

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE POLÍTICAS DE REEMPLAZO EN GRANJAS DE EXPLOTACIÓN PORCINA

Marco A. Montufar Benítez****, Luis M. Plá Aragonés*, Marco A. Serrato García** y Diego Braña Varela****

*Departamento de Matemática, Universidad de Lleida, 73, Jaume II, 25001, España

**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Toluca, Estado de México, C.P. 50110, México

***Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Estado de Hidalgo, C.P. 42184, México

****Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Querétaro, C.P. 76280, México

ABSTRACT

This research project proposes a simulation model based on discrete-event simulation (DES) developed with ARENATM. This model represents the operation of a large sow farm. The main objective of this research is to identify a good-enough replacement policy that guarantees the best economic outcome of the farm under analysis over time. The main decision variable is the maximum number of cycles allowed for the sows' lifespan in the herd. Main income comes from the sales of piglets and less from culled sows, while the costs considered are those by feeding the animals, acquisition of gilts and operating costs incurred in the farm. The complexity of herd management, stochastic nature and interdependence between several factors in this system, make DES as an adequate methodology. The system was modeled through three stages according to physiological states of sows, and the sow's migration between them is modeled through transition probabilities dependent on the reproductive cycle considered (i.e. number of parity). Input data was borrowed from literature and official statistics of Spanish sow farms. Output data was evaluated through of averaged daily profit. The result showed that considering eight reproductive cycles is the best alternative in the farm management.

KEYWORDS: Simulation, ARENATM, Farm management, Sows replacement

MSC: 90B50

RESUMEN

En este trabajo se presenta un modelo de simulación de eventos discretos (SED) para la gestión de granjas porcinas de reproductoras de gran escala. El modelo se ha desarrollado usando ARENATM. El objetivo principal es evaluar y encontrar una política de reemplazo que garantice el mejor desempeño económico de la granja. La variable analizada para fijar la política de reemplazo fue el número máximo de ciclos que se establece para la vida útil de una cerda dentro del hato. Los principales ingresos considerados se producen por la venta de lechones y en menor grado por las cerdas de desecho, por otro lado, los costos son debidos a la alimentación de los animales, compra de cerdas de reemplazo, y a los gastos de operación de la granja. La complejidad productiva, su naturaleza estocástica y la interdependencia entre varios elementos del sistema hacen idónea la aplicación de la técnica SED. El proceso productivo en este tipo de granjas se dividió para su análisis en tres estados principales de acuerdo a la fisiología de la cerda llamados: cubrición o receso, gestación y lactación. El paso de las cerdas por cada uno de dichos estados fue modelado por probabilidades de transición dependientes del ciclo. Las corridas de simulación se ejecutaron con datos de entrada recopilados en la literatura y estadísticas oficiales de España además, el modelo fue validado y verificado con expertos del área de producción animal. Considerando como variable de respuesta la *utilidad media diaria*, entre las políticas analizadas, la de mantener a las cerdas ocho ciclos resultó ser la mejor. La flexibilidad del modelo para ser ajustado a distintas situaciones y su capacidad gráfica para visualizar los resultados son muy prometedoras en el proceso de gestión y de toma de decisiones en estos sistemas.

1. INTRODUCCIÓN

La correcta gestión de una granja intensiva de cerdas reproductoras a lo largo del tiempo es parte fundamental para el éxito de la cadena de abastecimiento de productos cárnicos derivados del cerdo. Chavas et al., (1985) reconocieron la importancia del aspecto dinámico del sistema en el estudio económico de explotaciones porcinas. Así, un primer modelo para el porcino fue propuesto por Huirne et al, (1993) en el que Jalvingh (1992) basó parte de su tesis y donde identificaron el reemplazo de cerdas reproductoras como un problema de decisión táctico para dichas explotaciones. Su propuesta se basaba en un modelo de programación dinámica,

considerando medidas económicas de desempeño como el retorno anual neto, evitando al mismo tiempo el problema de la dimensionalidad, típico de este tipo de modelos. También prestaron atención a la calidad de los resultados contra el tiempo computacional para ejecutarlo. Otros modelos de reemplazo posteriores fueron propuestos por Plà et al. (2003) y Kristensen et al. (2004) basados en procesos Markovianos, el primero enfatizando la distribución en equilibrio de la población y el segundo los procesos jerárquicos multi-nivel. Ambos resaltando la necesidad de estimaciones individuales a nivel de granja para un uso práctico exitoso de dichos modelos. De forma similar, Plá et al., (2009) plantean una formulación de programación lineal para un modelo semi-Markoviano que trata de resolver el problema estratégico de la planificación de instalaciones, donde también se obtiene la política óptima de reemplazo de cerdas. El mismo problema es resuelto por Rodríguez et al., (2009), por medio de programación lineal estocástica bietapa, pero con horizonte finito. Antes, Plá (2007) había hecho una revisión de los modelos matemáticos utilizados en la gestión de las granjas porcinas, concluyendo que los más utilizados eran modelos de simulación o de optimización, entre estos últimos: programación lineal y programación dinámica, mencionando la falta de modelos que consideren el comportamiento del sistema transitorio y la no homogeneidad de los parámetros. En la actualidad existe dos políticas de manejo comúnmente usadas en la producción porcina que condicionan el reemplazo y dependen básicamente del tamaño de la explotación (pequeña o grande) y el tipo de empresa (familiar o industrial): manejo continuo y manejo por lotes. El manejo continuo consiste en que cada cerda sigue de forma independiente su ciclo reproductivo y su reemplazo se hace de manera inmediata cuando deja de ser productiva ya sea comprando una nueva o a partir de la propia autoreposición procedente de la misma granja. El manejo continuo es habitual en granjas pequeñas y de tipo familiar. Su inconveniente es la poca racionalización del trabajo, siempre con diversas tareas en la granja cada día. En cambio, el manejo por lotes o bandas (Martel et al., 2008) las cerdas se agrupan según su estado fisiológico lo que permite establecer un calendario de tareas semanal (inseminaciones un día, atención de partos otros, destetes otros y así con las diferentes tareas). Así, los reemplazos y compras de animales se hacen también por lotes de cerdas facilitando que la periodicidad de actividades en la granja se vuelva más homogénea en el tiempo. Debido al diferencial productivo de un ciclo productivo a otro en relación con la edad de las cerdas hace que cualquier cambio en la política de reemplazo impacte en el potencial productivo de la manada y en su estructura poblacional, por ejemplo, si de manera empírica o arbitraria en una granja se toma la decisión de reemplazar a la cerdas en un ciclo determinado, en el cual la productividad de lechones todavía no ha llegado a ser la mejor, entonces seguramente la granja estará desaprovechando ciertas oportunidades por no reemplazarlas en un ciclo posterior aumentando la longevidad del animal y su periodo de amortización, por lo que interesará evaluar cualquier cambio de política de manejo antes de implantarla en la realidad a través de medidas de desempeño que permitan considerar si son suficientemente buenas, aunque no necesariamente óptimas. La construcción de un modelo de simulación (Law, 2008; Kelton et al., 2010) es útil para comparar y validar los resultados de modelos analíticos, pero en muchas ocasiones es la única manera de evaluar problemas, dada la robustez y flexibilidad de esta herramienta.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA Y CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO

