to the EU Directive about the protection of animals in animal production [27].

2.2. Herds and Management

The study included a total of 19,437 AIs from dairy cattle and heifers (Holstein breed), performed during the period 2015–2018, from eight different intensively managed Spanish farms located in central and eastern Spain, where heat stress during the summer (June to August) is severe. Data taken from farm computers was provided by veterinary consultants. Data on heifers was provided only by Farms 4, 7, and 8.

Average milk yield and farm size were 34.8 ± 2.3 L/cow/day (range of 31.3 to 37.9 L/cow/day) and 746 ± 571 cows/herd (range of 253 to 1950 cows/herd). All herds were managed under similar conditions, being milked three times per day, with ad libitum access to water, and fed twice daily

with a total mixed ration that was balanced to meet or exceed nutrient recommendations for lactating dairy cows. All farms are located in areas with severe heat stress during the summer, and cooling methods, such as fans with sprinkler systems on feeding and resting barns, were counted.

Reproductive management varied across farms, but in general, the farms used one long synchronization protocol for first AIs (Presynch-Ovsynch, Double Ovsynch, or G6G), and AI after observed oestrus for subsequent AIs if possible. If not detected in oestrus, all farms applied shorter synchronization protocols for 2nd or subsequent AIs (Ovsynch, 5d-Ovsynch, 5d-Cosynch, and 5d-Cosynch with intravaginal progesterone device). Pregnancy diagnoses were performed in all farms with ultrasound at 28–35 days for first pregnancy diagnosis, and between 100 and 110 days for second pregnancy diagnoses by the same experienced veterinarians at each farm. A positive diagnosis of pregnancy was made if the allantochorion and embryo in the uterine lumen were visualized and a heartbeat was detected, with ovaries being scanned only if problems arose when imaging the conceptus. On Farm 8, natural breeding was used for “repeating cows” with more than five AIs. In the case of heifers, farms implemented oestrus synchronization protocols with intravaginal progesterone device, maintained during 7 d with GnRH administration at the day of IPD insertion and prostaglandin at the day of IPD removal, or with prostaglandin injections 7 d apart, and AI after observed oestrus. Farm 8 included a natural service for repeating heifers after two failing AIs. Detailed information regarding farm, protocol, and AIs is summarized in Tables 1 and 2.

Table 1. Descriptive statistics for the type of reproductive strategy used in 19,437 breedings across eight Spanish Holstein farms.

Reproductive Strategy	Farms																Breeding by Strategy	
	1		2		3		4		5		6		7		8		AIs	%
	AIs	%	AIs	%	AIs	%	AIs	%	AIs	%	AIs	%	AIs	%	AIs	%		
PRES													364	10.8	180	2.8	544	2.8
DOV	132	16.3					10	0.2	190	12.4			121	3.6			453	2.3
G6G	84	10.3	31	4.4	628	33.7	1046	25.5	367	24.0	423	71.8			753	11.7	3332	17.1
OVS	155	19.1	28	3.9			978	23.8					401	11.9	928	14.4	2490	12.8
OVS-IPD	92	11.3					10	0.2							353	5.5	455	2.3
5dOVS									540	35.3	47	8.0					587	3.0
5dCO					401	21.5											401	2.1
5dCO-IPD					560	30.0											560	2.9
OE	349	43.0	651	91.7	276	14.8	2059	50.2	433	28.3	118	20.1	2,482	73.7	4,002	61.9	10,370	53.4
NS															245	3.8	245	1.3
Breedings by farm	812	4.2	710	3.7	1865	9.6	4103	21.1	1530	7.9	588	3.0	3368	17.3	6461	33.2	19,437	

AIs: artificial inseminations; PRES: timed AI after Presynch; DOV: timed AI after Double Ovsynch; OVS: timed AI after Ovsynch; OVS-IPD: timed AI after Ovsynch with intravaginal progesterone device; 5dOVS: timed AI after 5 days Ovsynch; 5dCO: timed AI after 5 days Cosynch; 5dCO-IPD: timed AI after 5 days Cosynch with intravaginal progesterone device; OE: AI after observed oestrus; NS: natural service.

Table 2. Breeding descriptive statistics for the type of reproductive strategy used in heifer, primiparous, and multiparous Holstein cattle across eight Spanish farms.

Reproductive Strategy	Cattle Type									Breeding by Strategy	
	Heifer			Primiparous			Multiparous			AIs	%
	AIs	(n/N) %	% *	AIs	(n/N) %	% *	AIs	(n/N) %	% *		
PRES	3	(3/544) 0.5	0.1	160	(160/544) 29.4	2.7	382	(382/544) 70.1	3.5	544	2.8
DOV				296	(296/453) 65.3	5.0	157	(157/453) 34.7	1.4	453	2.3
G6G				985	(985/3332) 29.5	16.5	2,347	(2347/3332) 70.4	21.5	3332	17.1
OVS	17	(17/2490) 0.6	0.6	802	(802/2490) 32.2	13.5	1,667	(1667/2490) 66.9	15.3	2490	12.8
OVS-IPD	267	(267/455) 58.7	10.4	70	(70/455) 15.4	1.2	118	(118/455) 25.9	1.1	455	2.3
5dOVS				159	(159/587) 27.1	2.7	428	(428/587) 72.6	3.9	587	3.0
5dCO				189	(189/401) 47.1	3.1	212	(212/401) 52.9	2.0	401	2.1
5dCO-IPD				262	(262/560) 46.8	4.4	298	(298/560) 53.2	2.7	560	2.9
OE	2074	(2074/10,370) 20.0	81.1	3024	(3024/10,370) 29.2	50.7	5,272	(5272/10,370) 50.8	48.3	10,370	53.4
NS	198	(198/245) 80.8	7.8	13	(13/245) 5.3	0.2	34	(34/245) 13.9	0.3	245	1.3
Breedings by cattle type	2557	(2557/19,437) 13.1		5965	(5965/19,437) 30.7		10,915	(10,915/19,437) 56.2		19,437	

%*: indicates the overall percentage of breedings after each reproductive strategy used within each cattle type (heifers, primiparous, and multiparous). For abbreviations, see Table 1.

2.3. Recorded Data

The following information was recorded for each AI or service: Farm (1 to 8); animal identification; year of AI; AI date (seasonality at service); rank of AI (1st to 11th); lactation order of the cow from 0 to 7th lactation and categorized as heifer, primiparous, or multiparous; reproductive strategy; days in milk; type of AI (fixed time AI with hormonally controlled follicle development vs. AI after observed oestrus and natural service, with natural follicle development (FTAI vs. OE + NS)), AI-technician, type of semen (conventional or sexed shorted seminal doses) and bull. Finally, in all AIs included, the factor if a pregnancy loss had occurred in the same lactation prior to the AI under consideration (previous PL in the same lactation, yes or not), and if the animal had suffered PL at least once before when considering all subsequent AIs, during the same and following lactations (previous PL during its lifetime, yes or no) was studied. Days in milk at service was logically only available in cows (40 to 848 d for first and further AIs); AI technician and type of semen (if sexed or conventional semen was used) was available only in farms 7 and 8; 9829 AIs); age at service in heifers was available only for heifers' AIs from farm 4 (716 services; 399 to 668 d of age);

The number of AIs included in the study was 812/19,437 from Farm 1 (4.2%); 710/19,437 from Farm 2 (3.7%); 1865/19,437 from Farm 3 (9.6%); 4103/19,437 from Farm 4 (21.1%); 1530/19,437 from Farm 5 (7.9%); 588/19,437 from Farm 6 (3.0%); 3368/19,437 from Farm 7 (17.3%); and 6461/19,437 (33.2%) from Farm 8.

Synchronization protocols recorded for timed AI (FTAI) were as follows:

PRES or Presynch-Ovsynch protocol, as described by Moreira et al. [28]. In brief, cows received 2 injections of PGF2 α administered 14 d apart beginning 26 d before initiation of Ovsynch-FTAI protocol, which consists of GnRH1 on day 0, PGF2 α on Day 7, GnRH2 on day 9 and FTAI 16 h after last GnRH. The authors included the modification of two prostaglandins 24 h apart before the last gonadotropin-releasing hormone or GnRH2; (total of FTAs included $n = 544$; 2.8%); DOV: Double Ovsynch described by Souza et al. [29]. Briefly, treatment with GnRH, followed 7 d later by PGF2 α , then 3 d later a GnRH treatment, and finally by the Ovsynch-FTAI protocol. Authors included the modification of two prostaglandins 24 h apart before the last GnRH (total of FTAs included $n = 4534$; 2.3%); G6G described by Bello et al. [30]. In short, this protocol included presynchronization with PGF2 α , followed 2 d later with GnRH, and then 6 d later with the first GnRH injection of the Ovsynch-FTAI protocol. Again, authors included the modification of two prostaglandins 24 h apart before the last GnRH [31] (total of FTAs included $n = 3332$; 17.1%); OVS: classical Ovsynch [32], described before, with the modification of two prostaglandins 24 h apart before the last GnRH [33]; (total of FTAs included $n = 2490$; 12.8%); OVS-IPD: classical Ovsynch with insertion of an intravaginal progesterone device between days 0 and 7 of the synchronization [34]; (total of FTAs included $n = 455$; 2.3%); 5dCO or 5 d Cosynch, following Santos et al. [35]. Briefly, d 0 GnRH, d 5 and 6 PGF2 α , d 9 GnRH and FTAI; (total of FTAs included $n = 401$; 2.1%); 5dCO-IPD or 5 d Cosynch, identical to the previous protocol, with insertion of an intravaginal progesterone device between d 0 and 5 of the synchronization [36]; (total of FTAs included $n = 560$; 2.9%); 5dOVS: 5 d Ovsynch or short Ovsynch. In brief, d 0 GnRH, d 5 and 6 PGF2 α , d 7 GnRH and TAI 16 h after the last GnRH [35,37] (total of FTAs included $n = 587$; 3%)

Natural service (NS; total services included 245; 1.3%) and AIs after observed oestrus (OE; total AIs included 10,370; 53.4%) were included as further reproductive strategies. Therefore, ten reproductive strategies were included in the analysis, the eight firstly described for FTAI, the natural service, and AI after OE.

