

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 201**

51 Int. Cl.:
G01N 33/04 (2006.01)
G01N 21/35 (2006.01)
A01J 5/013 (2006.01)
G05B 13/04 (2006.01)
G05B 17/02 (2006.01)
G05B 23/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03787739 .6**
 96 Fecha de presentación: **08.08.2003**
 97 Número de publicación de la solicitud: **1540336**
 97 Fecha de publicación de la solicitud: **15.06.2005**

54 Título: **Un sistema y un método para observar y predecir el estado fisiológico de un animal**

30 Prioridad:
 16.08.2002 DK 200201217
 16.08.2002 US 403645 P
 06.09.2002 DK 200201315
 06.09.2002 US 408286 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
23.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
23.03.2012

73 Titular/es:
LATTEC I/S
SLANGERUPGADE 69
3400 HILLERÖD, DK y
UNIVERSITY OF AARHUS

72 Inventor/es:
FRIGGENS, Nic, C.;
INGVARTSEN, Kaus, Lonne;
KORSGAARD, Inge, Riis;
LARSEN, Torben;
LOEVENDAHL, Peter;
RIDDER, Carsten y
NIELSEN, Nicolai, Ingemann

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 377 201 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Un sistema y un método para observar y predecir el estado fisiológico de un animal

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a sistemas y métodos para observar y predecir un estado fisiológico de un animal. Como ejemplo, el animal puede ser una vaca. Los sistemas y los métodos de la invención se basan en una muestra de un fluido corporal del animal, tal como orina, sangre o leche.

Antecedentes de la invención

10 En general, resulta deseable observar, vigilar y predecir el estado fisiológico de un animal, en particular un animal de granja. Así, los fluidos corporales de los animales, en particular la leche, la orina y la sangre, pueden analizarse para obtener valores de parámetros, tales como el recuento celular en la leche, la lactato deshidrogenasa (LDH), la N-acetil-β-D-glucosaminidasa (NAGasa), los cuerpos cetónicos tales como acetoacetato, beta-hidroxiacetato (BHB) y acetona, el contenido en urea, la progesterona u otros, cada uno de los cuales por sí mismos o en combinación con otros indican un estado fisiológico concreto. Por ejemplo, una alta concentración de LDH normalmente indica mastitis, mientras que el contenido en progesterona puede indicar un estado de preñez.

15 La técnica anterior ha propuesto diversos métodos para el análisis de muestras de leche. Por ejemplo, el documento US 5.252.829 describe un método para determinar la cantidad de urea en la leche. En una muestra de leche, se determina la absorción de la radiación infrarroja en diversos intervalos de longitud de onda, por lo que la urea, las grasas, la lactosa y las proteínas absorben en diferentes intervalos de longitud de onda.

20 El documento US 6.405.672 y en de Mol (2000) se describe un sistema y un método para controlar la condición física de un rebaño de ganado, empleándose los errores entre valores predichos según un modelo de serie temporal y los correspondientes valores medidos para determinar el intervalo de confianza para una predicción para cada animal individualmente. La significancia de un error entre una predicción y un valor medido con respecto a la probabilidad de que el animal esté en celo o padezca una enfermedad se evalúa de modo automático para cada animal individualmente.

25 El documento WO 00/39578 describe un método para calcular el recuento celular en un fluido corporal, tal como la leche, registrando un espectro de MID-IR, analizando los datos que representan la información espectral en el espectro registrado mediante el uso de métodos quimiométrico de múltiples variables para derivar propiedades y/o concentraciones a partir de la información espectral, tal como una regresión de mínimos cuadrados lineal (PLS-R), una regresión lineal múltiple (MLR), una regresión de componentes principales (PCR), o las redes neuronales artificiales (ANN), y derivando la información sobre el número de células en el fluido corporal a partir del espectro registrado. La ventaja es que el espectro de MID-IR a menudo se mide y se registra para muestras de leche, y puede obtenerse una estimación del recuento celular a partir de los datos ya registrados. Preferiblemente, se incluyen mediciones de la conductividad, la temperatura y el rendimiento, para mejorar la fiabilidad de una estimación con respecto a la probabilidad de un posible ataque de mastitis.

35 El documento WO 01/28415 describe un sistema de base de datos y un método para recoger y organizar datos relacionados con el estado fisiológico de animales para mejorar la calidad y la duración de la vida del animal. El sistema consiste en la gestión informatizada de bases de datos relacionadas con la evaluación de la salud fenotípica, el cartografiado genético y la selección genética de animales.

Sumario de la invención

40 Con el objetivo de proporcionar una herramienta mejorada para observar y predecir un estado fisiológico de un animal, un primer aspecto de la presente invención proporciona un sistema para observar y predecir un estado fisiológico de un animal, comprendiendo dicho sistema:

- un ordenador que comprende un procesador y que está conectado operativamente a una base de datos,
- al menos un dispositivo de suministro de muestras para proporcionar de manera repetitiva al menos una muestra de un fluido corporal del animal,
- un aparato de análisis para analizar dicha al menos una muestra para obtener al menos un valor de muestra de al menos un parámetro del fluido corporal,
- una interfase de datos para introducir de manera repetitiva el valor de muestra de dicho al menos un parámetro en la base de datos,

50 en el que la base de datos está adaptada para almacenar múltiples entradas de la base de datos que representan el valor de muestra de dicho al menos un parámetro en diversos momentos, y en el que el procesador está programado para:

- realizar al menos un análisis matemático de dicho al menos un valor de muestra, y

- seleccionar, basándose en dicho al menos un análisis matemático, el momento para proporcionar una posterior muestra y realizar un posterior análisis de dicha posterior muestra para al menos uno de los parámetros.