El problema del reemplazo en granjas porcinas consiste en la determinación del número de ciclos reproductivos a mantener a una cerda en el hato porcino. El ciclo productivo de una cerda reproductora en esencia consta de tres estados: cubrición o receso, gestación, y lactación (véase la Fig.1), por los cuales una cerda irá transitando mientras no haya una baja por muerte o sea enviada al matadero por enfermedad o mal desempeño.

El número de ciclos que debe permanecer una cerda en el hato es un interrogante para el granjero, ya que cada vez que una cerda se reemplaza perdemos una unidad productiva de lechones, después de que ha costado alimentarla y llevarla a ciertos niveles de productividad, pero si la dejamos que permanezca más ciclos en el hato, se vuelve más vieja e improductiva. Sin embargo no todos los ciclos son igualmente productivos, ya que la prolificidad aumenta en los primeros ciclos manteniéndose entorno al cuarto o quinto para luego descender de forma sostenida. Así, el problema surge en determinar en qué momento la prolificidad esperada (fuente principal de ingresos) dejará de ser superior a los costes asociados y por tanto resultará mejor reemplazar la cerda adulta por otro animal joven con unas expectativas productivas mejores.

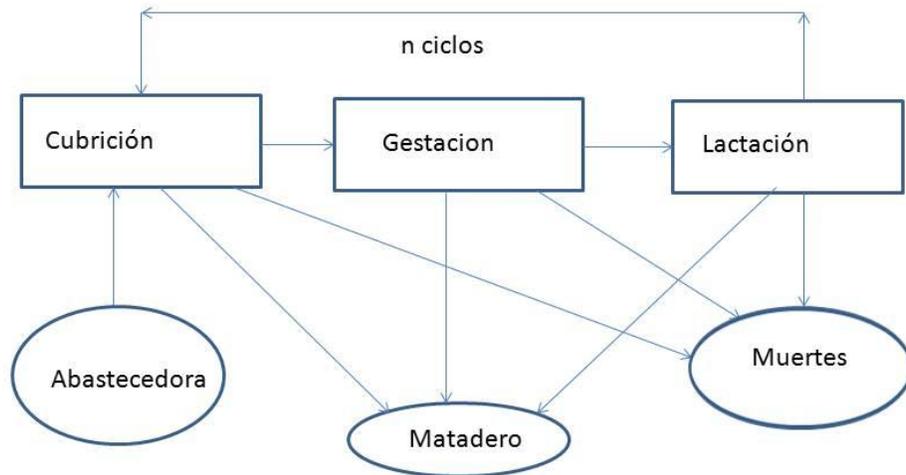


Figura 1. Estados normales en los cuales se puede encontrar una cerda en su ciclo de vida.

La vida productiva de una cerda reproductora será la base de nuestro modelo de simulación (Figura 2) y que se inicia con la introducción de un lote de cerdas en el lazareto donde permanecerá un periodo de cuarentena alejadas del resto del rebaño con el fin de que no introduzcan enfermedades a la granja. Después, se introducen en la granja con el resto de animales y serán cubiertas. La cubrición se solía realizar con monta natural pero en la actualidad es mayoritariamente a través de inseminación artificial y sólo los verracos son usados con fines de estimulación y detección del celo en las cerdas. Después de la manifestación del celo, la aplicación de semen se suele hacer en dos/tres dosis, una cada doce horas, después de esto, a las tres semanas la cerda es diagnosticada para ver si quedó preñada. Si no fue así, se procederá hasta con tres o cuatro intentos que de volver a ser fallidos conducirá a reemplazar el animal. Otros motivos de reemplazo son algunas enfermedades que afecten a la producción. Las cerdas preñadas van posteriormente a los parques de gestación. En caso de aborto la cerda puede morir, o si no muere puede sea desechada y enviada a matadero provocando un reemplazo voluntario.