Average Days in Milk (DIM) at first FTAI in cows was 86.13 ± 39.33 d, and the average age of heifers at first service was 438 ± 27.9 d. Average DIM at any service was 149.9 ± 87.75 d, ranging among farms from 114 ± 51.4 in Farm 2 to a maximum of 166 ± 103.7 in Farm 8, and the average age of heifers at service (716, all from farm 4, the only one to provide this data) was 459 ± 44.7 d.

A total of 7094 services/AI were first AIs (36.5%), and 12,346 were 2nd or subsequent AIs, of which 3277 (16.9%) were 5th or subsequent AIs. A total of 8822/19,437 were FTAI, and 10,615/19,437 were AI after observed oestrus and natural services. The AIs were performed in animals with

different lactation orders, with 2557 services/AIs having been in heifers (13.1%), 5965 in primiparous cows (30.7%), and the rest (10,936 AIs; 56.2%) in multiparous cows (with lactation order up to 7th). From the total of 2,557 services performed on heifers, 867 (34%) came from Farm 4, 716 (28%) from Farm 7, and 974 (38%) from Farm 8. All farms provided data on services on primiparous and multiparous animals, including data on lactation order 0 (heifers) to the 7th lactation.

A total of 14,629 breedings/AIs (75.3%) were performed during the cool season (September to May) and 4808 (24.7%) during the hot season (June, July, and August). The breakdown during the period of study was 2282/19,437 (11.7%) in 2015; 10,442/19,437 (53.7%) in 2016; 5443/19,437 (28%) in 2017; 1270/19,437 (6.5%) during 2018.

Frozen semen from 216 different bulls was used in the different farms, plus the four bulls used for natural mounting (Farm 8). From the total of 9829 AIs with information regarding if sexed or conventional semen was used, 1026 AIs were performed using sexed, frozen, commercial semen. A total of 16 experienced AI technicians/veterinarians performed all AIs during the time of data recording. Tables 1 and 2 show the breakdown of the AIs and services provided by farm, reproductive strategy followed, and animal type (heifer, primiparous, or multiparous).

Wiltbank et al. [3] described four pivotal periods of pregnancy when studying pregnancy loss from fertilization failure to fetal loss. In brief, the first period occurs during the first week after breeding with the absence of fertilization or death of the early embryo, with 20–50% of dairy cows experiencing pregnancy loss during this period. Key factors here are oocyte quality and progesterone concentrations during the preovulatory phase (with issues such as heat stress, inflammatory diseases, body condition being essential). The second pivotal period (days 8 to 27), covers embryo elongation and the maternal recognition of pregnancy, with losses around 30%, with a huge variation between farms. Maintenance of the corpus luteum (CL) of pregnancy is the key factor here. The third pivotal period (days 28 to 60), with losses of 12%, seems to depend on delays or defects in placentomes or embryo. The fourth period covers the third month of pregnancy and show a reduced pregnancy loss incidence (2%), that can be high in cows carrying twins in the same uterine horn. The current study aims to include pregnancy losses occurring in pivotal periods 3 and 4, corresponding to the phases of “late embryonic and early fetal losses” described in previous studies [5]. Consequently, we included all PL cases documented after a positive pregnancy diagnosis (>28 and <35 d of pregnancy) and with a further negative pregnancy diagnosis at days >70 and <110 after AI/service.

In order to determine whether a cow which had previously lost its pregnancy showed a different probability of getting pregnant and losing pregnancy during the rest of its life in services following that first PL, animals were classified according to whether they had lost a pregnancy at least once in their life, compared with those cows with no PL history (including only animals whose full history was known, and including the whole reproductive history of all these cows; $n = 5614$ services). An additional analysis sought to investigate whether an animal that had experienced PL changed its future probability of getting pregnant and losing pregnancy after subsequent AI/services during the same lactation after the previous PL.

2.4. Conception Rate: Descriptive Results

Conception rate (CR) was not the aim of the present study. Therefore, only descriptive results are outlined. The overall conception rate observed was 34.3% (6696/19,437). Descriptive data on CR values classified by reproductive strategy, farm, and other factors is summarized in Table 3.

Table 3. Conception rate (CR) descriptive statistics for farm, reproductive strategy, season, AI-rank, cattle type, type of AI, and previous pregnancy loss across eight Spanish Holstein farms.

Farm <i>n</i>	Pregnancies/AI	CR (%)	Reproductive Strategy	Pregnancies/AI	CR (%)
1	226/812	27.8	PRES	152/544	27.9
2	294/710	41.4	DOV	167/453	36.9
3	853/1865	45.7	G6G	1353/3332	40.6
4	1290/4103	31.4	OVS	687/2490	27.5
5	616/1530	40.3	OVS-IPD	143/455	31.4
6	276/588	46.9	5dOVS	224/587	38.2
7	1229/3368	36.5	5dCO	168/401	41.9
8	1912/6461	29.6	5dCO-IPD	237/560	42.3
			OE	3364/10,370	32.4
			NS	201/245	82.0
Season	Pregnancies/AI	CR (%)	AI-rank	Pregnancies/AI	CR (%)
Cool	5360/14,629	36.6	First AI	2692/7094	37.9
Warm	1336/4808	27.8	Second AI	3184/9066	35.1
			≥3rd AI	820/3277	25.0
Cattle type	Pregnancies/AI	CR (%)	Type of AI	Pregnancies/AI	CR (%)
Heifers	1288/2557	50.4	FTAI	3131/8822	35.5
Primiparous	2066/5965	34.6	OE and NS	3565/10,615	33.6
Multiparous	3342/10,915	30.6			
Previous PL/lactation	Pregnancies/AI	CR (%)	Previous PL/life	Pregnancies/AI	CR (%)
No previous PL	6253/18,055	34.6	No previous PL	1675/3947	42.4
Previous PL	443/1382	32.1	Previous PL	517/1667	31.0

PL: Pregnancy loss. FTAI: fixed-time artificial insemination. OE: artificial insemination after observed oestrus; NS: natural service. For remaining abbreviations, see Table 1.

2.5. Statistical Analyses

All data were analyzed using SPSS® 25 (IBM, Armonk, NY, USA). Probability values less than or equal to 0.05 were considered significant, and those between 0.05 and 0.1 were considered trends. All data are reported as a mean percentage (categorical variables) or as mean ± SD (numeric variables). Pregnancy loss probability was analyzed using logistic regression, odds ratios (OR) were determined, and a stepwise forward method based on the Wald statistics criterion of *p* > 0.10. The statistical model included farm, animal, and year as random effects to control the effect for repeated AIs.

Different subsets of data were analyzed separately in different regression models in order to control the reduction of the size of the total population analyzed. A first, main, analysis was performed including all pregnancies analyzed (*n* = 6696 and a total of pregnancies lost 822) and the following factors (available in all pregnancies): farm, animal, year, season, AI-rank, lactation order (categorized in heifers, primiparous, or multiparous), type of AI (fixed-time AI with hormonally controlled follicular development vs. AI after observed oestrus and natural service, with natural development of the follicle (FTAI vs. OE + NS)), reproductive strategy, and previous pregnancy loss. Information on type of semen used (if sexed or conventional semen) and AI-technician was only available in data coming from Farms 7 and 8. Therefore, an additional analysis was performed on these 3141 pregnancies, including all factors previously detailed. A third regression model was conducted on the subset of pregnancies coming from cows (excluding heifers) with a total of 5408 pregnancies, including the additional factor of average Days in Milk (DIM) at each AI. A fourth analysis was performed, including only heifers (*n* = 1288 pregnancies) with the factors: farm, animal, year, season, AI-rank, type of AI, reproductive strategy, and previous pregnancy loss. The last regression model conducted was on a reduced subset of data of heifers' pregnancies, including the

reproductive strategy × parity; reproductive strategy × type of semen, reproductive strategy × rank

of AI, and type of AI \times farm. Once demonstrated that interactions were not significant, the second phase in each analysis was performed without those not significant interactions.

3. Results

From a total of 6696 diagnosed pregnancies after a first pregnancy diagnosis and <day 110 of pregnancy (between 28–110 days after AI), a general pregnancy loss rate (PL) of 12.3% was found (822/6696). A PL percentage of 11.9% was observed during the cool season (636/5360) and 13.9% during the hot season (186/1336; $p = 0.32$). Regarding the order of AIs or AI-rank, the PL detected was 13.8% for pregnancies induced by first AIs (372/2692; $p < 0.01$), 11.1% for second services (353/3184), and 11.8% for third and subsequent services (97/820). Heifers achieved the lowest PL (6.9%; 89/1288), followed by primiparous cows (10.8%; 223/2066; $p = 0.04$), while multiparous cows showed the highest PL rate (15.3%; 510/3342; $p < 0.01$; difference primiparous vs. multiparous with $p > 0.05$).

PL results distributed for each type of reproductive strategy across the eight farms are summarized in Table 4. When segmenting the data and observing only heifers, the pregnancy loss rate by protocol was 0.5% (1/194) for natural service, 7.7% (76/982) for observed oestrus, 33.3% (2/6) for OVS, and 9.6% (10/104) for OVS-IPD.

Table 4. Pregnancy loss descriptive statistics for the type of reproductive strategy across eight Spanish Holstein farms.

Reproductive Strategy	Farms																PL by Strategy	
	1		2		3		4		5		6		7		8		n/N	%
	n/N	%	n/N	%	n/N	%	n/N	%	n/N	%	n/N	%	n/N	%	n/N	%		
PRES													21/109	19.3	14/43	32.6	35/152	23.0
DOV	5/50	16.3					1/2	50.0	12/89	14.5			4/26	15.4			22/167	13.2
G6G	3/24	12.5	1/16	6.3	33/346	9.5	69/413	16.7	24/130	18.5	21/197	10.7			23/227	10.1	174/1353	12.9
OVS	3/38	7.9	1/7	14.3			27/298	9.1					4/26	15.4	40/239	16.7	93/687	9.4
OVS-IPD	1/13	7.7					10	0.2							10/130	7.7	11/143	7.7
5dOVS									21/213	9.9	0/11	0.0					21/224	9.4
5dCO					19/168	11.3											19/168	11.3
5dCO-IPD					24/237	10.1											24/237	10.1
OE	9/101	8.9	23/271	8.5	11/102	10.8	66/577	11.4	15/184	8.2	9/68	13.2	131/989	13.2	157/1072	14.6	421/3365	12.5
NS															2/201	1.0	2/201	1.0
PL by farm	21/226	9.3	25/294	8.5	87/853	10.2	163/1290	12.6	72/616	11.7	30/276	10.9	178/1229	14.5	246/1912	12.9	822/6696	12.3

n/N indicates the number of pregnancy loss events/number of pregnancies. For the remaining abbreviations, see Table 1.