5 En un segundo aspecto, la presente invención proporciona un método para observar y predecir un estado fisiológico de un animal, comprendiendo dicho método:

- proporcionar de manera repetitiva al menos una muestra de un fluido corporal del animal,

- analizar dicha al menos una muestra para obtener al menos un valor de muestra de al menos un parámetro del fluido corporal,

- introducir el valor de muestra de dicho al menos un parámetro en la base de datos de un sistema informático,

10 en el que la base de datos está cargada con múltiples entradas de la base de datos que representan el valor de muestra de dicho al menos un parámetro en diversos momentos, y:

- realizar al menos un análisis matemático de dicho al menos un valor de muestra, y

- seleccionar, basándose en dicho al menos un análisis matemático, el momento para proporcionar una posterior muestra y realizar un posterior análisis de dicha posterior muestra para al menos uno de los parámetros.

15 En los sistemas y métodos mencionados, el análisis matemático es preferiblemente un método estadístico.

El análisis estadístico se selecciona preferiblemente del grupo que consiste en un análisis univariante de las entradas de la base de datos para obtener un primer conjunto de datos que representa los valores de muestra esperados de al menos uno de los parámetros en momentos futuros, o un análisis de múltiples variables de las entradas de la base de datos para producir un segundo conjunto de datos derivado del análisis combinado de los valores de muestra de al menos dos parámetros. El primer y el segundo conjunto de datos pueden combinarse para producir un tercer conjunto de datos representativo del estado fisiológico del animal, y el primer, segundo y tercer conjunto de datos obtenidos pueden almacenarse en la base de datos.

20 Los tipos de análisis univariante y análisis de múltiples variables que pueden utilizarse en la presente invención se describen mediante los ejemplos no limitantes mencionados más adelante en la memoria descriptiva.

25 Para mejorar la medición de al menos un parámetro para observar y predecir un estado fisiológico de un animal, la base de datos comprende al menos un valor externo de al menos un parámetro externo. El parámetro externo se describe más adelante en la memoria descriptiva.

30 En una realización de la presente invención, al menos un parámetro externo se incluye en la base de datos, tal como al menos 2 parámetros externos, por ejemplo al menos 3 parámetros externos, tal como al menos 4 parámetros externos, por ejemplo al menos 5 parámetros externos, tal como al menos 6 parámetros externos, por ejemplo al menos 10 parámetros externos, tal como al menos 15 parámetros externos, por ejemplo al menos 25 parámetros externos, tal como al menos 50 parámetros externos.

35 El sistema está programado para una etapa (y el método también la comprende) de realizar un análisis de datos de las entradas de la base de datos para obtener una indicación del estado fisiológico del animal, con lo que el valor externo se incluye en el análisis de datos.

40 Resulta muy ventajoso que un método y un sistema de control del rendimiento de la producción ideal sea capaz de generar datos analíticos cuantitativos para parámetros seleccionados mediante lo cual incluso unas variaciones diarias relativamente pequeñas son altamente predictivas de un cambio, por ejemplo, en el estado de salud general, en la condición fisiológica, en el estado nutricional y energético, en el estado del ciclo de estro o la preñez de un miembro individual de la población que se está ensayando. Esto requiere que el sistema proporcionado permita realizar frecuentes análisis cuantitativos baratos.

45 Además, una característica ventajosa de la invención es que los parámetros pueden analizarse de un modo dinámico e inteligente, es decir, que sólo se analizan los parámetros que, en un momento concreto del ciclo de reproducción y/o lactancia del miembro individual de la población, deben analizarse en una muestra de leche concreta. Esto se logra proporcionando un sistema informático para almacenar datos que incluyen datos del estado fisiológico y nutricional de dicho miembro individual de la población, que incluyen datos que indican el momento en que se encuentran dentro del ciclo de reproducción y lactancia. Un aparato de análisis para analizar una pluralidad de parámetros en una muestra genera una señal detectable en presencia de un parámetro individual de la muestra. La determinación para que un parámetro deba o no analizarse es controlada por el ordenador que tiene datos almacenados sobre el estado fisiológico y nutricional de cada miembro individual de la población, de forma que el análisis sólo se activa en momentos seleccionados o en intervalos de tiempo seleccionados. A este respecto, una característica interesante es que el ordenador que tiene datos almacenados sobre el estado fisiológico y nutricional de cada miembro individual de la población se actualiza continuamente con nuevos datos, de modo que la selección

de la gama de parámetros que se analizan en una muestra concreta en un momento concreto se basa en un conjunto constantemente actualizado de datos para el miembro concreto de la población.