La etapa siguiente tras el parto, es la lactación, ahí la cerda permanece junto con su camada por un periodo que puede variar entre 3 y 5 semanas, dependiendo si el granjero estima que los lechones no han alcanzado las características ideales para el destete. La lactación finaliza con el destete marcando el final del ciclo reproductivo completo. Tras el destete la cerda inicia un receso que culmina con un nuevo celo y la consiguiente cubrición. Los ciclos se sucederán mientras no haya una causa de retiro voluntario o involuntario de una cerda. El modelo considera: el máximo número de ciclos permitidos, infertilidad, baja productividad, abortos que conducen a muertes, accidentes o enfermedades. La hipótesis seguida en este modelo para los reemplazos es la de una reposición inmediata, es decir, cuando una cerda se retira del hato, una nueva está disponible y lista para ser introducida inmediatamente. Es decir, el modelo no está considerando

explícitamente la cuarentena.

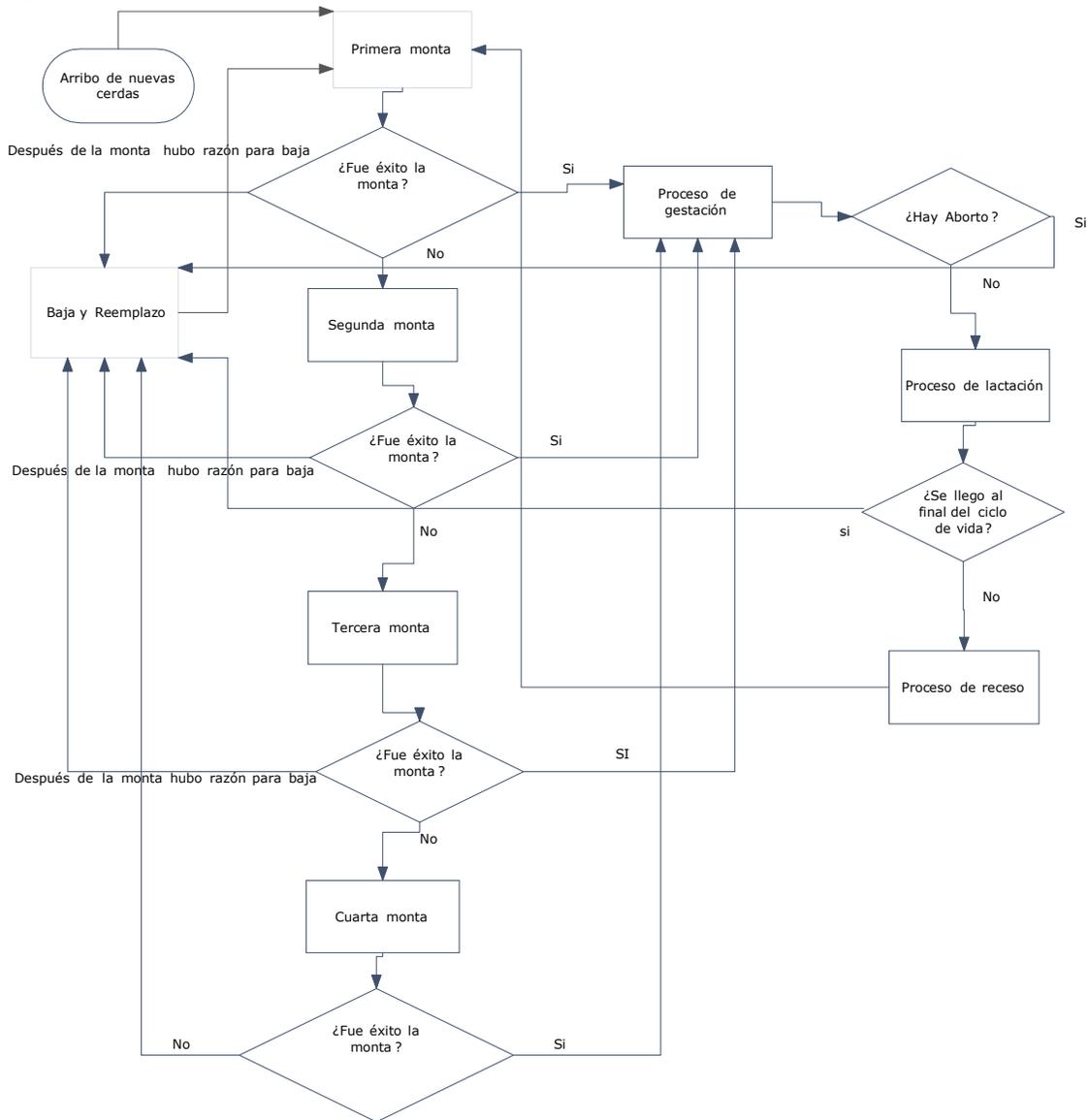


Figura 2. Diagrama de flujo tomado como base para la simulación.

3. DESARROLLO DEL MODELO COMPUTACIONAL

Para la construcción del programa computacional de simulación, es necesario definir las variables de estado, los parámetros y las variables de desempeño (salidas) que se muestran abajo. Las variables aleatorias de entrada en este modelo se suponen en algunos casos dependientes del número de ciclo y monta en que se encuentre la cerda, lo cual es lógico suponer ya que su fertilidad y demás características de desempeño se ven afectados conforme la cerda envejece. Algunos de los parámetros reproductivos dependientes del número de ciclo, usados como entradas en el modelo de simulación están caracterizados en las tabla 1. Del conjunto total de parámetros de entrada, algunos resultaron de correr pruebas de bondad de ajuste con el software BestFit de Palisade con datos disponibles en granjas de España (Hernández, 2009) y otros son los reportadas en los trabajos de (Allen and Stewart, 1983; Marín et al., 2005; Pla, 2008; Sing, 1986; Rodriguez et al., 2012). Por ejemplo, la Figura 3 muestra la distribución de probabilidad para el tiempo hasta el primer estro después de haber destetado a sus lechones una cerda, los tiempos entre estros y la duración de la gestación

