

# La Economía del Estrés por Calor: Implicaciones para el Manejo

Albert De Vries, Ph.D.

Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Florida

In English: Economics of Heat Stress: Implications for Management  
(/pages/63287/economics-of-heat-stress:-implications-for-management)

## Introducción

Prácticamente todo el sur de los Estados Unidos y las áreas cerca del ecuador están sujetas a periodos extendidos de climas cálidos que causan estrés en la vaca lechera en lactancia. Las vacas poseen zonas óptimas de temperatura dentro de la cual no hay un gasto adicional de energía por encima del mantenimiento para calentar o enfriar el cuerpo (West, 2003). Esta zona termo-neutral para el ganado lechero se ha estimado entre 32° a 68° F con una temperatura crítica superior del aire de aproximadamente 77° F (West, 2003). Los animales lecheros sufren estrés por calor (EC) cuando las condiciones de temperatura efectiva salen fuera de su zona de confort térmico. Los índices de temperatura-humedad (ITH) son medidas frecuentemente usadas de EC en ganado lechero y se calculan utilizando la temperatura ambiental y la humedad relativa. El EC en vacas lecheras comienza a un ITH de 72, que corresponde a 72° F a una humedad relativa de 100%, 77° F a una humedad relativa de 50%, o 82° F a una humedad relativa de 20% (Ravagnolo et al., 2000; Jordan, 2003). Últimamente, se han identificado umbrales aún más bajos de ITH como 68° F en vacas lecheras de alta producción (Collier et al., 2011). El EC reduce la producción de leche, el consumo voluntario, la reproducción, y aumenta los riesgos de cojeras y descartes. La producción de leche estacional es un problema cuando la demanda no acompaña los patrones de producción.

Este trabajo revisa primero algunos estimados de las pérdidas económicas en la producción del ganado lechero bajo los efectos del EC. Segundo, se discuten algunas implicancias del EC en el manejo reproductivo.

## Pérdidas Económicas del Estrés por Calor

Se han realizado muchos estudios para identificar los efectos fisiológicos del EC y los mecanismos por los cuales se reduce la producción de leche (St-Pierre et al., 2003). La cuantía de las pérdidas en producción es muchas veces difícil de estimar, sin embargo, existen algunas estimaciones.

Basándose en un precio de leche de \$13/cwt, St-Pierre et al. (2003) calcularon en \$897 millones las pérdidas anuales de la industria lechera en los Estados Unidos debidas al EC, aun cuando se usaron sistemas de mitigación de calor modernos y económicamente óptimos.

Esta pérdida es casi \$100 por año por vaca lechera adulta. Sin los sistemas de mitigación de calor, la pérdida anual total sería de \$1.5 billones, o aproximadamente \$167 por año y por vaca lechera adulta, en aproximadamente 9.2 millones de vacas lecheras en los EU. Los

análisis incluyeron efectos de EC sobre el consumo de materia seca, producción de leche, reproducción, descarte y muerte de ganado joven y vacas adultas. Además, ellos consideraron 3 sistemas de mitigación de calor y escogieron el sistema económicamente óptimo para cada estado: ventiladores a ventilación forzada, ventiladores y aspersores, o enfriamiento evaporativo de alta presión. En el Cuadro 1 se muestran las pérdidas anuales asumiendo un mínimo de uso de sistemas de mitigación de calor en Arizona, California, Florida, Kentucky, Nuevo Méjico, Texas y Wisconsin . Las horas de EC durante el día se calcularon cuando con ITH mayor a 70. El promedio de horas anuales de EC en los Estados Unidos es de 14%. Con una intensidad mínima de mitigación de calor (ventilación natural), habrían grandes pérdidas económicas en áreas con altas temperaturas y humedad que perduran por varios meses del año.