5 El sistema y el método seleccionan, basándose en dicho al menos un análisis matemático, el momento para proporcionar una posterior muestra y para realizar el análisis de dicha posterior muestra para al menos uno de los parámetros. La selección se proporciona, por ejemplo, en cuanto el valor de muestra de un parámetro seleccionado se diferencia en más de una medición de desviación concreta X del valor de muestra esperado, y la frecuencia de la muestra aumentará para medir el parámetro seleccionado. En el caso en que el valor de muestra del parámetro seleccionado no se diferencie en más de la medición concreta X del valor de la muestra esperado, la frecuencia de la muestra puede disminuir para medir el parámetro seleccionado. La medición de desviación X puede ser una
10 medición relativa o una medición absoluta. La medición de desviación mencionada puede determinarse con facilidad según métodos matemáticos y estadísticos muy conocidos por los expertos en la técnica.

Según la presente invención, dicho al menos un análisis matemáticos implica:

- un análisis univariante de las entradas de la base de datos para obtener un primer conjunto de datos que representa los valores de muestra esperados de al menos uno de los parámetros en momentos futuros,
- 15 - un análisis de múltiples variables de las entradas de la base de datos para producir un segundo conjunto de datos derivado del análisis combinado de los valores de muestra de al menos dos de los parámetros,
- combinar el primer y el segundo conjunto de datos para obtener un tercer conjunto de datos que representan el estado fisiológico del animal, y
- almacenar el primer, el segundo y el tercer conjunto de datos en la base de datos.

20 Los beneficios de los análisis de datos univariantes y de múltiples variables se utilizan para observar o predecir de modo más preciso el estado fisiológico tomando en cuenta una pluralidad de parámetros. Por tanto se realiza un análisis preciso, que da como resultado una indicación del estado actual, con vista a poder predecir estados futuros. Las realizaciones del sistema de la invención pueden disponerse cerca de los animales, por ejemplo en una sala de ordeño de una granja, y pueden ser manejadas por el granjero o por un técnico agrícola. Por consiguiente, las
25 indicaciones iniciales del estado fisiológico, por ejemplo de las vacas de un rebaño, pueden ser suministradas al granjero sin que tenga que implicar a un veterinario en la evaluación inicial del estado fisiológico, por ejemplo de una vaca.

En el presente contexto, la expresión “estado fisiológico” debe entenderse como un estado en el sentido general. Por ejemplo, puede ser un estado con respecto a la salud, incluyendo un estado con respecto a enfermedades clínicas o
30 subclínicas, a la reproducción o al estado energético.

En el presente contexto, el término “población” se refiere a un grupo pertinente de animales, por ejemplo un rebaño concreto, una raza concreta, un grupo de rebaños con características similares, tales como el sistema de producción, una población regional o nacional.

35 La expresión “análisis de datos univariante” se refiere a un análisis de datos en el que se analizan los datos relacionados con una única variable. Los análisis de datos univariantes pueden comprender el análisis de variables univariantes correlacionadas.

La expresión “análisis de datos de múltiples variables” se refiere a un análisis de datos en el que se analizan los datos relacionados con al menos dos variables.

40 Debe entenderse que un resultado de un análisis univariante o de múltiples variables puede utilizarse como entrada para posteriores análisis. Estos posteriores análisis pueden ser univariantes o de múltiples variables. Por ejemplo, la salida de un análisis de componentes principales (PCA) puede utilizarse como entrada para un modelo de espacio de estados (SSM) o viceversa.

45 No es necesario que el ordenador y la base de datos estén en la misma localización física. Por ejemplo, el ordenador, incluyendo el procesador, puede estar incluido en un aparato de análisis que se coloca cerca de un rebaño de animales, por ejemplo en un establo, mientras que la base de datos puede estar incluida en un ordenador personal en una oficina separada del establo, o en un ordenador central localizado en unas instalaciones de procesamiento de datos remotas.

50 Las realizaciones y las características específicas de los aspectos de la invención resultan evidentes a partir de las reivindicaciones adjuntas y de la descripción detallada de la invención que aparece a continuación. Debe entenderse que la siguiente descripción no está limitada a los aspectos concretos de la invención. Más bien, el análisis se aplica igualmente bien a cualquier aspecto de la invención.

Breve descripción de los dibujos

La invención se describirá más a fondo haciendo referencia a los dibujos, en los que:

Las figuras 1 y 2 ilustran los recuentos celulares medidos frente al análisis de los datos para diversas vacas.

La figura 3 contiene una gráfica (gráfica A) de datos simulados y otras gráficas (gráficas B, C y D) que representan la salida de un filtro de Kalman de multiproceso extendido.

La figura 4 muestra un diagrama general del flujo de información según la presente invención.

5 Las figuras 5a y 5b muestran el flujo de información según una realización de la presente invención cuando se analiza para el BHB y la cetosis.

Las figuras 6a y 6b muestran el flujo de información según una realización de la presente invención cuando se analiza para indicadores de la mastitis (por ejemplo, NAGasa o LDH) y la mastitis.

10 Las figuras 7a-7d muestran el flujo de información según una realización de la presente invención cuando se analiza para la progesterona y la reproducción.

La figura 8 muestra el flujo de información según una realización de la presente invención cuando se analiza para la urea y el estado de las proteínas.