fueron modelados con distribuciones normales con medias 21 y 114 días, y desviaciones estándar de 2 y 6 días respectivamente, la duración de la lactación fue representada por una distribución discreta reflejando la duración de las semanas que el granjero suele dejar a las cerdas amamantando a sus lechones hasta que alcancen un peso ideal para la venta. Los costos en € por animal-día relacionados con la alimentación de los animales con los que se simuló este sistema fueron 0.8, 0.8, 1.0, 0.6, 0.12, para las cerdas en monta, cerdas en gestación, cerdas en lactación, cerdas en receso, y lechones en lactación, respectivamente, mientras que el relacionado con la operación de las instalaciones y manejo de animales fue de 0.5. Los precios de compra y venta de animales fueron: compra de cerda nueva 150 €, venta de lechón 30 € (7-9 kg, 21-28 días), venta de cerda 120 €. El precio por dosis de inseminación artificial fue de 6 €.

Variables de estado:

X_{it} : Número de cerdas madre en la granja en el tiempo t , y en el estado i
 Y_t : Número de lechones producidos hasta tiempo t
 EP_t : Edad promedio de las cerdas madre en el tiempo t
 CP_t : Número de ciclos promedio que han permanecido las cerdas en el tiempo t
 CR_t : Número acumulado de cerdas reemplazadas en el tiempo t

Parámetros del modelo:

P_{cr} : Probabilidad de transición del estado cubrición a reemplazo
 P_{lr} : Probabilidad de transición del estado lactación a reemplazo
 P_{gr} : Probabilidad de transición del estado gestación a reemplazo
 P_{cg} : Probabilidad de transición del estado cubrición a gestación
 P_{gl} : Probabilidad de transición del estado gestación a lactación
 PM_{ij} : Probabilidad de pasar del intento de monta i al intento j , $j=i+1$
 C_m : Costo alimento cubrición (€/animal-día)
 C_g : Costo alimento gestación (€/animal-día)
 C_l : Costo alimento lactación (€/animal-día)
 C_r : Costo alimento receso (€/animal-día)
 CR : Costo mientras espera para reemplazo (€/animal-día)
 C_{al} : Costo alimento lechón (€/animal-día)
 C_v : Costos variables de operación (€/animal-día)
 C_{le} : Costo del reemplazo (€/animal)
 C_{ia} : Costo inseminación artificial (€/animal)
 V_c : Precio de venta de la cerda (€/kg)
 V_l : Precio de venta de lechón (€/animal)

N : Distribución de probabilidad del número de lechones nacidos por parto
 TG : Distribución de probabilidad del tiempo de gestación (excluyendo estro)
 TL : Distribución de probabilidad del tiempo de lactación
 TC : Distribución de probabilidad del tiempo entre estros

Variables auxiliares y de respuesta:

I_t : Ingresos totales acumulados en el tiempo t = venta acumulada de lechones + venta acumulada de cerdas madre vendidas al matadero (€)
 C_t : Costos acumulados en el tiempo t = costos acumulados de alimentación + costos acumulados de operación + costos acumulados de compra de nuevas cerdas (€)
 LN_t : Lechones nacidos hasta el tiempo t
 U_t : Utilidad acumulada hasta el tiempo t (€)
 $UL_t = U_t / LN_t$: Utilidad por lechón vendido en el tiempo t (€/lechón vendido)
 $UD_t = U_t / t$: Utilidad acumulada en la granja por unidad de tiempo en el instante t (€/día)

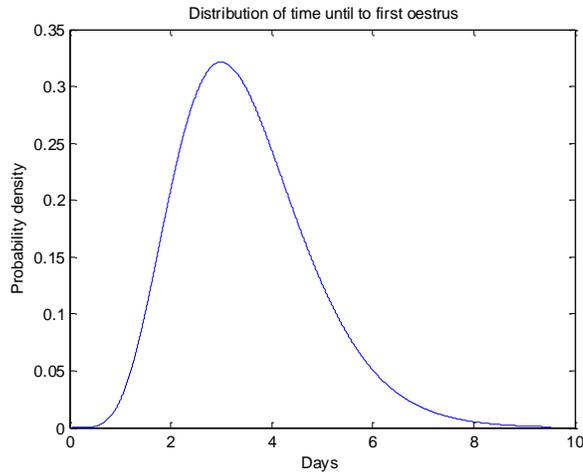


Figura. 3 Distribución ajustada para el tiempo desde el destete hasta el primer estro (Plá et al., 2008)

Tabla 1. Proporción de cerdas que quedan preñadas dependiente del número de la monta y ciclo y proporción de aborto dependiente del ciclo (Allen and Stewart, 1983; Hernández, 2009; Rodriguez et al., 2012)

Numero de monta	1	2	3	4		
Ciclo	Fertilidad				Tasa de aborto	Numero de lechones vivos ~ Normal (ω, θ)
1	89.0	86.3	83.7	82.5	2.44	$\omega=8.9, \theta=2.1$
2	92.4	89.6	86.9	88.6	1.66	$\omega=9.1, \theta=2.2$
3	93.1	90.3	87.6	89.1	2.06	$\omega=9.3, \theta=1.5$
4	93.4	89.6	87.9	90.0	1.72	$\omega=10.0, \theta=2$
5	92.2	88.4	86.7	88.5	1.77	$\omega=10.1, \theta=2$
6	91.2	88.5	85.8	86.6	2.16	$\omega=10.2, \theta=2.1$
7	90.6	87.8	85.2	84.7	2.46	$\omega=10.2, \theta=2.1$
8	90.3	87.5	84.9	83.7	2.97	$\omega=9.9, \theta=2$
9	87.9	85.6	83.1	80.9	2.97	$\omega=7, \theta=2$