Logistic Regression Models on Pregnancy Loss Probability, Including all Recorded Factors and Different Data Subsets

The logistic regression analysis results on pregnancy loss, including all pregnancies studied ($n = 6696$), are summarized in Table 5. As described previously, individual animal, year and farm were introduced in the model as random effects. The analyses determined that the P -values were $p = 0.47$ for farm; for the factor animal: $p = 0.06$ and for the interactions reproductive strategy \times parity, reproductive strategy \times AI rank and AI type \times farm, $p = 0.58$, $p = 0.87$ and $p = 0.30$, respectively. Therefore, only the factor year was kept in the final model (Table 5).

Second or more AIs, being a heifer and AI after observed oestrus or natural breeding, were associated with a lower PL rate, while not having a PL history during the same lactation tended to be associated with higher PL. The factors season, previously having lost a pregnancy in life and reproductive strategy, were not associated with PL ($p > 0.05$).

Table 5. Logistic regression statistics for pregnancy loss across eight Spanish Holstein farms.

Factors	Class	n/N	PL (%)	Odds Ratio	95% Confidence Interval			p -Value
Year	2015, reference	110/583	18.9					
	2016	500/3318	15.1	0.73	0.569	-	0.889	0.01
	2017	176/2402	7.9	0.32	0.246	-	0.428	<0.01
	2018	36/393	9.2	0.43	0.285	-	0.651	<0.01
Season	Cool, reference	636/5360	11.9					
	Warm	186/1362	13.9	1.10	0.912	-	1.319	0.32
AI rank	First AI, reference	372/2692	13.8					
	≥ 2 nd AI	450/4004	11.2	0.73	0.605	-	0.876	<0.01
Parity	Heifer, reference	89/1288	6.9					
	Primiparous	223/2066	10.8	1.35	1.019	-	1.803	0.04
	Multiparous	510/3342	15.3	2.02	1.546	-	2.654	<0.01
AI type	FTAI, reference	399/3131	12.7					
	OE + NS	423/3565	11.9	0.12	0.026	-	0.532	0.01

n/N indicates number of pregnancy loss events/number of pregnancies; AI: artificial insemination; PL: pregnancy Loss; FTAI: fixed-time AI; OE: AI after observed oestrus; NS: natural breeding. Reference factors within each class are those placed in first instance.

Having had a previous PL in the lactation, tended to have a reduced probability of losing pregnancy again during the same lactation (780/6253, 12.5% vs. 42/443, 9.5% of PL for cows without and with PL history, respectively; OR = 0.77; 95% CI 0.551–1.086; $p = 0.13$).

No relationship to PL was detected for the different hormonal protocols for fixed time AI and AI after observed oestrus ($p > 0.05$).

The sub-model observing only cows (total pregnancies: 5408), in order to analyse the same model adding days in milk, demonstrated that DIM did not influence PL ($p = 0.76$). Subsequently, factors not provided by all farms were added, such as AI-technician and type of semen used. The model observing AI-technician and type of semen, provided only by Farms 7 and 8, included 9829 AIs and 3141 pregnancies (408 pregnancies after using sexed semen and 2733 after using conventional semen). In this model, AI-technician was not associated with pregnancy loss ($p = 0.90$), and neither was type of semen ($p = 0.62$). Pregnancy loss after the 3141 pregnancies with sexed semen was 8.1% (33/408), while PL was 14.3% (391/2733) in pregnancies achieved with conventional semen. In this data subset, similarly to the subset of all included AIs, second or subsequent AIs were associated with lower PL compared with first services ($p = 0.04$; OR = 0.79; 95% CI: 0.63–0.99). Being a heifer as opposed to an adult cow was associated also with lower PL (OR = 2.16; 95% CI: 1.54–3.03 for primiparous and OR = 3.11; 95% CI: 2.27–4.26 for multiparous; $p < 0.01$). Having lost pregnancy related to a lower PL value in future pregnancies during the same lactation (OR = 0.62; 95% CI: 0.40–0.98; $p = 0.04$). No explored interaction and neither type of AI or season were significant factors for PL in this subset of AIs in cows.

Finally, the logistic regression model on the subset of heifers (total of AIs included 2557 and 1288 pregnancies) detected the factors Natural Service (PL = 0.5%; 1/194) and Ovsynch reproductive strategy (PL = 40%; 2/5), as associated with PL (OR = 0.004, 95% CI: 0.00–0.27, $p = 0.010$, and OR = 8.32, 95% CI: 1.30–53.23, $p = 0.03$, respectively).

4. Discussion

This study indicates a 12.3% overall rate of pregnancy loss between days 28 and 110 of pregnancy across all AIs and services included. The global PL rate observed (12.3%) in the present study is consistent with the 11.95% based on analysis of 24,391 pregnancies by Wiltbank et al. [3]. The hypothesis of the authors was that having lost previously pregnancy was not a risk factor for future PL. However, farm did not play a key role, while AI-rank and AI-type were significantly associated with PL.

Although in the present study the “farm” factor itself was not significantly associated with different PL results, we could consider Farm 4 to be an intrinsic factor worsening overall reproductive efficiency. In fact, Farm 4 was the farm with the second worst average conception rate (31.4%; Table 3), and it showed the worse PL rates after three different strategies (observed oestrus, G6G, and Ovsynch; Table 4), which would support a negative influence of the farm itself on its overall reproductive efficiency. The “farm” factor includes different features together, such as health status, management practices, and environmental conditions, which worsens the average farm level of PL as stated by other authors [3,8]. The factor animal was included as random factor, to control the effect of repeated AIs in one same animal. However, it was not significantly associated and could be removed from the final model.

On the contrary, the factor year of study, was strongly associated with PL with a decreasing PL rate being observed with time. We could, therefore, argue a general improvement of the reproductive management in general, which seems to be associated also to this reduction of PL with time.

The hot season at AI is a known risk factor for lower fertility [9,16,17]. However, heat stress is reported to mainly influence failure in very early pregnancy phases, such as fertilization and “Pregnancy Pivotal Periods” n 1 and 2 after Wiltbank et al.’s [3] classification (days of pregnancy from fertilization to day 28). Accordingly, in our study, season was not significantly associated with pregnancy loss during Pivotal Periods 3 and 4. García-Ispuerto et al. [5] demonstrated a strong association between PL and heat stress, with the likelihood of pregnancy loss being associated with a PL increase by a factor of 1.05 for each additional unit of the mean maximum temperature–humidity index from days 21 to 30 of gestation. This factor may be a complex one, and is probably directly related to an additional factor connected with PL, the unilateral twinning pregnancy [37], which is the main risk factor for PL during the fourth pivotal period of pregnancy (60 to 90 days of pregnancy) [3] and which is linked to season [38]. Unfortunately, there was no information available on twin pregnancies or laterality of double CL in our dataset. The interaction reproductive strategy \times season did neither result significant in this study. In farms with a severe heat stress (as it was the case of the farms in the study), farmers avoid investing resources in inseminating at fixed time during the hot season. Due to this reason, the number of pregnancies achieved during the summer with hormonal protocols was limited.

Being a heifer as opposed to cows related to lower PL values. These results partly agree with other earlier observations, which showed that parity is positively associated with PL (more PL in high parity cows) [5,6]. Our study shows an eight-point PL difference between multiparous cows and heifers (15.3 vs. 6.9% of PL; $p < 0.01$), which is similar to the results of Starbuck et al. [39] who reported that older cows maintained 9% fewer pregnancies than younger ones. While embryo survival rates are assumed to be similar in heifers and low- to moderate-producing dairy cows, this influence could be related to a parity-related effect and could also be a consequence of milk yield level [25]. Accordingly, an increase in milk yield during the first 60 days in milk can increase early embryonic loss by almost 5 points [12]. Unfortunately, production data were not available in our data set.

In this study the type of AI was associated with PL. Pregnancies produced after natural follicle development (OE + NS) were associated to less PL (12.7% vs. 11.9%). In other studies, the occurrence

of oestrus at AI, using tail chalk and tail head patch, was associated with a reduction in pregnancy loss in dairy cows [40,41]. Furthermore, Pereira et al. [41] reported that the reduction in pregnancy loss in cows that expressed oestrus at AI occurred regardless of the diameter of the pre-ovulatory follicle and the hormonal protocol. Madureira et al. [15] elucidated that the actual factor related to increased CR and decreased PL could be the intensity of oestrus expression, irrespective of the reproductive strategy implemented. In the present work, the type of AI with less PL pregnancies included those pregnancies after natural breeding, which may be the definitive factor, supporting the results of Madureira et al. [15] because animals inducing bulls to mount and tolerating natural breeding express oestrous adequately. Moreover, the factor reproductive strategy which included all hormonal protocols and AI after observed oestrus, was not significantly associated with PL in the current study. The strategy for detecting oestrus in our farms, was to use activity devices where a strong oestrus expression is not required for insemination, which could explain this result. It seems that progesterone is the final modulator linking the better expression of oestrus with a better fertility and reduced pregnancy loss afterwards. Progesterone leads oestrous expression of higher intensity and greater fertility, and, consistently, increased progesterone concentration post-AI sustains embryo and fetal development [42], probably due to changes in the progesterone receptor profile within the endometrium [43].

The result that ≥ 2 nd AIs were associated with less PL could reflect the less stressing situation with the cattle having overcome the lactation peak (more days in milk). However, this may also reflect just the low probability of occurring PL, together with the reduced number of AIs of higher rank, which numerically results in an overall reduced prevalence of PL in further AIs. The same fact may be behind the result obtained in the current study that animals having had a previous PL in the lactation tended to have a reduced probability of losing pregnancy again during the same lactation (12.5% vs. 9.5% of PL for cows without and with PL history, respectively). Necessarily, when a cow has experienced PL previously, further AIs in the same lactation are of a higher rank. Certain pathological events, although less likely to occur, might suggest the involvement of a possible infectious etiology in some cases of pregnancy loss [44]. However, this hypothesis is not supported by the fact that this association with PL of having had previous PL was not significant when observing AIs during the rest of the animal's life. The retrospective design of this study does not allow detection of protective factors, but based on these results, we can state that further AIs after a pregnancy loss event and higher rank of AIs are not associated with an enhanced probability of PL.