La figura 9 muestra el flujo de información según una realización de la presente invención cuando se analiza para la grasa de la leche, las proteínas de la leche y el estado energético.

15 **Descripción detallada de los dibujos**

Una herramienta para el análisis de datos de múltiples variables es el análisis de componentes principales (PCA), también denominado en la bibliografía "análisis de factores". En resumen, las variables manifiestas se sustituyen por variables latentes en un análisis de datos de múltiples variables. Las variables manifiestas son directas y mensurables, es decir, variables manifestadas, que en el presente contexto también se denominan valores de muestra, tales como la concentración de grasas o de lactosa en la leche. Las variables latentes son las sumas ponderadas de las variables manifiestas. Como ejemplo, las variables latentes t_1 y t_2 se determinan como $t_1 = 0,45\%$ de grasas + $0,12\%$ de lactosa, y $t_2 = 0,05\%$ de grasas + $0,72\%$ de lactosa. En este caso, t_1 y t_2 son proyecciones de las variables manifiestas, % de grasas y % de lactosa, sobre los vectores $[0,45; 0,12]$ y $[0,05; 0,72]$. Mediante la selección apropiada de las ponderaciones, por ejemplo como eigenvectores de una matriz de variables manifiestas, las variables latentes determinadas de esta manera incluyen información de todas las variables manifiestas independientemente del número de variables manifiestas. Por consiguiente, la información en una acumulación de datos puede distinguirse o separarse del ruido aleatorio. Además, las ponderaciones pueden ser visualizadas, para permitir la extracción de información relacionada con las variables manifiestas, y las variables latentes pueden ser visualizadas, para permitir la extracción de información relacionada con objetos, por ejemplo animales, tales como vacas, sobre los cuales se han realizado las mediciones.

Las variables manifiestas pueden suministrarse utilizando cualquier medio analítico conocido en la técnica. Los ejemplos ilustrativos de dichos medios de análisis incluyen ensayos basados en enzimas, ensayos con una base inmunológica, biodetectores, ensayos bioquímicos, ensayos espectrométricos, ensayos químicos en húmedo, análisis de inyecciones secuenciales, y ensayos de análisis por inyección en flujo, que son adecuados para los análisis. Preferiblemente, el medio de análisis se diseña para realizar mediciones cuantitativas. En una realización útil, el medio de análisis comprende medios o dispositivos analíticos en soporte sólido que pueden estar en forma, por ejemplo, de tiras de ensayo (también conocidas como bastones secos) que comprenden un reactivo o reactivos apropiados que, en presencia del compuesto que se está analizando, generan una señal detectable. Además, el medio de análisis puede comprender o puede estar conectado operativamente con un medio para almacenar y transportar dichos dispositivos analíticos en soporte sólido.

La acumulación de datos puede disponerse o almacenarse de modo conveniente en una tabla en la base de datos. Por ejemplo, las variables medidas pueden disponerse en columnas de la tabla, y los objetos, por ejemplo, la identificación de las vacas, puede disponerse en las filas. Esta tabla se denomina X. En PCA, las ponderaciones mencionadas anteriormente pueden ser los elementos en los eigenvectores de la matriz de correlación de X. El número de eigenvectores pertinentes, que gobierna el número de variables latentes pertinentes, depende del contenido de la información en X. Como ejemplo, un tamaño de la tabla de 30-1000 x 20 puede producir una serie de variables latentes, por ejemplo de 2 a 30, tal como de 2 a 20, habitualmente de 2 a 8.

Un estado fisiológico de un animal, tal como el estado de salud del animal, puede ser determinado a partir de la comparación de un patrón en los parámetros medidos, es decir, los valores de muestra, y un patrón de referencia (o un valor de parámetro de referencia) que sea típico para animales sanos, y un patrón que sea típico para animales que padecen cierta enfermedad, respectivamente. Cuando la acumulación de los datos que cubren todos los estados fisiológicos que se van a observar o a predecir esté disponible, pueden determinarse las probabilidades de que un animal concreto pertenezca a los diversos estados. Por ejemplo, si los valores de muestra de una vaca concreta se determinan durante y después del ordeño de la vaca, la vaca puede clasificarse y pueden tomarse las medidas apropiadas.

5 En los análisis de datos de múltiples variables, pueden proporcionarse los denominados patrones de parámetros (es decir, variables manifiestas) para tomar en cuenta las influencias mútuas entre los parámetros. Si está disponible un parámetro selectivo, un análisis de datos univariante puede resultar apropiado. Como ejemplo, una medición de progesterona puede producir, en la mayoría de los casos, una indicación satisfactoria del estro o celo, y de la preñez. Sin embargo, se ha descubierto que muy pocos parámetros son puramente selectivos para el estado fisiológico, por ejemplo de una vaca, y en la mayoría de los casos sólo es posible una evaluación apta después del análisis de los valores de muestra de varios parámetros. Por ejemplo, un alto nivel de urea en la leche puede indicar un estado si la concentración de grasas es elevada, y otro estado si la concentración de grasas es baja, mientras que un mayor o menor rendimiento lácteo puede indicar otro tercer y cuarto estados.