Se construyó un conjunto de submodelos en ARENATM capaces de representar la dinámica del sistema productivo típico de una granja porcina (ver Fig. 4). Estos submodelos están en correspondencia estrecha con los estados de la Figura 1: cubrición, gestación y lactación, además de que agregaron dos submodelos mas, uno para la recolección de estadísticas producto de las bajas de cerdas y otro (setup) para inicializar el modelo con los parámetros económicos y reproductivos. Con el fin de reproducir las características de operación de las granjas y buscar cuál es el número óptimo de ciclos de permanencia de una cerda que mejor desempeño económico genera al sistema se fijó el tiempo de simulación en 6000 días (aproximadamente 16 años) y poder

estudiar su comportamiento en el estado estable. La distribución inicial consistió en la introducción al sistema vacío de un lote inicial de 148 cerdas lista para cubrirse. El modelo simula simultáneamente de forma individual los 148 animales y va manteniendo un registro de su actividad. Las variables de respuesta se pueden grabar en un fichero o también visualizar gráficamente.

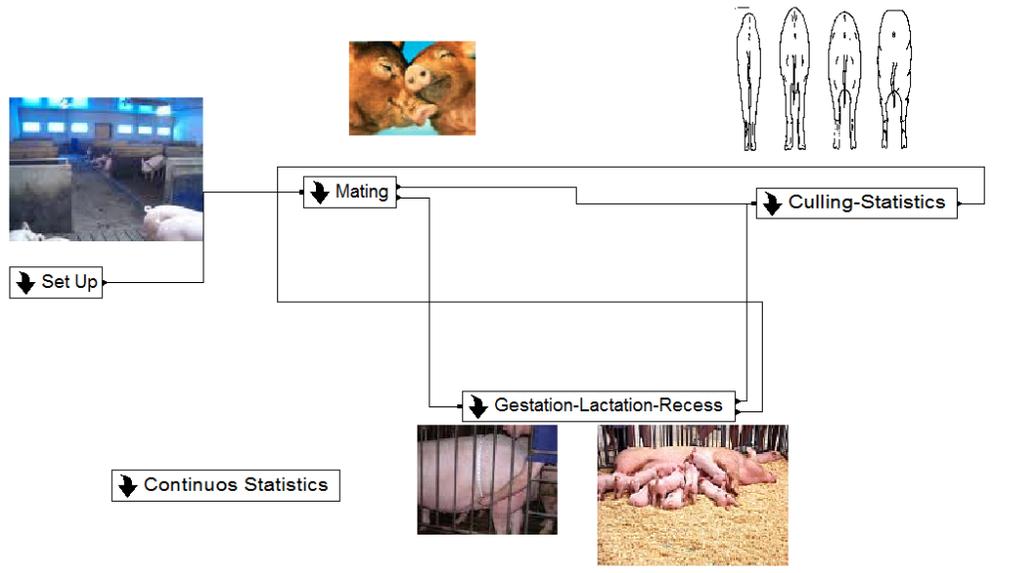


Figura. 4 Vista de los submodelos en ARENA™ que conforman el sistema global

4. VERIFICACIÓN, VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DEL MODELO

El proceso de verificación en este modelo consistió en determinar que varios módulos cumplieran su objetivo, por ejemplo, cuando se eliminaron las muertes y bajas, las variables que las monitoreaban permanecieran en cero, constatar que las cerdas con ocho ciclos cumplidos iniciaran su reemplazo posterior a las de otro número de ciclo, que las utilidades se vieran reflejadas hasta el momento en que hubiera venta de lechones o de cerdas desechadas, etc.

También se verificó con el modelo que la hipótesis de equilibrio se cumpliera. Así, la Figura 5 muestra una realización típica del número de cerdas en cubrición y gestación donde se aprecia claramente como el tamaño de la población en cada una de ellas tiende a un estado de equilibrio. Por ejemplo, se puede observar que la mayor población se encuentra en gestación, oscilando alrededor de 90 cerdas, lo cual es lógico al ser el estado donde pasan más tiempo, el número de cerdas en lactación en el estado estacionario es aproximadamente de 25 cerdas.

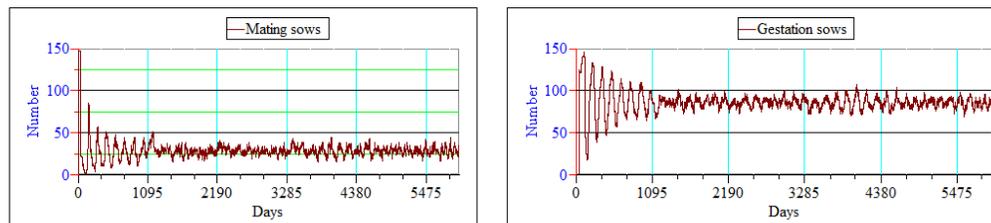


Figura. 5 Comportamiento de la población de cerdas

La validación del modelo principalmente consistió en reflejar las condiciones encontradas en granjas a través de visitas in situ, en la retroalimentación de expertos en el área porcina y en la obtención de algunos parámetros de entrada reportados en la literatura. El desempeño económico del sistema en una misma replica se puede visualizar en la Figura 6, en ella podemos observar que aproximadamente antes del primer año los costos totales sobrepasan en general a los ingresos (sin considerar la inversión inicial), pero a partir de ahí viene una recuperación de los ingresos que perdura por el resto de la simulación. También observamos que el sistema alcanza valores estables de $UL_t = 6.58 \text{ €/lechón vendido}$ y $UD_t = 60.83 \text{ €/granja-día}$ definidas en la sección de variables de respuesta.