**Cuadro 1.** Estimado de pérdidas anuales en producción y económicas en vacas lecheras y la duración y amplitud de los periodos de EC bajo intensidades mínimas de mitigación de calor en 7 estados (St-Pierre et al., 2003)

Estado	Reducción Consumo MS (kg/vaca/año)	Pérdida en producción de leche (kg/vaca/año)	Aumento Promedio en Días Abiertos	Aumento en Descartes Reproductivos (%)	Aumento en muertes (%)	Horas de EC/año (%)	Horas de EC/año (%)
WI	201	403	9	0.6	0.1	9	72
CA	320	646	12	0.9	0.2	12	110
NM	370	745	23	2.2	0.5	20	168
AZ	798	1609	26	2.5	0.5	22	256
KY	1100	1779	27	2.7	0.6	21	285
FL	1971	3975	59	8.0	1.7	49	676
TX	2196	4425	54	7.4	1.6	36	698

La cantidad de EC en una localidad específica depende de la temporada y del tipo de sistema de mitigación de calor (St-Pierre et al., 2003). El Cuadro 2 muestra las pérdidas mensuales económicas y en producción de leche para vaquerías con ventilación natural (mitigación de calor mínima) y para establos que utilizan ventiladores y aspersores (mitigación de calor alta) en temperaturas y humedad registradas en Orlando, Florida. Las pérdidas económicas fueron calculadas de la reducción en el consumo de materia seca, la reducción en ventas de leche, y el aumento en el costo de días abiertos. Evidentemente, el EC es más severo de junio a agosto. Bajo ventilación natural, las vacas lecheras en Orlando estarían bajo EC el 51% del tiempo y se perdería \$687 por vaca/año debido al EC. Utilizando ventiladores y aspersores, el EC se reduce a 19% del tiempo y las pérdidas a \$125 por vaca/año. El costo de los sistemas de mitigación de calor no esta incluido en estos cálculos. Flamenbaum (2010) asumió un costo de \$36 por vaca/año para un sistema intensivo de mitigación de calor. En un escenario como ese, el rendimiento de una inversión de \$1 por año sería de \$16. Evidentemente, la efectividad y el costo de los sistemas de mitigación de calor varía de finca a finca y en el tiempo.

**Cuadro 2.** Estimado de pérdidas mensuales económicas y de producción de leche de vacas lecheras y la duración de periodos de EC bajo 2 sistemas de mitigación de calor en Orlando,

Florida<sup>1</sup>

Mes	Ventilación natural			Ventiladores y aspersores		
	Pérdida en Prod. Leche (kg/vaca)	Horas de EC/mes (%)	Pérdida Económica (\$/vaca)	Pérdida en Prod. Leche (kg/vaca)	Horas de EC/mes (%)	Pérdida Económica (\$/vaca)
Ene	0	0	0	0	0	0
Feb	0	0	0	0	0	0
Mar	3	25	4	0	0	0
Abr	34	40	22	0	0	0
May	95	58	49	2	23	4
Jun	325	100	126	38	44	25
Jul	386	100	159	69	54	39
Ago	397	100	162	73	55	41
Sep	273	100	116	22	42	17
Oct	73	56	41	0	13	0
Nov	6	29	7	0	0	0
Dic	0	0	0	0	0	0
Total/año	1593	51	687	206	19	125

<sup>1</sup> Cálculo basado en las fórmulas de St-Pierre et al. (2003). Las pérdidas económicas se calcularon de costos de alimento reducidos, reducción en venta de leche, y aumento en los costos de días abiertos. No incluye el costo de los sistemas de mitigación de calor. Los datos de temperatura y humedad son de <http://countrystudies.us/united-states/weather> (<http://countrystudies.us/united-states/weather/>) y de <http://www.cityrating.com/relativehumidity.asp> (<http://www.cityrating.com/relativehumidity.asp>).

## Impacto del Estrés por Calor en la Producción de Leche, Fertilidad y Supervivencia

Además de enfriar sus vacas, los ganaderos podrían alterar su programa reproductivo para sobrellevar los efectos negativos del EC. La reproducción sufre más por EC que la producción de leche. Utilizando datos típicos de Florida, De Vries (2004) asumió una pérdida en producción de leche de un máximo de 15% y una reducción en la tasa de concepción de un máximo de 53% en el verano comparado con los datos de febrero. Datos de Israel en el verano mostraron una reducción de 7% en la producción de leche y de 51% en la tasa de concepción en hatos de producción promedio (Flamenbaum y Galon, 2010). La eficiencia de detección de celos también puede ser reducida como resultado del EC (Jordan, 2003).