10 Para predecir el contenido de células somáticas de la leche puede emplearse un método matemático, tal como PLSR (regresión de mínimos cuadrados parcial) para analizar el espectro de infrarrojos (IR) de la leche. Se ha descubierto que dicho modelo es adecuado para establecer una base de experiencia para cada animal individual en un rebaño.

15 Para establecer una base de experiencia que sea global, es decir, no específica para un animal individual sino que pueda aplicarse en general a todos los animales de cierto tipo, por ejemplo vacas, pueden aplicarse métodos de clasificación quimiométricos. Uno de estos métodos es el denominado modelado suave independiente por analogía de clases (SIMCA), en el que los valores de muestra previos (o históricos) se agrupan en clases, por lo cual las clases se analizan individualmente mediante PCA. Por tanto, los valores de muestra históricos pueden agruparse, por ejemplo, en una clase que representa a las vacas sanas, y otra clase que representa las vacas enfermas. Puede existir un modelo para cada clase y, aplicando nuevos valores de muestra a los modelos de las diversas clases, puede determinarse a qué clase pertenece la vaca en cuestión. Sin embargo, esta metodología no toma en cuenta los datos externos, tales como la raza, la edad, los detalles de la alimentación, la estación del año, la localización geográfica, etc. que pueden influir en los datos de la muestra.

20 Por tanto, se ha desarrollado un "SIMCA inverso" en el que se establece un modelo separado para cada animal sano. Si una nueva medición no se parece a ninguno de los patrones de animales sanos, la probabilidad de que el animal es cuestión esté enfermo es alta. Por tanto, introduciendo una pluralidad de modelos separados se crean unos límites más amplios para lo que se considera como un estado normal que también refleja la realidad biológica.

25 Sin embargo, el número de modelos puede reducirse, o la fiabilidad del resultado del análisis puede aumentarse, mediante la inclusión de datos externos en los modelos.

30 En los modelos, los animales pueden agruparse según su tiempo de parición. Un estado sano, es decir sin mastitis, se define por un recuento celular menor que 200. El análisis sólo incluye a los animales en los que el número de observaciones con un bajo recuento celular sea al menos 30. Esto produce un total de 121 modelos que están basados en 19 variables o parámetros: rendimiento lácteo, FPD y conductividad, así como los valores relativos y absolutos de la grasa A, la grasa B, las proteínas, la lactosa, la urea, el ácido cítrico, la lactato deshidrogenasa (LDH), los sólidos totales (TS) y los sólidos no grasos (SNF). El recuento celular medido no se incluye en los modelos. Puesto que el intervalo de la varianza para los valores de los parámetros medidos varía, se realiza un autoescalado de los valores de muestra antes de calcular los eigenvectores.

35 Los modelos pueden expresarse de manera matemática como:

$$X = T_a * P_a' + E$$

40 en que X representa los datos escalados, T representa las variables latentes (la proyección de X sobre P), P es el eigenvector de la matriz de correlación X'X, y E es una matriz residual que recoge el ruido aleatorio. El subíndice a indica la dimensión del modelo. La dimensión se obtiene mediante validación cruzada, y también se denomina complejidad, el número de variables latentes, el número de factores o el rango de X'X. En el presente contexto, a es generalmente al menos 2 y como máximo 8.

45 Para cada vaca y para cada ordeño (catalogado por i), las 19 variables se muestrean en un patrón x_i , y se determina la proyección de x_i sobre cada uno de los modelos:

$$t_i = x_i * P$$

Para asegurar una validación independiente, es decir, para asegurar la globalidad, se omiten los modelos basados en el animal en cuestión.

50 Posteriormente se determina el apalancamiento, indicado como h (que corresponde a la T^2 de Hotelling) y el residual, r. Desde el punto de vista geométrico, el apalancamiento representa la distancia desde el punto 19-dimensional de medición hasta el punto de proyección en el modelo. El apalancamiento se calcula como la suma cuadrada de los elementos en t_i , y el residual se calcula como la suma cuadrada de los elementos en el vector $x_i - t_i * P'$. Las cantidades h y r se normalizan con sus respectivos niveles de significancia del 95% de la fase de formación del modelo. La cantidad final de ensayo es la longitud del vector (h,r), y x_i se considera que pertenece al modelo si esta cantidad es menor que $\sqrt{2}$.

Las figuras 1 y 2 ilustran los recuentos celulares medidos frente al análisis de los datos para diversas vacas. Los datos de “ajuste a la normal” se obtienen como $100 \cdot [(\text{el número de modelos al cual pertenece un ordeño concreto}) / (\text{el número total de modelos})]$. Por tanto, si un ordeño pertenece a 14 de 118 modelos, el valor de “ajuste a la normal” es de $100 \cdot 14 / 118 = 11,9$. El recuento celular en la figura 1 representa los recuentos celulares medidos.

5 Tal como se ilustra en las figuras 1 y 2, cuando el recuento celular es alto, los modelos basados en recuentos celulares bajos no se ajustan bien, mientras que cuando el recuento celular es bajo, los modelos se ajustan bien. Se ha descubierto que la inclusión de grasas, proteínas, sólidos y SNF (sólidos no grasos) en los modelos parece mejorar la capacidad de discriminación de los modelos.