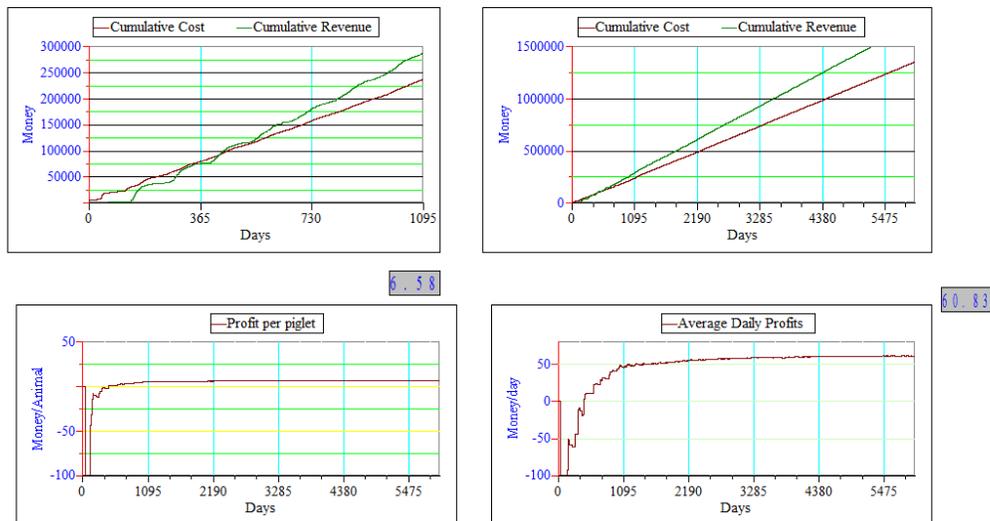


Figura.6 Medidas de desempeño económico.

En cuanto al desempeño poblacional de la granja se generó la Figura 7, aquí observamos que en promedio, anualmente se reemplazan 63 cerdas y se venden 3465 lechones. Dado que nuestra población base es de 148 cerdas en total en todo momento, esto significa una tasa de reposición anual del 42% y una producción de 25 lechones destetados por cerda-año. También se observan valores estables de 6 ciclos de permanencia promedio en el hato, así como una estancia promedio de 760 días en la granja desde su llegada (Figura 7).

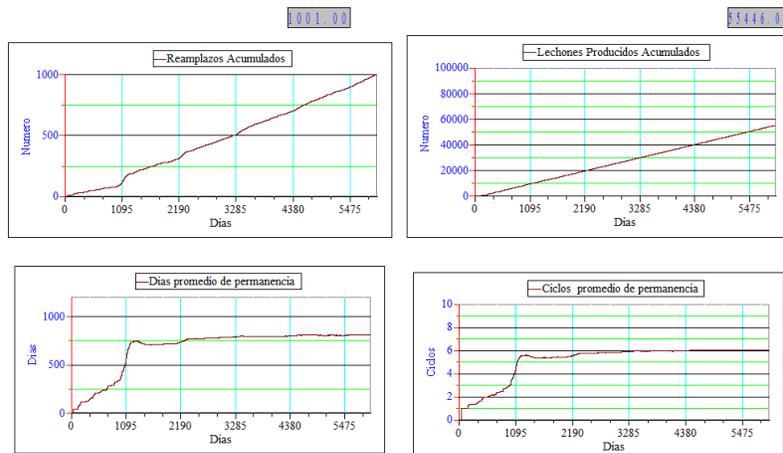


Figura.7 Medidas de desempeño de la población del hato.

Tabla 2. Medidas económicas de desempeño (una réplica)

Ciclos en el hato	Utilidad/lechón a largo plazo	Utilidad/día a largo plazo	Utilidad/lechón promedio	Utilidad/día promedio
1	-5.15	-34.40	-5.00	-35.00
2	0.50	4.07	0.15	1.27
3	2.93	24.44	2.51	21.17
4	4.30	37.77	3.78	32.91
5	4.91	43.83	4.23	37.46
6	5.64	50.93	4.47	44.58
7	5.79	52.38	5.08	45.43
8	5.96	54.23	5.16	46.47
9	5.53	49.41	4.86	43.83

Con el fin de evaluar políticas de remplazo (cambiando el número máximo de ciclos permitidos en el hato), fue necesario hacerlo con base a ciertas medidas de desempeño económico, en principio se eligieron, la utilidad por día (UD_t) y la utilidad por lechón (UL_t). Los resultados que se muestran en la Tabla 2 muestran que las medidas de desempeño seleccionadas en el largo plazo (columnas dos y tres de la tabla) y los valores promedio (columnas cuatro y cinco), muestran un valor óptimo en el ciclo ocho. Algunos estudios como el de (Coates y Kuhl, 2003) han mostrado que usar un enfoque estocástico en la evaluación económica de proyectos de inversión conducen a tomas de decisión que toman en cuenta el riesgo implícito en los negocios.

(Kleijnen, 1992) menciona que después de responder a preguntas estratégicas en un estudio de simulación se deben responder preguntas tácticas como: cuál es el número de réplicas, cuál es el período de calentamiento, y cuál es el período total de la simulación, aunque éstas son de menor importancia para el tomador de decisiones. (Banks, 2010) ha sugerido una regla empírica de que la longitud total sea al menos 10 veces la longitud del periodo de calentamiento.