Para evaluar la economía de las prácticas reproductivas para sobrellevar el EC es necesario tener asociaciones cuantitativas entre el desempeño del animal y el EC. St-Pierre et al., (2003) desarrollaron ecuaciones que cuantifican la asociación entre las medidas de ITH y la producción de leche, el consumo de materia seca, la reproducción, y la supervivencia basado en una completa revisión de la literatura. Algunas de estas ecuaciones están en un formato inadecuado para los programas de computadora que al presente tenemos para analizar los efectos del EC. Por lo tanto, se evaluaron otras relaciones publicadas entre EC (como medida de ITH) y el desempeño productivo, que hace que los resultados de las evaluaciones económicas sean menos precisos.

## **Mejorando la Fertilidad en el Verano**

La gran reducción en la fertilidad debida al EC ha motivado más investigación para aumentar la tasa de preñez en el verano (Hansen y Aréchiga, 1999; Jordan, 2003). La transferencia de embriones puede mejorar significativamente la tasa de preñez durante los meses de verano circunvalando el periodo en donde el embrión es más susceptible al EC. En un estudio reciente durante el verano, vacas lecheras en lactancia fueron servidas utilizando embriones producidos *in vitro* con semen sexado, ya sea vitrificados o mantenidos frescos y transferidos luego de un programa de transferencia fija o fueron servidas con semen convencional por IA (IA; Stewart et al., 2011). La tasa de concepción fue el doble en embriones transferidos comparado a la IA.

Utilizando programación matemática, y asumiendo una multiplicación por dos de la tasa de concepción y un costo de \$60 por cada transferencia de embrión, los cálculos demostraron que el beneficio/vaca/año aumentó por \$5 cuando el número máximo de vacas horas (secas) + en lactancia era constante cada mes. Cuando el número total de vacas en lactancia era constante cada mes, el beneficio de la transferencia de embriones versus IA convencional aumentó por \$14 por vaca/año. Estos beneficios surgen del aumento de fertilidad en el verano y más becerras, pero el beneficio se reduce por haber más partos tarde en la primavera lo que no es ventajoso para las vacas.

De Vries et al. (2011) evaluaron el potencial económico de la transferencia de embriones en el verano con un programa diferente (v.Dairyplan) y efectos ligeramente diferentes del EC en la producción de leche, descarte y fertilidad. La cantidad de EC también fue diferente. En este análisis, el uso de embriones producidos *in vitro* con semen sexado a un costo de \$60 por embrión con el uso de hormonas de transferencia y asociadas, comparó con \$20 para la IA convencional y mejoró la rentabilidad/vaca por año de \$22 a \$42, dependiendo on herd de las restricciones del hato. Cuando el número de espacios de ordeño era fijo todo el año, la mejora de la fertilidad en el verano fue otra vez más valiosa que cuando el número total de vacas era fijo a través durante todo el año. Estos resultados demuestran la importancia del factor limitante (total de vacas versus vacas en lactancia) sobre el valor de reducir el EC en el verano.

Bell et al., (2009) estudiaron los efectos de bST para mejorar la tasa de concepción al primer servicio y encontraron que la mejoría en las épocas más frías del año era más valiosa que la mejoría durante el EC. La restricción fue un número fijo del total de vacas en el año. Otras restricciones, como el número fijo de vacas en lactancia en el año o un número fijo del promedio de vacas por año, alterarían estos resultados.

Los resultados diversos demuestran la dificultad de proveer estimaciones generales del valor de mejorías en fertilidad en vacas bajo EC. Una limitación mayor es la falta de relaciones cuantitativas entre el EC y el desempeño de la vaca.

## **Inseminación Retrasada**

Otra implicancia del manejo reproductivo en animales en EC es el no inseminar ciertas vacas durante ciertos períodos del año. DeJarnette et al. (2007) encuestaron ganaderos que participaron en un programa de prueba de progenie en periodos de espera voluntaria para la

primera inseminación. Estos ganaderos estaban localizados principalmente en la parte oeste de los Estados Unidos. Dieciocho por ciento de los ganaderos que respondieron alteraron el periodo de espera voluntaria basado en la temporada, y la mayor motivación fue evitar los partos en el frío invierno. En estos hatos, las novillas y las vacas no se inseminaron en la primavera.