10 Tal como se entenderá a partir de la anterior descripción, un ejemplo del estado fisiológico de una vaca es si la vaca sufre o no de mastitis. En un SSM para predecir y diagnosticar la mastitis, la entrada para los modelos puede incluir los datos de recuento de células somáticas.

Los SSM se han desarrollado para seguir un proceso que se desarrolla en el tiempo. Este proceso puede seguir una ruta preplaneada o desviarse de ésta. Las desviaciones pueden representar un error de medición habitualmente alto, también denominado valor atípico, o un cambio en la parte sistemática del proceso.

15 Tal como se indicó anteriormente, el recuento de células somáticas es un indicador aceptado de la mastitis. Sin embargo, las mediciones del recuento celular están sometidas al ruido y a los valores atípicos, que disminuyen su uso potencial para apoyar decisiones. Las herramientas estadísticas para separar el ruido de los cambios biológicamente importantes pueden ayudar a mejorar la interpretación de los datos del recuento de células somáticas (SCC). La extensión (Smith y West, 1983) del filtro de Kalman de multiproceso (Harrison y Stevens, 1976)

20 para proporcionar probabilidades de diferentes tipos de cambios puede utilizarse para apoyar decisiones, por ejemplo, debe tomarse una acción de tratamiento si la probabilidad de un aumento en el SCC está por encima de un nivel crítico. Por tanto, se proporciona un modelo lineal dinámico y el modelo con mezcla de distribuciones de clase II multiproceso con un procedimiento de actualización recursivo para proporcionar probabilidades de diferentes tipos de cambios.

25 **Modelo dinámico lineal:** Para la serie de tiempo $\{y_t\}_{t=1, \dots, n}$ que consiste en n observaciones (por ejemplo, de ln(recuento de células somáticas)) se describe un modelo lineal dinámico (DLM) mediante una ecuación de observación:

$$Y_t = F_t q_t + v_t$$

una ecuación de sistema:

30
$$q_t = G_t q_{t-1} + w_t$$

y la información inicial:

$$q_0 \sim N(m_0, C_0)$$

35 en las que F_t es la matriz de observación, q_t es un vector latente (o escalar), y v_t , con $v_t \sim N(0, V_t)$, es el ruido de observación. El proceso latente $\{q_t\}_{t=1, \dots, n}$ viene dado por la ecuación de sistema (y la información inicial) con la matriz de evolución (matriz de sistema) G_t y el error de evolución w_t . Se supone que $w_t \sim N(0, W_t)$, siendo $v_1, \dots, v_n, w_1, \dots, w_n$ mutuamente independientes e independientes de la información inicial. El modelo especificado por $\{F_t, G_t, V_t, W_t\}$ se denominará M_t .

40 Ejemplo: El modelo semental proporcionado por $Y_t = s + e_t$, para $t = 1, \dots, n$, con $s \sim N(0, S^2_s)$ independiente de $e = (e_1, \dots, e_n)' \sim N_n(0, I_n S^2_e)$, es equivalente al DLM proporcionado por la ecuación de observación $Y_t = s_t + e_t$, la ecuación de sistema $s_t = s_{t-1}$, y la información inicial $s = s_0 \sim N(0, S^2_s)$. Nótese que $F_t = G_t = 1$, y $V_t = S^2_e$, para $t = 1, \dots, n$; $m_0 = 0$, y $C_0 = S^2_s$, y el modelo no tiene error de evolución.

45 **Modelo con mezcla de distribuciones de clase II multiproceso:** Si las observaciones no siguen el mismo DLM para todos los valores de t , resulta útil introducir modelos con mezcla de distribuciones, en los que, en cada momento t , se puede elegir entre J modelos diferentes. El modelo con mezcla de distribuciones de clase II multiproceso se define como sigue: para cualquier número entero $J > 1$, $A = \{\alpha_1, \dots, \alpha_j\}$ indica el espacio de parámetro para α , y se supone que, en cada momento t , existe un $\alpha \in A$, de manera que se mantiene $M_t(\alpha)$. Si el valor, α_j , de α que define el modelo en el momento t , $M_t(\alpha_j)$, se selecciona con una probabilidad conocida, $p_t(j) = P(M_t(\alpha_j) | D_{t-1})$, entonces se dice que la serie $\{Y_t\}_{t=1, \dots, n}$ sigue un modelo con mezcla de distribuciones de clase II multiproceso. Se empleará $M_t(j)$ como notación corta para $M_t(\alpha_j)$. Además, D_t indica la información disponible en el momento t , $t \geq 0$.