No relationship to PL was detected for the different hormonal protocols for fixed time AI and AI after observed oestrus. Similarly, the meta-analysis performed by Borchardt et al. [21] showed no PL difference before day 60 of pregnancy in cows inseminated after Presynch AI. Similarly, several authors have failed to link determined protocols to PL rates [21,45–48], although they specifically pointed out the limited number of herds with similar management practices and of pregnancies included in some of the previous studies, and, consequently, on the limited number of pregnancy losses analyzed. These circumstances, could be similar in the current work. Moreover, although the reproductive strategy for AI is directly linked to the AI-rank, with long protocols (PRES, DOV, and G6G) mostly used for first AIs [49], no significance was detected for the “AI rank \times reproductive strategy” interaction on PL.

Regarding the relationship protocol and PL, observing only heifers, as opposed to all cows, gave rise to different results, with the Ovsynch protocol being associated with higher PL ($p = 0.03$). Heifers show higher individual fertility than cows [5], and it is well known that the Ovsynch protocol does not correctly synchronize the ovulation in dairy heifers [32], this also probably being the reason for a higher PL subsequently when pregnant, due to less functional CLs [23], as observed in lactating dairy cows [40]. Other factors included in the study, such as AI-technician, bull semen, sexed vs. conventional semen, or DIM, were not significantly associated with PL. However, based on the retrospective, epidemiological, observational design of the study, and the reduced sample size in these sub-subsets that included these factors, we cannot rule out the lack of statistical power to detect such effects.

5. Conclusions

Our results demonstrate that being a heifer, second or more breedings and AI after observed oestrus and natural breeding have a notable impact, being associated to less PL. Having lost pregnancy previously, was detected as a slighter influencing factor (statistical tendency), relating to less PI in future pregnancies in the same lactation. However, factors previously demonstrated as significant, such as season, bull, AI technician or type of semen, might not be associated with PL. Therefore, farmers can decide inseminating again cows which suffered previous PL and farmers and consultants should adapt their preventive strategies against PL to cattle parity. These results highlight again, the complex reproductive characteristics of the pregnancy loss event and the relevance of further studies on this issue.

Author Contributions: Conceptualization, S.A; methods, all authors; software: A.F.-N., O.F., J.M.L., F.S., J.L.P.-P., and S.A; validation, A.F.-N., N.P.-V., and S.A.; data analysis: A.F.-N., O.F., J.M.L., F.S., J.L.P.-P., R.P.-C., and S.A.; investigation: A.F.-N. and S.A.; resources: A.F.-N., O.F., J.M.L., F.S., J.L.P.-P., R.P.-C., and S.A.; data curation: A.F.-N., O.F., J.M.L., F.S., J.L.P.-P., R.P.-C., and S.A.; drafting of the manuscript: A.F.-N., N.P.-V., and S.A.; review and editing of the manuscript, all authors; supervision: A.F.-N., N.P.-V., and S.A.; project administration: S.A. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Acknowledgments: We thank Pedro Cuesta and Iagoba Cano (Department of Research Support, Complutense University of Madrid) for their help with statistical analyses; we thank Peter Bonney (European University of Madrid) for his thorough advise with the native, scientific English, and all the farmers and farm workers for contributing data.

Conflicts of Interest: The authors confirm that there are no conflict of interests.

References

1. Santos, J.E.P.; Thatcher, W.W.; Chebel, R.C.; Cerri, R.L.A.; Galvão, K.N. The effect of embryonic death rates in cattle on the efficacy of estrus synchronization programs. *Anim. Reprod. Sci.* **2004**, *82–83*, 513–535, doi:10.1016/j.anireprosci.2004.04.015.
2. Cabrera, V.E. A simple formulation and solution to the replacement problem: A practical tool to assess the economic cow value, the value of a new pregnancy, and the cost of a pregnancy loss. *J. Dairy Sci.* **2012**, *95*, 4683–4698, doi:10.3168/jds.2011-5214.
3. Wiltbank, M.C.; Baez, G.M.; Garcia-Guerra, A.; Toledo, M.Z.; Monteiro, P.L.J.; Melo, L.F.; Ochoa, J.C.; Santos, J.E.P.; Sartori, R. Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. *Theriogenology* **2016**, *86*, 239–253, doi:10.1016/j.theriogenology.2016.04.037.
4. Ealy, A.D.; Seekford, Z.K. Symposium review: Predicting pregnancy loss in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* **2019**, *102*, 11798–11804, doi:10.3168/jds.2019-17176.
5. García-Ispuerto, I.; López-Gatius, F.; Santolaria, P.; Yániz, J.L.; Nogareda, C.; López-Béjar, M.; De Rensis, F. Relationship between heat stress during the peri-implantation period and early fetal loss in dairy cattle. *Theriogenology* **2006**, *65*, 799–807, doi:10.1016/j.theriogenology.2005.06.011.
6. Lee, J.-I.; Kim, I.-H. Pregnancy loss in dairy cows: The contributing factors, the effects on reproductive performance and the economic impact. *J. Vet. Sci.* **2007**, *8*, 283, doi:10.4142/jvs.2007.8.3.283.
7. Labèrnia, J.; López-Gatius, F.; Santolaria, P.; López-Béjar, M.; Rutllant, J. Influence of management factors on pregnancy attrition in dairy cattle. *Theriogenology* **1996**, *45*, 1247–1253, doi:10.1016/0093-691X(96)00079-9.
8. Grimard, B.; Freret, S.; Chevallier, A.; Pinto, A.; Ponsart, C.; Humblot, P. Genetic and environmental factors influencing first service conception rate and late embryonic/foetal mortality in low fertility dairy herds. *Anim. Reprod. Sci.* **2006**, *91*, 31–44, doi:10.1016/j.anireprosci.2005.03.003.
9. López-Gatius, F. Factors of a noninfectious nature affecting fertility after artificial insemination in lactating dairy cows. A review. *Theriogenology* **2012**, *77*, 1029–1041, doi:10.1016/j.theriogenology.2011.10.014.
10. Kelley, D.E.; Galvão, K.N.; Mortensen, C.J.; Risco, C.A.; Ealy, A.D. Using Doppler ultrasonography on day 34 of pregnancy to predict pregnancy loss in lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* **2017**, *100*, 3266–3271, doi:10.3168/jds.2016-11955.

11. Martins, J.P.N.; Wang, D.; Mu, N.; Rossi, G.F.; Martini, A.P.; Martins, V.R.; Pursley, J.R. Level of circulating concentrations of progesterone during ovulatory follicle development affects timing of pregnancy loss in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* **2018**, *101*, 10505–10525, doi:10.3168/jds.2018-14410.
12. Nyman, S.; Gustafsson, H.; Berglund, B. Extent and pattern of pregnancy losses and progesterone levels during gestation in Swedish Red and Swedish Holstein dairy cows. *Acta Vet. Scand.* **2018**, *60*, doi:10.1186/s13028-018-0420-6.
13. Gatea, A.O.; Smith, M.F.; Pohler, K.G.; Egen, T.; Pereira, M.H.C.; Vasconcelos, J.L.M.; Lawrence, J.C.; Green, J.A. The ability to predict pregnancy loss in cattle with ELISAs that detect pregnancy associated glycoproteins is antibody dependent. *Theriogenology* **2018**, *108*, 269–276, doi:10.1016/j.theriogenology.2017.12.021.
14. Northrop, E.J.; Rich, J.J.J.; Rhoades, J.R.; Perry, G.A. Comparison of two bovine serum pregnancy tests in detection of artificial insemination pregnancies and pregnancy loss in beef cattle. *PLoS ONE* **2019**, *14*, e0211179, doi:10.1371/journal.pone.0211179.
15. Madureira, A.M.L.; Polsky, L.B.; Burnett, T.A.; Silper, B.F.; Soriano, S.; Sica, A.F.; Pohler, K.G.; Vasconcelos, J.L.M.; Cerri, R.L.A. Intensity of estrus following an estradiol-progesterone-based ovulation synchronization protocol influences fertility outcomes. *J. Dairy Sci.* **2019**, *102*, 3598–3608, doi:10.3168/jds.2018-15129.
16. Gehrke, M.; Zbylut, J. Factors connected with pregnancy loss in dairy cows. *Bull. Vet. Inst. Pulawy* **2011**, *55*, 457–464.
17. Souza, F.; Carneiro, L.C.; Cesar, J.; dos Santos, R.M. Non-infectious causes that increase early and mid-to-late pregnancy loss rates in a crossbreed dairy herd. *Trop. Anim. Health Prod.* **2019**, *51*, 759–765, doi:10.1007/s11250-018-1749-6.
18. Heidari, F.; Dirandeh, E.; Ansari Pirsaraei, Z.; Colazo, M.G. Modifications of the G6G timed-AI protocol improved pregnancy per AI and reduced pregnancy loss in lactating dairy cows. *Animal* **2017**, *11*, 2002–2009, doi:10.1017/S1751731117000520.
19. Wijma, R.; Stangaferro, M.L.; Masello, M.; Granados, G.E.; Giordano, J.O. Resynchronization of ovulation protocols for dairy cows including or not including gonadotropin-releasing hormone to induce a new follicular wave: Effects on re-insemination pattern, ovarian responses, and pregnancy outcomes. *J. Dairy Sci.* **2017**, *100*, 7613–7625, doi:10.3168/jds.2017-12550.
20. Niozas, G.; Tsousis, G.; Steinhöfel, I.; Brozos, C.; Römer, A.; Wiedemann, S.; Bollwein, H.; Kaske, M. Extended lactation in high-yielding dairy cows. I. Effects on reproductive measurements. *J. Dairy Sci.* **2019**, *102*, 799–810, doi:10.3168/jds.2018-15115.
21. Borchardt, S.; Haimerl, P.; Heuwieser, W. Effect of insemination after estrous detection on pregnancy per artificial insemination and pregnancy loss in a Presynch-Ovsynch protocol: A meta-analysis. *J. Dairy Sci.* **2016**, *99*, 2248–2256, doi:10.3168/jds.2015-10358.
22. Martins, J.P.N.; Acevedo, M.J.T.; Cunha, T.O.; Piterini, C.; Pursley, J.R. The effect of presynchronization with prostaglandin F2 α and gonadotropin-releasing hormone simultaneously, 7 d before Ovsynch, compared with Presynch-10/Ovsynch on luteal function and first-service pregnancies per artificial insemination. *J. Dairy Sci.* **2017**, *100*, 5107–5116, doi:10.3168/jds.2016-11628.
23. Santos, J.E.P.; Rutigliano, H.M.; Sá Filho, M.F. Risk factors for resumption of postpartum estrous cycles and embryonic survival in lactating dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.* **2009**, *110*, 207–221, doi:10.1016/j.anireprosci.2008.01.014.
24. Lima, F.S.; Bisinotto, R.S.; Ribeiro, E.S.; Ayres, H.; Greco, L.F.; Galvão, K.N.; Risco, C.A.; Thatcher, W.W.; Santos, J.E.P. Effect of one or three timed artificial inseminations before natural service on reproductive performance of lactating dairy cows not observed for detection of estrus. *Theriogenology* **2012**, *77*, 1918–1927, doi:10.1016/j.theriogenology.2012.01.011.
25. Diskin, M.G.; Parr, M.H.; Morris, D.G. Embryo death in cattle: An update. *Reprod. Fertil. Dev.* **2011**, *24*, 244–251, doi:10.1071/RD11914.
26. Diskin, M.G.; Waters, S.M.; Parr, M.H.; Kenny, D.A. Pregnancy losses in cattle: Potential for improvement. *Reprod. Fertil. Dev.* **2016**, *28*, 83–93, doi:10.1071/RD15366.
27. COUNCIL DIRECTIVE 98/58/EC of 20 July 1998 concerning the protection of animals kept for farming purposes 1998. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31998L0058> (accessed on 20 January 2020).