En Florida y en otros sitios donde el EC de verano es severo, muchos ganaderos sin instalaciones adecuadas de enfriado, no inseminan las vacas en el verano o temprano en el otoño. Las dos razones principales son una reducción en la tasa de concepción, y por lo tanto un desperdicio de gastos y esfuerzo, y el deseo de no tener partos tarde en la primavera o en el verano. Vacas con pariciones tarde en la primavera tendrán gran parte de la producción máxima de leche en el verano que será disminuida por el EC. Las vacas con pariciones en el verano, y sus crías, están en mayor riesgo de muerte y de un descarte involuntario. Por lo tanto, el valor de mejorar la tasa de concepción tarde en el verano está comprometido por los efectos negativos de las pariciones tarde en la primavera. Una consecuencia de esta filosofía de apareamiento es que dichos hatos son más estacionales, con más partos y producción de leche durante la temporada fría y, consecuentemente, variaciones mayores en la disponibilidad de dinero.

El programa DairyVIP incluye la opción de evaluar las inseminaciones retrasadas. El programa puede calcular automáticamente cuán rentable es inseminar ciertas vacas o no y por cuanto tiempo. Utilizando los insumos con el perfil estacional de Dallas, la ganancia/vaca/año sin la opción de retrasar la inseminación fue de \$357. Cuando se permitió la inseminación retrasada, la ganancia/vaca/año aumentó en \$16 a \$373. La mayoría de las inseminaciones en julio, agosto y septiembre serían retrasadas hasta el tiempo más frío del año.

## Mezcla Optima de Inseminación

Los resultados de transferencia de embriones asumieron que todas las vacas fueron manejadas de forma similar en el verano y en las otras temporadas. Pero se teoriza que las decisiones óptimas de inseminación varían entre vacas. Algunos escenarios se muestran aquí.

El programa v.Dairyplan fue utilizado para evaluar cuando y para que animales sería ventajoso un aumento en la fertilidad. Se consideraron tres tipos de inseminación que variaron en fertilidad y en precio:

- 100% de la tasa de concepción convencional (que disminuyó con paridad y número de servicio) a \$20 por inseminación,
- 125% de la tasa de concepción convencional a \$40 por inseminación, y
- 150% de la tasa de concepción convencional a \$60 por inseminación.

Estos costos son representativos para cualquier tecnología que aumente la tasa de concepción, como por ejemplo la sincronización de celos, y no es necesariamente el costo del semen. El último escenario es representativo de transferencia de embriones. Por lo tanto, se asumió que un aumento en la fertilidad resulta en costos más altos.

La rentabilidad resultó muy similar (\$350 por espacio de ordeño por año) cuando se usaron inseminaciones de \$40 en sólo una estación del año tanto en novillas como en vacas, y sólo inseminaciones de \$20 el resto del año. No se encontró que el invierno fuese la temporada más ventajosa para mejorar la fertilidad según descrito por Bell et al. (2007), pero tampoco hubo una ventaja relativa en mejorar la fertilidad en el verano. En estos 4 escenarios no se permitieron inseminaciones retrasadas, por lo que todas las novillas y vacas elegibles fueron siempre inseminadas.

El uso de inseminaciones de costo más alto y fertilidad el año completo, combinado con la opción de retrasar la inseminación, aumentó la producción de leche y la rentabilidad (**cuadro 3**). La producción de leche y la rentabilidad fueron menores cuando el número de vacas en lactancia fue restringido. Esta restricción previene la falta de espacio en la sala para

ordeñar todas las vacas en lactancia en el invierno y primavera en un hato estacional. Las inseminaciones de \$60 (150% de la tasa de concepción relativa) aumentaron la rentabilidad en \$25 por espacio de vaca por año en ambos casos.