50 Aquí se supone que $D_t = D_{t-1} \cup \{Y_t\}$ para $t > 0$.

Filtro de Kalman de multiproceso (extendido): A continuación se esboza el procedimiento de actualización recursiva para proporcionar posteriores probabilidades $P(M_t(j) | D_t)$ del modelo j en el momento t , así como las probabilidades suavizadas de uno y dos pasos atrás $P(M_{t-1}(j) | D_t)$ y $P(M_{t-2}(j) | D_t)$, para los diferentes modelos en

diferentes momentos. El procedimiento se esboza para un modelo con $J = 4$, $G_t = G$, y $F_t = F$ para todos los t . Se supone que el error de observación, así como el error de sistema dependen del modelo en el momento t , pero de otra forma son independientes del tiempo. Se supone que el modelo j se selecciona con una probabilidad $P(M_t(\alpha_j) | D_{t-1}) = \pi_0(j)$ independiente del pasado, D_{t-1} , $j = 1, \dots, 4$ (probabilidades de selección del modelo fijas). A priori se supone que $q_0 \sim N(m_0, C_0)$ y que todos los parámetros son conocidos. Para $t = 1$: A partir de la ecuación de sistema y de la distribución anterior de q_0 se obtiene $q_0 | M_t(j), D_0 \sim N(Gm_0, GC_0G' + W(j))$ para $j = 1, \dots, 4$. Esto, junto con la ecuación de observación, produce, condicionada por $M_t(j)$, la distribución de pronóstico de Y_t :

$$Y_t | M_t(j) \sim N(FGm_0, F(GC_0G' + W(j))F' + v(j))$$

Después, la posterior probabilidad de los diferentes modelos en el momento t se calcula a partir de:

$$P(M_t(j) | D_t) \propto p(y_t | M_t(j))P(M_t(j) | D_0)$$

en que $P(M_t(j) | D_0)$ se supone que es igual a $\pi_0(j)$. La posterior distribución de q_t entonces viene dada por una mezcla de $q_t | M_t(j), D_t \sim N(m_t(j), C_t(j))$, $j = 1, \dots, 4$, con probabilidades de mezcla $P(M_t(j) | D_t)$; para el momento $t > 1$: Las etapas para obtener la posterior distribución (una aproximación) de q_t , así como las probabilidades suavizadas de uno y dos pasos atrás de los diferentes estados/modelos en el momento $t-1$ ($t-2$ para $t > 2$) se ven más involucradas. Aquí se hace referencia a Smith y West (1983) para mayores detalles.

Las vacas se emplean como ejemplos ilustrativos no limitantes del tipo de animal que se puede emplear en la presente invención, y la leche se emplea como ejemplos ilustrativo no limitante del tipo de fluido corporal que se puede emplear en la presente invención.

La selección en los grupos "riesgo basado en indicadores" y "factor de riesgo adicional" de los diferentes factores implicados puede ser un proceso dinámico, y para los expertos en la técnica resulta obvio cómo proporcionar modificaciones y cambios pequeños o más grandes.

Realizaciones de la presente invención

Aplicación general de la presente invención

Tal como se muestra en la figura 4, se ha aplicado el diseño general, en la medida que ha sido posible, a cada modelo concreto. Los modelos tienen 2 salidas principales: un riesgo global (o probabilidad de un acontecimiento) presentado al usuario, y un cálculo sobre cuándo tomar la siguiente muestra que se retroalimenta al aparato de análisis. Dos módulos generan estas salidas: uno emplea sólo la información proporcionada por la señal que proviene del aparato analizador, y el otro combina diversa información adicional en un factor de riesgo adicional. Esta separación estructural se diseña para que sea más fácil ensayar los diferentes componentes del modelo e incorporar posteriores cambios. También refleja la lógica subyacente de que los factores de riesgo adicionales son sólo los factores cuyos efectos no están actuando sobre la señal que se está midiendo. En otras palabras, si el efecto de la movilización de la grasa corporal se ve totalmente reflejado en los niveles de BHB, entonces la movilización de la grasa corporal no debe incluirse como un factor de riesgo adicional.

Se incorporan dos características adicionales para permitir ajustar el modelo a las condiciones locales, un multiplicador de precisión y un multiplicador de ganancia. El multiplicador de precisión permite modular la precisión de las evaluaciones del riesgo según los requisitos locales. Un ejemplo de esto podría ser un ganadero productor de leche que suministra leche para la fabricación de queso y, por tanto, tiene un requisito más exigente de reducir la mastitis en su rebaño. El multiplicador de precisión le permitirá aumentar la frecuencia de la toma de muestras y, por tanto, la precisión del riesgo según se mide mediante la señal de análisis.

El multiplicador de ganancia permite ajustar la sensibilidad del modelo. Un ejemplo de esto podría ser una granja o una región en las que la alimentación ha provocado que los niveles de BHB sean sistemáticamente mayores que la norma universal y, por tanto, un número inaceptablemente alto se están identificando como en riesgo de cetosis. El multiplicador de ganancia puede entonces utilizarse para disminuir la sensibilidad de la evaluación del riesgo para ajustarse a la experiencia previa de incidencia de cetosis en este rebaño. Si esta función será o no ampliamente utilizada, o si debe ser accesible al usuario, aún debe determinarse pero se incluye en la arquitectura del modelo.

Aplicación de la presente invención para la determinación del BHB y la cetosis

La cetosis subclínica y clínica y el BHB en la leche, por ejemplo, puede detectarse de una manera tal como se muestra en las figuras 5a y 5b. En este sistema, se espera que los niveles de línea de base de BHB sean sustancialmente más bajos que los valores encontrados en la cetosis. Además, después de un episodio de cetosis, los valores volverán a la línea de base original. La tasa de aparición de la cetosis es tal que los inventores anticipan la utilización de un valor suavizado en 3 días para calcular el riesgo. Es importante advertir que el ancho de banda elegido para el suavizado es el tiempo y no el número de muestras, es decir, si sólo se toma una muestra en los tres días anteriores, entonces el valor suavizado contiene sólo esta medición. Esto se aplica a todos los anchos de banda en estos modelos.