28. Moreira, F.; Orlandi, C.; Risco, C.A.; Mattos, R.; Lopes, F.; Thatcher, W.W. Effects of presynchronization and bovine somatotropin on pregnancy rates to a timed artificial insemination protocol in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* **2001**, *84*, 1646–1659, doi:10.3168/jds.S0022-0302(01)74600-0.
29. Souza, A.H.; Ayres, H.; Ferreira, R.M.; Wiltbank, M.C. A new presynchronization system (Double-Ovsynch) increases fertility at first postpartum timed AI in lactating dairy cows. *Theriogenology* **2008**, *70*, 208–215, doi:10.1016/j.theriogenology.2008.03.014.
30. Bello, N.M.; Steibel, J.P.; Pursley, J.R. Optimizing ovulation to first GnRH improved outcomes to each hormonal injection of ovsynch in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* **2006**, *89*, 3413–3424, doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72378-5.
31. Ribeiro, E.S.; Bisinotto, R.S.; Favoreto, M.G.; Martins, L.T.; Cerri, R.L.A.; Silvestre, F.T.; Greco, L.F.; Thatcher, W.W.; Santos, J.E.P. Fertility in dairy cows following presynchronization and administering twice the luteolytic dose of prostaglandin F₂ α as one or two injections in the 5-day timed artificial insemination protocol. *Theriogenology* **2012**, *78*, 273–284, doi:10.1016/j.theriogenology.2012.01.012.
32. Pursley, J.R.; Mee, M.O.; Wiltbank, M.C. Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF₂ α and GnRH. *Theriogenology* **1995**, *44*, 915–923, doi:10.1016/0093-691X(95)00279-H.
33. Brusveen, D.J.; Souza, A.H.; Wiltbank, M.C. Effects of additional prostaglandin F₂ α and estradiol-17 β during Ovsynch in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* **2009**, *92*, 1412–1422, doi:10.3168/jds.2008-1289.
34. Lamb, G.C.; Stevenson, J.S.; Kesler, D.J.; Garverick, H.A.; Brown, D.R.; Salfen, B.E. Inclusion of an intravaginal progesterone insert plus GnRH and prostaglandin F₂ α for ovulation control in postpartum suckled beef cows. *J. Anim. Sci.* **2001**, *79*, 2253–2259, doi:10.2527/2001.7992253x.
35. Santos, J.E.P.; Narciso, C.D.; Rivera, F.; Thatcher, W.W.; Chebel, R.C. Effect of reducing the period of follicle dominance in a timed artificial insemination protocol on reproduction of dairy cows. *J. Dairy Sci.* **2010**, *93*, 2976–2988, doi:10.3168/jds.2009-2870.
36. Bridges, G.A.; Helser, L.A.; Grum, D.E.; Mussard, M.L.; Gasser, C.L.; Day, M.L. Decreasing the interval between GnRH and PGF₂ α from 7 to 5 days and lengthening proestrus increases timed-AI pregnancy rates in beef cows. *Theriogenology* **2008**, *69*, 843–851, doi:10.1016/j.theriogenology.2007.12.011.
37. López-Gatius, F.; Andreu-Vázquez, C.; Mur-Novales, R.; Cabrera, V.E.; Hunter, R.H.F. The dilemma of twin pregnancies in dairy cattle. A review of practical prospects. *Livest. Sci.* **2017**, *197*, 12–16, doi:10.1016/j.livsci.2017.01.001.
38. López-Gatius, F.; García-Ispuerto, I.; Hunter, R.H.F. Factors affecting spontaneous reduction of corpora lutea and twin embryos during the late embryonic/early fetal period in multiple-ovulating dairy cows. *Theriogenology* **2010**, *73*, 293–299, doi:10.1016/j.theriogenology.2009.09.012.
39. Starbuck, M.J.; Dailey, R.A.; Inskeep, E.K. Factors affecting retention of early pregnancy in dairy cattle. *Anim. Reprod. Sci.* **2004**, *84*, 27–39, doi:10.1016/j.anireprosci.2003.12.009.
40. Pereira, R.V.; Siler, J.D.; Ng, J.C.; Davis, M.A.; Grohn, Y.T.; Warnick, L.D. Effect of on-farm use of antimicrobial drugs on resistance in fecal *Escherichia coli* of preweaned dairy calves. *J. Dairy Sci.* **2014**, *97*, 7644–7654, doi:10.3168/jds.2014-8521.
41. Pereira, M.H.C.; Wiltbank, M.C.; Barbosa, L.F.S.P.; Costa, W.M.; Carvalho, M.a.P.; Vasconcelos, J.L.M. Effect of adding a gonadotropin-releasing-hormone treatment at the beginning and a second prostaglandin F₂ α treatment at the end of an estradiol-based protocol for timed artificial insemination in lactating dairy cows during cool or hot seasons of the year. *J. Dairy Sci.* **2015**, *98*, 947–959, doi:10.3168/jds.2014-8523.
42. Bisinotto, R.S.; Ribeiro, E.S.; Martins, L.T.; Marsola, R.S.; Greco, L.F.; Favoreto, M.G.; Risco, C.A.; Thatcher, W.W.; Santos, J.E.P. Effect of interval between induction of ovulation and artificial insemination (AI) and supplemental progesterone for resynchronization on fertility of dairy cows subjected to a 5-d timed AI program. *J. Dairy Sci.* **2010**, *93*, 5798–5808, doi:10.3168/jds.2010-3516.
43. Lonergan, P. Influence of progesterone on oocyte quality and embryo development in cows. *Theriogenology* **2011**, *76*, 1594–1601, doi:10.1016/j.theriogenology.2011.06.012.
44. Barkallah, M.; Gharbi, Y.; Hassena, A.B.; Slima, A.B.; Mallek, Z.; Gautier, M.; Greub, G.; Gdoura, R.; Fendri, I. Survey of infectious etiologies of bovine abortion during mid- to late gestation in dairy herds. *PLoS ONE* **2014**, *9*, e91549, doi:10.1371/journal.pone.0091549.
45. Chebel, R.C.; Santos, J.E.P.; Cerri, R.L.A.; Rutigliano, H.M.; Bruno, R.G.S. Reproduction in dairy cows following progesterone insert presynchronization and resynchronization protocols. *J. Dairy Sci.* **2006**, *89*, 4205–4219, doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72466-3.

46. Chebel, R.C.; Santos, J.E.P. Effect of inseminating cows in estrus following a presynchronization protocol on reproductive and lactation performances. *J. Dairy Sci.* **2010**, *93*, 4632–4643, doi:10.3168/jds.2010-3179.
47. Bisinotto, R.S.; Castro, L.O.; Pansani, M.B.; Narciso, C.D.; Martinez, N.; Sinedino, L.D.P.; Pinto, T.L.C.; Van de Burgwal, N.S.; Bosman, H.M.; Surjus, R.S.; et al. Progesterone supplementation to lactating dairy cows without a corpus luteum at initiation of the Ovsynch protocol. *J. Dairy Sci.* **2015**, *98*, 2515–2528, doi:10.3168/jds.2014-9058.
48. Borchardt, S.; Haimerl, P.; Pohl, A.; Heuwieser, W. Evaluation of prostaglandin F2 α versus prostaglandin F2 α plus gonadotropin-releasing hormone as Presynch methods preceding an Ovsynch in lactating dairy cows: A meta-analysis. *J. Dairy Sci.* **2017**, *100*, 4065–4077, doi:10.3168/jds.2016-11956.
49. Carvalho, P.D.; Santos, V.G.; Giordano, J.O.; Wiltbank, M.C.; Fricke, P.M. Development of fertility programs to achieve high 21-day pregnancy rates in high-producing dairy cows. *Theriogenology* **2018**, *114*, 165–172, doi:10.1016/j.theriogenology.2018.03.037.



© 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Management Strategies to Enhance Production Efficiency in High Yielding Dairy Farms

Susana Astiz, PhD, DVM, MSc, DECBHM; Juan V. González-Martin, PhD, DVM, DECBHM; Octavi Fargas, DVM; Francisco Sebastian, DVM; Antonio Gonzalez-Bulnes, PhD, DVM; Raquel Patrón, DVM; José Luis Pesántez Pacheco, DVM
Madrid, Spain

INTRODUCTION

In the field of Animal Production we are dealing as veterinarians with no patients. Even not (just) with a group of patients. We are dealing with a huge and very complex system that includes a lot of things such as the individuals, the whole herd, but also, where they are resting and living, where their food is from and is administered, who is taking care of them and where we are. Our clients are not (only) willing that we help one cow to calve. The whole system has to work; hence, our goals have to be to make the system to improve, to keep it good working, to stop worsening forces or to prevent threatening things.