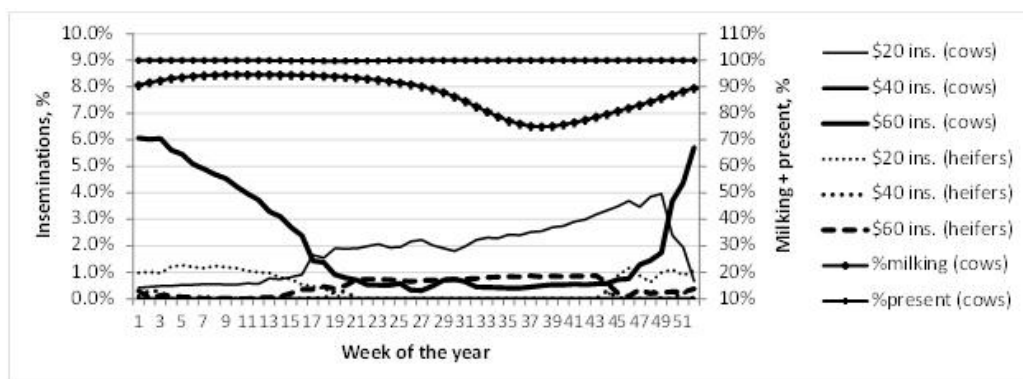
**Cuadro 3.** Producción de leche y rentabilidad de tres tipos de inseminación y mezcla óptima de inseminación para el hato con estacionalidad promedio.

Costo de Inseminación y tasa relativa de concepción <sup>2</sup>	Restricción del Hato: Espacios de ordeño disponibles/semana		Restricciones adicionales: un máximo de 90% de vacas en ordeño	
	Producción de leche (lb/espacio/año)	Rentabilidad (\$/espacio/año)	Producción de leche (lb/espacio/año)	Rentabilidad (\$/espacio/año)
\$20, 100%	20,831	354	20,820	341
\$40, 125%	21,008	371	20,940	360
\$60, 150%	21,138	378	21,052	368
Mezcla óptima <sup>3</sup>	21,116	390	20,981	378

<sup>1</sup> A lo sumo 90% de los espacios contienen una vaca en lactancia, además de una restricción en el número disponible de espacios por semana. Esta restricción del hato previene demasiadas vacas en lactancia en el invierno o primavera que pueden ser como resultado del efecto del EC del verano sobre la producción de leche y la fertilidad.

<sup>2</sup> La tasa relativa de concepción multiplica las tasas de concepción predeterminadas que disminuyen con la paridad y número de inseminaciones. La mezcla óptima consiste del tipo óptimo de inseminación por semana del año, paridad y número de inseminación.

<sup>3</sup> Mezcla óptima de inseminaciones de \$20, \$40, y \$60.

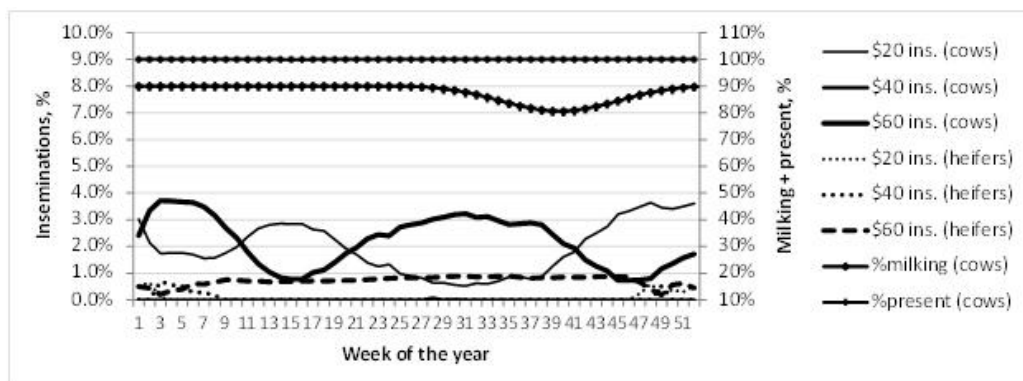


**Figura 1.** Estacionalidad de la producción de leche, animales presentes, y la mezcla óptima de tres tipos de inseminación para escenarios estacionales promedio con una restricción en el número de espacios para vacas disponibles semanalmente.