El tiempo en que las variables de desempeño llegan a un comportamiento estable puede de ser distinto para cada una, producto de la propia dinámica en que interactúan los distintos elementos del sistema. Por ello es importante definir cuáles variables de desempeño se usaran, así como los métodos con que se analizará su comportamiento en el estado estable. En este trabajo se decidió implementar el método de *replica-limpia* (*replication-deletion*) en ARENA con el fin de hacer un análisis en el estado estacionario, y usar el periodo de calentamiento. De acuerdo con la sugerencia de (Rossetti, 2010) se usó la técnica propuesta por (Welch, 1983) para determinar el periodo de calentamiento y definir así la longitud total de simulación. Ya que el método de Welch no está implementado como tal en el software ARENA, se construyó un programa en Matlab capaz de semi automatizarlo.

En este estudio se propuso a la utilidad diaria como variable de desempeño por ser fácilmente reconocida por el granjero o inversionista. Los datos de salida para dicha variable, para diez réplicas y una longitud total de corrida de 55 años, fueron procesados mediante el código en Matlab con el fin de generar la gráfica de Welch, y se concluyó que un periodo de calentamiento de 1000 días aproximadamente sería suficiente para ser usado en el setup de ARENA. Definido dicho periodo entonces se procedió a variar el número de ciclos que se le permite permanecer máximo a una cerda en el hato y registrar algunos estadísticos de la utilidad diaria, por ejemplo, el valor promedio entre replicas, el intervalo de confianza para la media a un 95% de nivel de confianza, considerando diez réplicas, bajo una duración de la simulación de 10000 días. Los

resultados (véase la Tabla 3 y Fig. 8) indican que bajo las condiciones genéticas de fertilidad y mortalidad, costes, precios de venta, etc., típicos de la granja simulada, la variable de estudio toma valores positivos del quinto ciclo en adelante y el valor máximo del promedio de la utilidad diaria corresponde al caso cuando se dejan permanecer a las cerdas ocho ciclos. Los resultados para cada granja en particular pueden cambiar dependiendo de los valores de los parámetros usados, así como de la técnica de manejo. Es importante que las modificaciones futuras a este modelo se hagan dependiendo del entorno productivo, y consideren aspectos como: tamaño de las instalaciones, producción requerida de lechones, reemplazo en lotes o por periodos fijos de tiempo, datos disponibles, etc.

Aunque es una meta de cualquier sistema que funciona en un horizonte infinito encontrar sus medidas de desempeño en el estado estacionario, no resulta de menor importancia encontrar controles o políticas de funcionamiento que amortigüen los efectos del estado transitorio, ya que como se ha mostrado en este trabajo, al inicio de la puesta en marcha de sistemas como éste, existe un periodo de consecuencias negativas en el aspecto financiero, las cuales sin duda tendrán impactos en el estado psicológico de la empresa

Tabla 3. Estadísticos de la utilidad diaria (€/día) con 10 réplicas, calentamiento de 1000 días, y 10000 días de simulación

Ciclos en el hato	Límite inferior del intervalo	Límite superior del intervalo	Promedio mínimo	Promedio máximo	Mínimo valor absoluto	Máximo valor absoluto
1	-97.6	-92.4	-102	-88	-960	1145.20
2	-44.6	-41.4	-48	-39	-945	1847.97
3	-21.8	-20.2	-22	-19	-984	1805.24
4	-8	-6.0	-9	-4	-861	1692.78
5	0.98	3.18	0.10	4.07	-852	1665.94
6	6.32	8.52	5.19	10.78	-854	2178.39
7	11.50	12.7	9.98	13.16	-824	1817.78
8	13.4	14.8	12.55	15.40	-875	1766.51
9	9.64	11.04	8.50	11.77	-945	2199.24

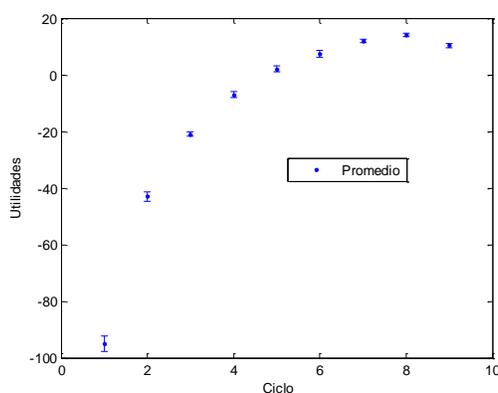


Figura. 8 Intervalos de confianza para la utilidad diaria

5. CONCLUSIONES Y ESTUDIOS FUTUROS

Dado que por ahora estamos interesados en estudiar el estado estacionario, el estado transitorio no es menos importante analizarlo, ya que desde el punto de vista del administrador o dueño del negocio, durante este periodo, donde las utilidades frecuentemente se encuentran oscilando entre valores positivos y negativos

(véase la Fig. 6) se pueden presentar sentimiento de desánimo, que muchos de los inversionistas no pueden sostener o reconocer, y terminan o bien cerrando el negocio o vendiéndolo.

Se puede considerar en un modelo futuro que los precios de los alimentos, y los precios de venta y compra de animales pueden tener variaciones estacionales o tendencias, y tomar en cuenta el crecimiento de los animales y la calidad del producto a lo largo del proceso. Otras modificaciones al modelo pueden ser incorporar y evaluar políticas de reemplazo consistentes en juntar un número determinado de cerdas, o esperar un lapso de tiempo para reemplazarlas, así como implantar un manejo por lotes.