With this prerequisite, we have to constantly observe the effects and consequences of any intervention in the system. This holistic view is a key point of the herd health medicine^{1,2} without leaving aside the individual medicine. Keeping the holistic view of the system, we early acknowledged that there are several ways to improve efficiency. I will describe some of these many different (sometimes almost opposite!) aspects that are important in the Herd Health Medicine, in dairy cattle productive systems, letting clear the multiapproach work required in this specialty.

A NEW SURGICAL APPROACH TO AN INDIVIDUAL REPRODUCTIVE PROBLEM: THE UROVAGINA

Urovagina is considered a disease of cattle, consisting in urine pooling cranially in the vagina. This condition has been known for a long time to cause infertility.^{3,4} Surgical correction has been recommended classically when the volume of urine exceeds 100 mL,⁵ with the most described techniques being the modification of the urethral extension, which is used in mares⁶ but which results were questioned⁷ and the creation of a transverse fold of tissue including the vaginal floor in cows³ with no reported results, and in our experience less than 15% of success (data unpublished). Focusing on the fact that the ultimate etiopathological cause of urovagina is the incompetence or damage of the *constrictor vestibuli* muscle, a new correction applying a cerclage of the vestibulovaginal junction to the vaginal wall, cranial to the urethral opening has been proposed.⁸ A modified Deschamps 10-cm needle with the eye at the point of the needle is used. The cerclage is performed on standing cattle under epidural anesthesia. Considering the vagina walls of the vestibulovaginal junction a circumference, incisions at 4, at 8 and at 12 o'clock positions are performed. The needle is then introduced through the "4 hour-incision" and passed cranially to the urethral opening between the vaginal wall and the urethra along the vestibulovaginal junction floor until the 8 o'clock position of the ring, where the needle is exposed and unthreaded. Care has to be taken to avoid incorporating the urethra in the suture line, by placing one finger in the urethra. The needle is then rethreaded and reentered at the 8 o'clock position to the 12 o'clock position, and finally the suture is passed from the 12 until the 4 o'clock position. Tension is applied to each end of the suture to create the vestibulovaginal cerclage and the suture tightened and knotted to permit the entry of one finger. The technique has been now also recommended in the most recent publications.⁹⁻¹² During the study, 39 cows with urovagina were included and 19 treated with this technique (the rest control group). No significant effects on the subsequent fertility were observed by the lactation number, AI number or days in milk at the time of urovagina diagnosis. Resumed results were a reduced mean interval from urovagina diagnosis/surgery to pregnancy in treated cows (89±9.4 vs. 49±27 days) and a higher conception rate (35% vs. 74%). Cows undergoing surgical correction of urovagina are 5.2 times more likely to become pregnant than cows with this condition not subjected to surgery. The surgical correction of urovagina by cerclage of the vestibulovaginal junction technique lasts approximately 15 min, and shows <5% of surgical complications and <5% of recurrence (cows that lose the suture through the vagina wall). Therefore, the vestibulovaginal cerclage offers an efficient solution to a previously difficult to solve problem. The loss of efficiency in the production system, when affecting primiparous cows, or high-yielding cows was enormous. Now we can solve the problem!

ATTENTION TO THE HOUSING AND COMFORT: COMPOST BEDDING IS A VERY GOOD SOLUTION!

Housing and bedding affect consistently health, productivity, and longevity of dairy cattle, and therefore the global efficiency of the cattle production systems. The comfort of housing depends on several factors, with the type and quality of the bedding material being key points besides the design of the cubicles, if it is a free stall. In the case of loose housing, the bedding together with the available surface per animal, becomes almost the most relevant factor. Producers are increasingly implementing the "compost bedding" (CB) system.¹³ CB is a specific loose-housing bedding, first used by a Minnesota dairy producer, and now increasingly implemented in USA and Europe, with better or similar results when compared to cubicles systems in terms of lameness, claw health, and animal welfare,¹⁴ and a high level of satisfaction by farmers who has moved into this CB system¹⁵. It typically consists of a large bedded pack area with a basis of straw, sawdust or wood shavings as primary material. On this basis, the manure of the cows arrives daily. After reaching a depth of the bedding mixture of 30–40 cm, the bedding material is aerated daily by using a soil cultivator. This triggers the aeration and the refrigeration of the bedding on the surface, reducing the humidity, turning it into a fresh (one main objective for farms with heat stress seasons) and comfortable resting surface. Below this layer, the organic material composts. It is important to keep moisture controlled because bedding wet density is positively associated with cleanliness and bulk milk concentration of total bacteria.¹⁶ Regarding the environment, what is specifically important in Europe, a recent study has found that the total greenhouse gas emissions (CH₄+N₂O) were reduced on a CO₂-equivalent basis compared to traditional liquid storage. Solid-liquid separation and well-managed composting could mitigate overall greenhouse gas emissions, therefore.¹⁷

Our group has also performed a small study on bedded-pack systems, with the novelty that we wanted to investigate its effects, when housing cows during the dry period on CB bedding, studying health (udder and uterine health), reproductive and productive performance of these cows during the following lactation.¹⁸ We included 423 multiparous Holstein randomly distributed at drying-off into a CB group or into the control group (in a loose housing barn with barley straw bedding). Density of cows (measured by the per cow roofed surface) in each barn and average lactation of both groups were comparable. Culling rate during the lactation after this studied dry period did not differ among groups

(3.9 vs. 5.0% for control and CB groups, respectively) and CB cows showed lower incidence of first and second mastitis cases, lower SCC rate, higher total milk yield per lactation and higher milk yield per DIM when compared with the control group. Generally, a main concern on implementing CB systems is the belief that it is dirtier (in fact, it is processed manure!). Accordingly, it has been demonstrated that the total bacterial count and the presence of mastitis pathogens in CB is high.¹⁹ But Husfeldt *et al.*²⁰ in a similar way as we did, observed that SCC of cows maintained at CB barns are comparable to the average in their region, even when the bacterial count of the bedding was higher. These good results in our and other studies may be due to cows on CB triggering a better immune capacity to deal with intramammary infections, perhaps due to the improved welfare status, both factors diminishing clinical mastitis incidence and SCC. All these findings, added to the saving of straw costs (when compared to straw bedding) and waste disposal, support the implementation of CB systems, not only during lactation, but also during the dry period in dairy farms. When enough surface per cow is available, and the climate of the region is not very wet (as in Spain), it is an option with advantages that has to be considered by Herd Health Medicine advisors faced with new building or restructuring cattle barns.

AN APPROACH TO DETECT FACTORS FOR MILK YIELD LEVEL: GENETICS AND SOMETHING MORE?

At any farm (hence, with the same environmental influences) we are used to have “very good yielding cows” and “very bad ones.” We all would like to detect the key factors that make the difference. And with this ambitious objective our group performed a prospective cohort study.²¹ Data on developmental, reproductive, and productive features of Holstein cows that completed their second lactation were collected over 7 years. Over the inclusion period, 782 heifers were born on the farm, but during the 5 years of study, we lost some of them, and finally, 53 cows had not finished their second lactation by the last day of data collection. Thus, the final analysis included the complete first and second lactations of 404 dairy cows. The analyses relied on cluster analysis, i.e., building groups (or “clusters”) of individuals with similar yielding potential and exploring the similarities and discrepancies among the groups. Our cattle population was divided in four clusters: the high-yielding cows (HY; 18.1%), the PHY cows or persistently high-yielding cows (14.8%); the medium-yielding cows (MY; 40.6%) and the low-yielding cows (LY-cluster; 26.5%). Afterwards different characteristics were analyzed, trying to find differences among the clusters, to detect factors associated to certain levels of production. We measured for each heifer since the birth onwards the following variables: serum protein at birth, birth weight; growth rate; days at weaning; height at first AI; age at first AI; AIs for first pregnancy; weight at first calving (WFC); age at first calving; fat yield during first and second lactation; protein yield during first and second lactation; milk yield during first and second lactation; dry period; length of lactations; AIs per pregnancy in subsequent pregnancies and calving intervals. We observed a significant correlation of yields between the first and second lactations, supporting the possibility of modeling lifetime performance.²² In contrast, we failed to detect any influence of environmental and developmental features on adult performance. These findings do not want to downplay the influence of all these factors, demonstrated as relevant for productivity in many other studies.²³⁻²⁵ This may reflect the effective management practices on the farm under study and we could suggest that for Holstein dairy cows living under well-controlled, optimal conditions, the primary determinants of adult performance are not developmental or environmental factors.

An interesting finding was that the two most productive cow clusters, HY and PHY, differed significantly in their reproductive performance (fertility). HY cows achieved less AI/P and became pregnant more quickly than did PHY cows. In fact, these PHY cows had the longest calving interval and the highest AIs/P from the population. This finding demonstrates that higher milk production is not always associated with lower fertility and that the relationship between these variables is complex.²⁶

What we could finally observe was that maternal age (and not the maternal yield level during the gestation) appeared to be the single most important determinant of the life performance and metabolic efficiency of the daughter. All ages were included (heifers: 12.34 y to 10 y). The HY cows were born from the youngest dams. PHY cows were born from the next youngest mothers, and the LY cows were born from the oldest. The genetic merit plays an important role without any doubt, being established an average improvement of 1% per year.²⁷ In the studied farm, the average improvement observed during these years was 19% (ca. 3% per year). This improvement has to be attributed to genetic together with management improvements. The advance of the best clusters (25–50%) overcame notably the mean improvement of the herd. Therefore, acknowledging the high relevance of the genetic improvement in the enhancement of the productivity, once, environment is optimized, our results suggest that conditions of the offspring during prenatal development, in fact, the intrauterine environment, may be important.²⁸

References

1. Radostits *et al.* *Herd Health: Food Animal Production Medicine*. Saunders Co;1994.
2. Green, Bradley. *Dairy Herd Health*. CABL. 2012.
3. Wolfe and Baird. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 1993;9:369.
4. Youngquist. *Current Therapy in Theriogenology*. WB Saunders;1997:429.
5. St. Jean G, *et al.* *Vet Surg.* 1988;17:258.
6. Gilbert *et al.* *J Am Vet Med Assoc.* 1989;194:931.
7. Prado *et al.* *Theriogenology.* 2007;67:1512.
8. Gonzalez-Martin *et al.* *Theriogenology.* 2008;69:360
9. Hillman, Gilbert. In: *Rebhun's Diseases of Dairy Cattle*. Elsevier;2008:421.
10. Elvira L *et al.*, In: EOLSS 2012, EOLSS Publishers, www.eolss.net/ViewChapter.aspx?CategoryId=10
11. Hopper. In: *Bovine Reproduction*. John Wiley & Sons;2015:475.
12. Fubini S. In: Fubini, Ducharme. Elsevier;2016:472.
13. Barberg *et al.* *J Dairy Sci.* 2007;90(3):1575.
14. Burgstaller *et al.* *Vet J.* 2016;216:81.
15. Black *et al.* *J Dairy Sci.* 2013;96(12):8060.
16. Fávero *et al.* *Livestock Sci.* 2015;181:220.
17. Fillingham *et al.* *Waste Manag.* 2017;70:45.
18. Astiz S, *et al.* *Livestock Sci.* 2014;159:161.
19. Black *et al.* *J Dairy Sci.* 2014;97(5):2669.