La Figura 1 ofrece información sobre la mezcla óptima de inseminación a través del año cuando se permite flotar libremente el número de vacas en lactancia para la combinación más económica. Observe que los espacios de las vacas en lactancia + horas (secas) siempre son constantes, pero la fracción de vacas en lactancia es estacional con promedio superior de 95% en la primavera y un promedio inferior de 75% tarde en el verano. La mezcla óptima de inseminación incluye los tres tipos de inseminación para novillas y sólo las inseminaciones de \$20 y \$60 para las vacas, aunque las inseminaciones de \$40 escasamente se usan. En novillas, las inseminaciones de \$60 (con la fertilidad más alta) son esencialmente seleccionadas durante el verano y las inseminaciones de \$20 en el invierno. Pero, entre vacas, la proporción óptima de inseminación es diferente. En vacas, las inseminaciones de \$60 son seleccionadas principalmente en el invierno y en menor grado en el verano. Como resultado, hay un gran número de pariciones tarde en el otoño y muy pocas en el verano. Las novillas y vacas de primer parto utilizan relativamente más inseminaciones de \$60 que vacas de mayor paridad. Dentro del factor paridad, las inseminaciones más costosas se usan más alrededor de la 5<sup>ta</sup> o 6<sup>ta</sup> oportunidad de inseminación que antes o después. Este patrón esta de acuerdo con el valor de una nueva preñez que llega a su máximo a ese momento en vacas en lactación (De Vries, 2006). Temprano en la lactancia, las vacas tienen más oportunidades remanentes para quedar preñadas antes del descarte voluntario y por consiguiente el quedar preñadas no es tan costoso. Más tarde en la lactancia, el valor de quedar preñada disminuye por el prolongado periodo con niveles bajos de producción de leche antes del parto. Sin embargo, la inseminación de las novillas es más rentable con inseminaciones de \$60 luego de la 3<sup>ra</sup> oportunidad de inseminación.

La mezcla óptima de inseminación cambia nuevamente cuando se añade una nueva restricción: un máximo de 90% de los espacios contienen una vaca en lactancia (**figura 2**). Esta restricción se relaciona a la mayor capacidad de espacio de sala en la primavera. Con esta restricción, existe poca actividad en la sala de ordeño tarde en el verano lo que significa que la sala no esta siendo utilizada a capacidad. En novillas, las inseminaciones de \$60 también son usadas en la primavera comparada a la situación en la figura 1 sin restricciones en la sala. Para vacas, hay ahora 2 tiempos pico durante el año (invierno y verano) donde las inseminaciones de \$60 son mayormente usadas.

Por lo tanto, si se desea un patrón de ordeños más uniforme durante el año, una mejor fertilidad en el verano es de gran ventaja. El uso dentro y a través de paridad es similar a la situación sin las restricciones de la sala. Estas mezclas óptimas de inseminación añaden aproximadamente \$36 por espacio de vaca por año a la rentabilidad del hato. También son aproximadamente \$11 más valiosas por espacio de vaca por año que la mejor situación donde se usa un sólo tipo de inseminación (\$60).