El análisis de los datos de salida (utilidad diaria) son contundentes, en el sentido de que demostraron que el número de ciclos a conservar una cerda en el hato que mejor desempeño produce en la variable de respuesta es ocho. Sin embargo dependerá de los parámetros de entrada propios de cada explotación, entre ellos la genética de los animales.

Dado que la información usada aquí provino para una granja en específico, sugerimos recolectar información correspondiente para la granja que se requiera analizar, y adecuar el modelo de simulación para que tome en cuenta sus características propias de operación.

Agradecimientos: Marco Marco A. Montufar agradece a las siguientes instituciones: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Secretaria de Educación Pública y Universidad de Lleida, las tres primeras mexicanas y la última española, por los apoyos recibidos para culminar este trabajo. El Dr. Plà agradece el apoyo financiero del programa español de investigación (MTM2009-14087-C04-01 y AGL2010-20820).

**RECEIVED APRIL, 2012
REVISED JANUARY, 2013**

REFERENCIAS

- [1] ALLEN, M.A. and STEWART, T.S. (1983): A simulation model for swine breeding unit producing feeders pigs. **Agricultural Systems**, 10, 193-211
- [2] BANKS, J., JOHN, S.C., BARRY, L.N. and DAVID M. N. (2010) Discrete-Event System Simulation, Fifth Edition, Prentice Hall. New Jersey.
- [3] CHAVAS, J.P., KLIEBENSTEIN, J. and CRENSHAW, T. D (1985):: Modeling dynamic agricultural production response—the case of swine production. **Am J Agri Econ.**, 67, 636– 646
- [4] COATES, E.R. and KUHL, M.E.. (2004): Using simulation software to solve engineering economy problems. **Computers and Industrial Engineering**, 45, 285-294
- [5] GLEN, J.J. (1987): Mathematical models in farm-planning—A survey. **Opns Res.**, 35, 641–666
- [6] HERNANDEZ, G. (2010): **Desarrollo de un modelo de simulación para el análisis del ciclo reproductivo de una piara**, Tesis de maestría, UAEH, México.
- [7] HUIRNE, R.B., VAN BEEK, P., HENDRIKS, T.H. and DIJKHUIZEN, A.A. (1993): Stochastic dynamic programming to support sow replacement decisions. **Eur J Opl Res.**, 67, 161–164.
- [8] JALVINGH, A.W., DIJKHUIZEN, A.A. and van ARENDONK, J.A.M. (1992): Dynamic probabilistic modeling of reproduction and management in sow herds. General aspects and model description. **Agri Syst.**, 39, 133–152
- [9] KLEIJNEN, J. and WILLEN van, G. (1992): **Simulation a Statistical Perspective**, John Wiley, Chichester.
- [10] LIPPUS ,A.C., JALVINGH, A.W., METZ, J.H.M. and HUIRNE, R.B.M. (1996): A dynamic probabilistic model for planning housing facilities for sows. **Trans ASAE**, 39: 1215–1223.

- [11] KELTON, D., RANDALL, P. S. and NANCY, B. S. (2010) *Simulation using ARENA*, McGraw Hill, New York.
- [12] KRISTENSEN, A.R. and SOLLESTED T.A.(2004): A sow replacement model using Bayesian updating in a three-level hierarchic Markov process I. **Biological model.**; 87:13- 24.
- [13] LAW , L.(2008): **Simulation Modeling and Analysis**, McGraw Hill, N. York.
- [14] MARÍN, J.M., PLÀ, L.M and RÍOS, D. (2005): Forecasting for some stochastic process models related with sow farm management. **Journal of Applied Statistics** 32:797- 812
- [15] MARTEL, G., DEDIEU, B. and DOURMAD, J.Y. (2008): Simulation of sow herd dynamics with emphasis on performance and distribution of periodic task events. **Journal of Agricultural Science** , 146: 365–380.
- [16] PLÀ, L.M (2007): Review of mathematical models for sow herd management. **Livestock Sci.**, 106: 107–119.
- [17] PLÀ, L.M., BABOT, D. and POMAR ,J. (2004): A mathematical model for designing and sizing sow farms. **Int Trans Opl., Res** 11: 485–494.
- [18] PLÀ-ARAGONÈS, LL. M., FLORES MARIAS, S. and RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, S.V. (2008): A Simulation Model for Intensive Piglet Production Systems, **Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference**
- [19] PLÀ, L.M., FAULÍN, J. and RODRÍGUEZ, S.V.. (2009): A linear programming formulation of a semi-Markov model to design pig facilities. **Journal of the Operational Research Society** 60, 619 –625
- [20] ROBINSON, S. (2005): Automated Analysis of simulation output data. In: Kuhl ME Steiger NM, Armstrong FB, Joines J. A, editors. **Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference. Piscataway, NJ: Institute of Electrical and Electronics Engineers**, 763-770
- [21] RODRÍGUEZ, S. V., ALBORNOZ, V. M. and PLÀ, LL. M. (2009): A two-stage stochastic programming model for scheduling replacements in sow farms. **Top**,17: 171–189
- [22] RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, S. V, PLÀ-ARAGONÉS, LL.M: and ALBORNOZ, V.M.. (2012): Modeling tactical planning decisions through a linear optimization model i. sow farms. **Livestock Science**,143: 162–171
- [23] ROSSETTI, M. (2010): **Simulation Modeling and ARENA**, John Wiley, N. Jersey.
- [24] SINGH, D. (1986): Simulation-aided capacity selection of confinement facilities for swine production. **Trans ASAE**, 29: 807–815
- [25] WELCH, P. (1983): The statistical analysis of simulations results. In: Lavenberg, S; editor. **Computer Performance Modeling Handbook.**, 268-328. Academic Press, N. York.