20. Husfeldt *et al. J. Dairy Sci.* 2012;95:5626.
21. Astiz S, *et al. J Dev Orig Health Dis.* 2014;5:374.
22. Togashi *et al. J Dairy Sci.* 2008;91:2836.
23. Ettema *et al. J Dairy Sci.* 2004;87:2730.
24. Terre *et al. J Dairy Res.* 2009;76(3):331.
25. Tao, Dahl. *J Dairy Sci.* 2013;96:1.
26. Bello *et al. J Dairy Sci.* 2006;89:3413.
27. Brotherstone *et al. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2005;360:1479.
28. Van Eetvelde, Opsomer. *Reprod Domest Anim.* 2017;52 Suppl 3:30.

SPEAKER INFORMATION

(click the speaker's name to view other papers and abstracts submitted by this speaker)

[Susana Astiz Blanco, PhD, DVM, DECBHM](#)

INIA

Madrid, Spain

URL: </doc/?id=8524814>

Reproduction in High Yielding Dairy Farms: Learning From Their Own Data

Susana Astiz, PhD, DVM, MSc, DECBHM; Octavi Fargas, DVM; Francisco Sebastian, DVM; Javier Heras, DVM; Raquel Patrón, DVM; Jose-Luis Pesántez Pacheco
Madrid, Spain

INTRODUCTION

Without any doubt, reproductive inefficiency compromises the profitability of herds.¹ Although we have observed during the past century how cattle reproductive index decreased with (but not - only - through) the increase of milk yield.² Finally, during the past decade, while milk yield continued to increase, a growth of pregnancy rates has happened.³ What has occurred to make the change? We have to thank this to the effort of several professionals (advisors, scientists, practitioners, farmers...) that have begun to understand how to manage this high-producing dairy cow and have increased the knowledge on reproductive physiology, immunology, health, and also on herd medicine and genetic selection.⁴ Nowadays, we know that it is impossible to optimize reproduction with non-healthy and non-wellbeing animals, which includes optimal housing, feeding, care, and adequate general management, while keeping high yields. The farm itself cannot be forgotten as a very important factor that affects all characteristics of our cows, and even more when working with the reproductive efficiency. Therefore, the optimal comparison among treatments or interventions has to be performed, when possible, within a farm. And thus, there is no single optimal reproductive strategy for all farmers.⁵ We will highlight the relevance of applying the scientific evidenced information together with farmer's own data and experience. We will be able then, to apply the most optimal reproductive strategies to each one of our clients.

REPRODUCTIVE ISSUES CONTRIBUTING TO THE CHANGE

It has not been just one factor, but a subset of several things that we have improved in the last decades. When aiming at optimizing reproduction, a number of important components besides the transition-cow's health (important topic out of the scope of the present article) have to be taken into account. These are the following points.

Parity

In the first instance, we are already used to differentiate the type of cow regarding the parity. Primiparous cows show a differentiated reproductive physiology! The metabolic environment during the heifer pregnancy without lactation seems to induce differences in the reproductive physiology of the ovaries of the primiparous cows, with several studies showing differences in the reproductive efficiency.⁶ For example, primiparous cows show higher conception rates (>10 points in conception rate) after first insemination when synchronized with the Double Ovsynch protocol,⁷ while multiparous cows seem to enhance fertility after first AI synchronization with the protocol G6G⁸. Therefore, when management and workload of the farm allow it, it seems to be optimal to adjust synchronization protocols for first insemination after calving depending on parity, considering the most effective protocol the Double Ovsynch for primiparous cows, and Presynch, Double Ovsynch or G6G for multiparous cows.

Voluntary Waiting Period

The voluntary waiting period is essential (VWP, the day after calving when the cow can be inseminated again;⁹). During this period, several reproductive physiological events have to undergo. In healthy postpartum dairy cows, first estrus occurs in 25–45 d after postpartum.¹⁰ Each farm has an optimal VWP value, depending on average conception rates, average milk yields, and average percentage of primiparous. Probably, indeed, every single cow will have its optimal VWP. There are complex interactions between reproductive performance, herd culling, milk yield, and parity at the time of fixing the VWP length. As indicative intervals, 60 days for multiparous cows, and 88 days for primiparous cows can be optimal figures,¹¹ especially when average fertility (>35% of CR) and average milk yield (>10000 L305) are high. But again, this has to be fixed, depending on the farm. In general, herds with reduced milk yield, less persistency, and low pregnancy rates should have shorter VWP and intensive reproductive strategies, while high-yielding farms with PR>25% and persistent lactation curves can extend the VWP.⁵

Synchronization and Resynchronization Protocols for Timed AI

Since the publication of the first ovulation synchronization protocol (Ovsynch) in 1995, hundreds of articles cited this first publication and worked on variation of this protocol, and these synchronization protocols play without any doubt an important role in the general enhancement of the reproductive efficiency, not only due to its increasing use in the farms, but due to the enormous gain of the reproductive physiological knowledge in the cow that these systems have allowed, combined with the use of the ultrasound technique in all these studies.

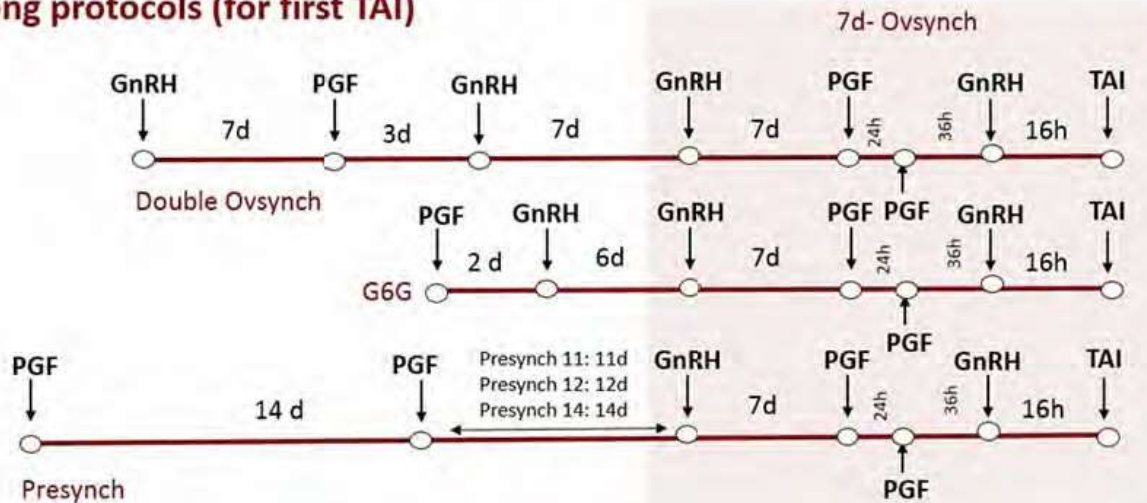
The constant increase in herd size has generated the need for systematic programs to manage reproduction originating making possible that synchronization protocols become an integral component of breeding management in multiple production systems.¹²

The protocols associated to timed AI (TAI) can combine the variation of Cosynch (AI at the same time of the last GnRH; Figure 1;¹³), in order to simplify management of animals without decreasing notably the conception rate (CR). We know now, that beginning Ovsynch in the luteal phase of the cycle (days 5–12) we enhance conception rate in approximately 10 percentage points, and as consequence the "Presynch protocol" has been proposed whether as "Presynch-14," "Presynch-12" or "Presynch-11" (¹⁴⁻¹⁶; Figure 1). An additional advantage of this system is that it allows inseminating cows following estrus detection (ED) after the prostaglandin administrations.

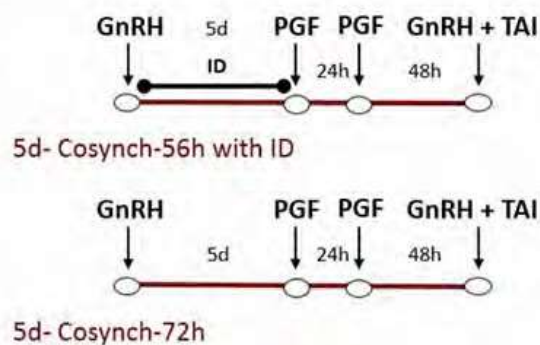
Figure 1. Schematic view of the different synchronization protocols



Long protocols (for first TAI)



Short protocols



GnRH: Gonadotropin releasing hormone; PGF: prostaglandin F_{2α}; TAI: timed artificial insemination; ID: progesterone releasing intravaginal device

The three first protocols are presynchronization protocols mostly used for first timed AI. The two lower protocols are typically used for resynchronization for second or more TAI.

The introduction in the presynchronization protocols of the gonadotropin releasing hormone (GnRH) solved one of the main problems of Presynch and Ovsynch alone: these systems do not induce ovulation in anovulatory cows, that may be up to 41% among dairy cows at first insemination.¹² The most popular new systems for presynchronization, including GnRH are the Double Ovsynch⁷ and G6G,¹⁷ although also the system called “PG-3-G” exists with good results (Stevenson 2016). These systems cause a large proportion of cows being at the optimal stage of the cycle to initiate Ovsynch and improve most aspects of synchronization before or during the Ovsynch.