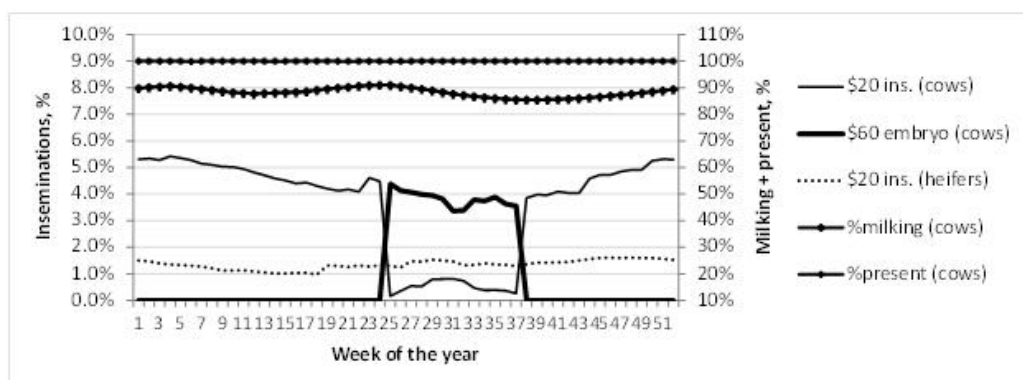


**Figura 2.** Estacionalidad de la producción de leche, animales presentes, y la mezcla óptima de tres tipos de inseminación para escenarios estacionales promedio con restricciones de espacios disponibles por semana y que un máximo de 90% de los espacios contengan una vaca en lactancia.

Cuando la falta de producción de leche en el verano es una preocupación, se pueden aplicar incentivos de precio que estimulen a los ganaderos a producir más leche en esa temporada. La estrategia permanente más importante sería utilizar instalaciones para enfriar las vacas. Además, se podría usar una política de inseminación óptima y de reemplazo que resulte en más partos en la primavera y por ende más producción de leche durante el verano. En Florida se utilizó un plan de incentivos de precio de 1993 a 1995, pero fue retirado por la participación pobre de los miembros de las cooperativas (Washington et al., 2002). Los ganaderos que sí participaron cambiaron la distribución de los partos de novillas, del descarte voluntario y del promedio de días al primer apareamiento para reducir la estacionalidad de su producción de leche. Los incentivos de precios no fueron evaluados en este trabajo.

## Estacionalidad y el Semen Sexado

La comercialización del semen sexado comenzó en el 2006 y ha llevado a aumentos en el número de hembras nacidas (De Vries, 2010<sup>a</sup>; Norman et al., 2010). El semen sexado es típicamente más caro que el semen convencional, y las tasas de concepción se ven reducidas aproximadamente al 80% de lo obtenido en tasas de concepción convencionales. Los resultados típicos del uso de semen sexado es de 90% hembras. Embriones hembra sexados para transferencia de embriones pueden ser producidos bastante baratos y la tasa de concepción mostró ser el doble de la IA convencional cuando se usaron en verano en Texas (Stewart et al., 2010). Por lo tanto, la transferencia de embriones hembra sexados es una manera excelente de preñar vacas en el verano. Se analizó una perspectiva con la opción de usar embriones hembra sexados de \$60 con una tasa de concepción relativa de 150% en vacas durante el verano e inseminaciones (convencionales) de \$20 el año completo en la situación estacional promedio. Resultados preliminares sugieren que la rentabilidad fue de \$365 por cada espacio/año, un aumento de \$11 sobre la perspectiva donde sólo había disponible las inseminaciones de \$20. Cuando se usó el modelo matemático, el uso óptimo de embriones sexados varió entre 81% a 96% de todos los apareamientos en el verano, con excepciones en las vacas más viejas (**figura 3**). La estacionalidad de la producción de leche fue reducida. Estudios futuros deben dilucidar si la transferencia de embriones en novillas y en otras temporadas podría mejorar la rentabilidad aún más.

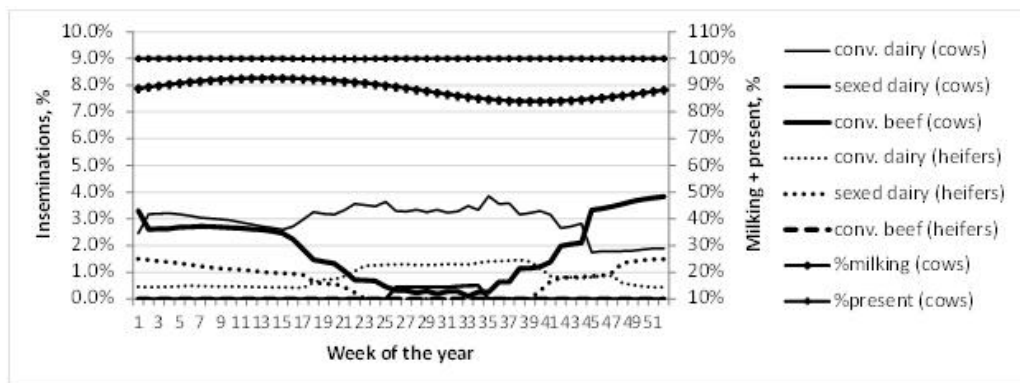


**Figura 3.** Estacionalidad de la producción de leche, animales presente y la mezcla óptima de inseminaciones convencionales y embriones hembra sexados para el escenario de estacionalidad promedio con la restricción de espacios disponibles por semana.