The reduction of the period of follicular dominance during the development of the follicle that should ovulate for timed AI increases pregnancy outcomes,¹⁸ giving way to the “five-days protocols.” Shorter protocols require two administrations of prostaglandin before GnRH and TAI (Figure 1) to assure luteolyses. This practice is now widespread, also for the 7-days protocols, enhancing pregnancy risk.¹⁹

Finally, the estrus cycle can be synchronized also with progesterone-releasing intravaginal devices (ID) during the interval between the first GnRH and the first prostaglandin. Cows benefitting from supplemental progesterone are those that are anovular or not in diestrus at the onset of the timed AI program.³

Resynchronization Protocols and Programs

A key point to ensure an adequate reproductive rhythm is to detect non-pregnant cows following AI. In farms observing estrus, it is estimated that 40–60% of these cows are detected during the next 23 d in average.⁵ The use and the development in the technology of **automated estrus systems** goes beyond the scope of the present paper, but is another of the key changes contributing to the enhancement of fertility of the high-yielding cows.

If non-pregnancy diagnosis (NPD) has to be performed, this can be made as early as 26–28 d, with the interval to pregnancy diagnosis (IPD) being very relevant. The technical development of the **ultrasound** scanners and commercially available kits to measure pregnancy-associated glycoproteins (PAGs) that have become actually portable, makeable at farms and economically affordable is another important contributor to the improvement of the dairy cattle reproductive strategies. Although, this technique requires a certain learning period by the technician or practitioner applying it, with the possibility of inducing higher pregnancy loss rates if the full training by these professionals performing NPD has not been completed.²⁰

Given a similar IPD, the decision of a short or longer resynchronization protocol for all the cows that are not seen in estrus is important (Table 1). Usually, non-pregnancy diagnosis is performed on a weekly basis in the farms, and when TAI is used for second and further AIs, most of the NPD cows fall on either day 32 or 39 for most of the cows, depending on the method of pregnancy diagnosis. This figure in our specific farms

is important to be able to choose the optimal reproductive strategy.

Table 1. Estimated pregnancy rates in cows resynchronized with a five-day resynchronization protocol (5d-Ovs) or with G6G, stratified by number of days after TAI that non-pregnancy was diagnosed

Protocol	Days at NPD	Length (d)	TAI–TAI (d)	IR	CR	PR
5d-Ovs	27	8	35	60%	27%	16.2%
G6G	27	18	45	47%	38%	17.7%
5d-Ovs	31	8	39	54%	27%	14.5%
G6G	31	18	49	43%	38%	16.3%
5d-Ovs	34	8	42	50%	27%	13.5%
G6G	34	18	52	40%	38%	15.3%
5d-Ovs	38	8	46	46%	27%	12.3%
G6G	38	18	56	38%	38%	14.3%

Days at NPD, number of days between TAI and non-pregnancy diagnosis; Length (d), number of days between the start of the resynchronization protocol and subsequent TAI; TAI–TAI, minimal interval in days between TAIs; IR, insemination rate (21 days/TAI–TAI); CR, conception rate (pregnancies per TAI); PR, estimated pregnancy rate; TAI, timed artificial insemination

Resynchronization protocols can include also a presynchronization and they can begin before the moment of NPD, with GnRH or chorionic gonadotropin (hCG) administration before knowing if the cows are pregnant, increasing pregnancy risk in 4–5% (reviewed by Stevenson *et al.*, 2016 3). In our experience we have obtained satisfactory pregnancy rates using the G–6–G for resynchronization with an average of 38% of conception rate for second and more TAIs (own data non-published). In general, for resynchronization shorter programs are preferred, such as classical Ovsynch or Cosynch.²¹

Intravaginal devices can also be introduced in the resynchronization protocols and be used before the NPD. The 5-day Ovsynch program increased pregnancy risk with ID when compared to the classical 5-d-Ovsynch.²²

A recent publication demonstrates that adjusting resynchronization to the individual ovarian status of the cow at NPD could be the most optimal solution, with non-pregnant cows with a corpus luteum ≥ 15 mm and a follicle ≥ 10 mm at NPD receiving PGF2 α , PGF2 α 24 h later, GnRH 32 h later, and TAI 16 to 18 h later; NPD without a CL ≥ 15 mm or a follicle ≥ 10 mm receiving GnRH plus CIDR, PGF2 α and CIDR removal 7 d later, PGF2 α 24 h later, GnRH 32 h later, and TAI 16 to 18 h later. These resynchronization program was compared with a classical 7d-Ovsynch-resynchronization protocol. The new system did not enhance conception rate (overall P/AI 32 \pm 3 d after AI Ovsynch=31.0% vs. new systems=33.9%), but it reduced time to pregnancy because of a reduction of the TAI–TAI interval for cows with a CL at NPD and greater CR in cows with no CL at NPD.²³

When deciding more intensive resynchronization protocols with administration of hormones before knowing the pregnancy status of the cow, we have to keep in mind, that the percentage of cows observed (and inseminated) after observed estrus is reduced (37.4 vs. 50.3%). The enhancement of the percentage of cows inseminated after ED can be achieved when presynchronizing non-pregnant cows with prostaglandin at the time of NPD.³

In general, AI–AI interval is reduced when increasing estrus detection. However, we have to observe again the efficiency of the estrus detection at each farm, because there are farms that achieve high ED rates, but with low accuracy. If this is the case, increasing the cows inseminated after ED can be deleterious.²⁴ On the other side, when ED is accurate but extremely low (<30%) seems to be more profitable to base the reproductive strategy on Timed AI protocols. In general, the combination of both strategies: resynchronization for TAI and AI after ED seems to be the most profitable strategy,^{25–26} depending on the decision of the percentage of cows submitted to each strategy on the farm idiosyncrasies; in fact, it depends on our own farm data and experience!

Early Fetal Loss as an Additional Reproductive Index to Be Taken Into Account

The pregnancy loss that occurs during the second month of gestation, from Day 28–60 in lactating dairy cows (once a positive pregnancy diagnosis has occurred) has increased in relevance since the beginning of this century, such that nowadays almost no reproductive results are given without detailing pregnancy status after pregnancy diagnoses at >60 days after AI. This gestational phase is of dramatic relevance in *in vitro*-produced embryos, where 25% of the pregnancies are lost during this period,²⁷ pointing to disorders in placental development.

Average figures for early fetal loss seem to be around 12% in dairy cattle, but with substantial variation between the farms, ranging from 3.5% to 26.3%.²³ Determining factors have been named such as the farm itself, synchronization protocols, health status, management practices, twinning or environmental conditions.²⁹ Pregnancy loss during this stage seems to depend more intensively on the individual genetics of the cow than other reproductive indexes.³⁰ This leads us to introducing one last (but not least) key point that has contributed also to the enhancement of the reproductive efficiency of our high-yielding dairy cows. This is the selection program of the farm, aiming not only at increasing milk yield, but also, at improving the longevity and the reproductive efficiency of our cows. The use of genomic predict transmitting ability within a clear strategy for the selection of replacement heifers will enhance the economic gains of our farms.⁵

In conclusion, the relevant reproductive changes that have become “new” key points in the current reproductive strategies are the following:

considering the **parity** of the cows (primiparous versus multiparous), adjusting the **VWP** to the cows (depending on yield, fertility and parity), the introduction of timed **AI** for first and subsequent artificial inseminations (adjusting the percentage of **timed AI** and the protocols to each farm), optimizing **ED**, optimizing early **pregnancy** diagnosis, and minimizing early fetal loss. The objective is to make the productive system (the farm) more profitable. In high-yielding cows, letting those cows pregnant early during lactation can result in economic losses,³¹ whereas in herds with higher productivity and more persistent lactation curves, the effect of an improvement of reproductive efficiency may be not so dramatic as in herds with lower yield (<9000L per 305 d adjusted lactation).

References

1. Giordano, et al. *J Dairy Sci.* 2012;95(9):5442–60.
2. Lucy. *J Dairy Sci.* 2001;84:1277–93.
3. Stevenson. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 2016;32(2):349–64.
4. Weigel. *Anim Reprod Sci.* 2006;96:323–30.
5. Chebel, et al. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 2016;32(2):267–84.
6. Tenhagen, et al. *Anim Reprod Sci.* 2004;81:1–11.
7. Souza, et al. *Theriogenology.* 2008;70:208–15.
8. Astiz, Fargas. *Theriogenology.* 2013;79(7):1065–1070.
9. Schaefer, et al. *J Dairy Sci.* 2010;93(4):1459–67.
10. Crowe, et al. *Animal.* 2014;8:40–53.
11. Stangaferro, et al. *J Dairy Sci.* 2018;101(1):717–735.
12. Bisinotto RS, et al. *Animal.* 2014;8(Suppl 1):151–9.
13. Portaluppi, et al. *J Dairy Sci.* 2005;88:914–21.
14. Moreira, et al. *J Dairy Sci.* 2001;84:1646–59.
15. El-Zarkouny, et al. *J Dairy Sci.* 2004;87:1024–37.
16. Navanukraw, et al. *J Dairy Sci.* 2004;87:1551–7.
17. Bello, et al. *J Dairy Sci.* 2006;89:3413–24.
18. Santos, et al. *J Dairy Sci.* 2010;93:2976–88.
19. Wiltbank, et al. *J Dairy Sci.* 2015;98:8644–54.
20. Patron-Collantes, et al. *Reprod Domest Anim.* 2018 In Press; doi: 10.1111/rda.13033.
21. Sterry, et al. *Theriogenology.* 2007;67(7):1211–6.
22. Bisinotto, et al. *J Dairy Sci.* 2010;93:5798–808.
23. Wijma, et al. *J Dairy Sci.* 2017. In press.
24. Giordano, et al. *J Dairy Sci.* 2011;94:6216–32.
25. Galvao, et al. *J Dairy Sci.* 2013;96:2681–93.
26. Robichaud, et al. *J Dairy Sci.* 2018;101:624–636.
27. Taverne, et al. *Reprod Nutr Dev.* 2002;42:613–24.
28. Wiltbank, et al. *Theriogenology.* 2016;86(1):239–53.
29. Garcia-Ispierdo, et al. *Theriogenology.* 2006;65(4):799–807.
30. Bamber, et al. *J Dairy Sci.* 2009;92:5739–53.
31. De Vries. *J Dairy Sci.* 2006;89:3876–85.

SPEAKER INFORMATION

(click the speaker's name to view other papers and abstracts submitted by this speaker)

[Susana Astiz Blanco, PhD, DVM, DECBHM](#)

INIA

Madrid, Spain

URL: [/doc/?id=8524817](#)