La opción de generar más hembras de las necesarias para reemplazar vacas descartadas ha conducido al interés de usar semen de razas de carne para crear becerros cruzados para la producción de carne. Entonces, la mezcla óptima de inseminación podría consistir de una combinación de semen hembra sexado de razas lecheras, semen convencional de razas lecheras, y semen convencional de razas de carne. Algunos resultados preliminares para un



hato no-estacional indican el uso de semen sexado principalmente en novillas y vacas jóvenes de alta producción y semen de razas de carne en vacas más viejas con producción de leche más baja (De Vries, 2010b). Para la evaluación de los efectos de estacionalidad en la mezcla óptima de inseminación, asumimos un costo de \$20 para el semen convencional de razas lechera y de carne, ambos con una tasa de concepción relativa de 100%. El semen hembra sexado cuesta \$40 con una tasa de concepción relativa de 80%. Los becerros cruzados fueron vendidos a \$150, los becerros de razas lecheras a \$50, y el excedente de novillas lecheras a \$200. Este escenario resultó en una ganancia de \$362 por espacio/año. El patrón estacional de esta mezcla óptima de inseminación se muestra en la **figura 4**. En novillas, el semen sexado sería utilizado en otoño, invierno y en primavera pero no en el verano. El uso mayor sería un 77% de semen sexado y 23% de semen convencional de raza lechera durante el invierno, utilizando el semen sexado sólo en la primera y segunda oportunidad de apareamiento. En vacas, el semen sexado se usaría sólo en el verano, pero sólo hasta el 12% de todas las inseminaciones. Semen convencional de razas lecheras fue usado todo el año pero con un aumento en el verano. El semen convencional de razas de carne sería usado en el otoño, invierno y primavera pero apenas en el verano. Durante el verano, el que más se usó fue el semen convencional de razas lecheras tanto en vacas como en novillas.



**Figura 4.** Estacionalidad de la producción de leche, animales presentes y la mezcla óptima de inseminaciones convencionales y semen hembra sexado de razas lecheras y semen convencional de razas de carne para el escenario de estacionalidad promedio con la restricción de espacios disponibles por semana

## Remplazos Retrasados

Además de una política de inseminación modificada como resultado del EC, la política de reemplazo de vacas debe ser también considerada. De Vries (2004) estudió la economía de retrasar los reemplazos de vacas en el verano. La idea consistía que las vacas descartadas en el verano podrían ser reemplazadas por novillas adquiridas en el otoño. Las novillas que paren en el otoño alcanzan umbrales de producción más altos y son más fáciles de preñar en el invierno. Una consecuencia de esta política sería espacios vacíos en el verano. Un modelo computarizado que optimiza decisiones de reemplazo fue desarrollado basándose en programación dinámica (DairyVIP). Los resultados muestran que en la mayoría de los casos reales de EC y de precios, un reemplazo inmediato era el óptimo. El reemplazo retrasado tenía ventajas económicas sólo si la estacionalidad era severa, y los costos fijos más bajos comparados con los costos variables. Sin tener en cuenta el reemplazo retrasado, las novillas serían adquiridas principalmente para parir en otoño. Hace 20 años, Delorenzo et al., (1992) ya habían demostrado que las novillas debían ser adquiridas en el otoño debido al EC del verano. Esta es una práctica común entre productores de leche de Florida. En hatos cerrados, donde los becerros se mantienen y se crían para reemplazos, la política óptima de reemplazo depende de la disponibilidad de novillas. La economía de estas restricciones es difícil de calcular y no aparecen en la literatura científica todavía, pero hay estudios en progreso que podrán proveer mejor información.