La base para el modelo de cetosis es el cuerpo cetónico beta-hidroxibutirato (BHB), que tiene una pronunciada relación con la cetosis clínica. Las mediciones de BHB se emplean para generar un riesgo basado en indicadores (IBR) y también se genera un riesgo adicional basado en otros factores (ARF). Juntos se utilizan para generar un riesgo de cetosis global. Las figuras 5a y 5b describen el modelo de cetosis: una describe el riesgo basado en indicadores (IBR, véase la figura 5a), y la otra describe los factores de riesgo adicionales (ARF, véase la figura 5b).

Nota: todos los nombres de parámetros del modelo de cetosis terminan con una K mayúscula (por "Ketosis", cetosis), y si se elimina la terminación "K" deberían ser legibles (hasta cierto punto) en su acepción inglesa.

Componentes unificadores (días hasta la siguiente muestra, riesgo de salida y fiabilidad de salida)

Riesgo de cetosis global (OverRiskK)

- El riesgo de cetosis global (OverRiskK) se deriva del IBR, y la ARFARFWK (factor de riesgo adicional ponderado de la cetosis) es el factor de escalado para ponderar el ARF con relación al IBR. Un ARF es un factor que no ve reflejado en absoluto en el BHB, pero sigue imponiendo un riesgo para que la vaca adquiera cetosis. Por tanto, es necesario que los ARF puedan provocar una alarma si no están disponibles mediciones del BHB, por ejemplo, los primeros días después de la parición en los que es probable que no haya muestras disponibles.
- También debe mencionarse que el ARF se pondera contra el IBR, y que este factor ponderado supuestamente será ajustado según la fiabilidad de los factores que contribuyen a los cálculos de ARF e IBR.

Días hasta la siguiente muestra (DNSK)

A medida que el modelo biológico percibe un mayor de riesgo de cetosis, así los días hasta la siguiente muestra se reducen desde un valor por defecto (DNSdefK). Si se obtiene una alta probabilidad de IBR, ARF o existe una alta probabilidad de que la medición fuera un valor atípico (POutlierK), debería ser interesante obtener una nueva muestra lo antes posible.

Los DNSK calculados por el modelo entonces se ajustan mediante el multiplicador de precisión. El objetivo del multiplicador de precisión es permitir al usuario modificar la velocidad general a la que el dispositivo de ordeño toma otra muestra, es decir, la intensidad global de control de la cetosis. El multiplicador de precisión trabaja a nivel del modelo completo, es decir, el usuario puede ajustar la frecuencia de la toma de muestras para la cetosis en general, pero no puede ajustar la frecuencia de la toma de muestras para vacas individuales. Tal como sugiere el nombre, el multiplicador de precisión (PrecMultK) es un multiplicador simple sobre los días hasta la siguiente muestra (DNSK).

Riesgo de cetosis de salida (OutRiskK)

El riesgo de salida final presentado al usuario (OutRiskK) se genera a partir del riesgo global (OverRiskK) multiplicado por el multiplicador de ganancia. El multiplicador de ganancia (GainMultK) proporciona la posibilidad de expandir o contraer el intervalo de valores de riesgo que se está produciendo. Se contempla como un medio para ajustar el modelo a las condiciones locales, por ejemplo, si en una región/granja concreta se descubre que el modelo de cetosis sólo produce valores de riesgo entre 0 y 0,5 incluso aunque se estén observando casos clínicos de cetosis, entonces el GainMultK puede cambiarse. Además, se sigue que si GainMultK es 0, entonces OutRiskK = 0 y, por tanto, no se señalarían vacas con riesgo de cetosis en este rebaño.

Fiabilidad de salida (OutRelK)

La fiabilidad de salida refleja el ruido de la señal de BHB, la frecuencia de toma de muestras para BHB, y la calidad de la información de ARF. Si el usuario ha ajustado el dispositivo de ordeño para que tome muy pocas mediciones de BHB y no está introduciendo ninguna información suplementaria, por ejemplo el historial médico, entonces resulta deseable que el granjero sepa que los riesgos que están siendo generados por el modelo de cetosis tienen menos fiabilidad. El ruido de la señal puede obtenerse a partir de la varianza posterior en el modelo de espacio de estados (SSM). Este valor entonces se multiplica por una función, que disminuye de 1 a 0 según aumenta la longitud del intervalo entre la muestra actual y la previa (IntK) para producir RelBRK. Para el ARF, los factores derivados del modelo de espacio de estados (SSM) (es decir, la aceleración en el rendimiento lácteo y el estado energético) emplean la misma forma funcional que para el SSM, mientras que los factores que son entradas de usuario/capataz del rebaño tienen un valor si existe información, y son cero si este factor no se está suministrando (la siguiente lista puede tener más sentido después de leer la sección sobre ARF).

Si toda la información que se introduce en el ARF es perfecta, entonces RelARFK = 1. La fiabilidad de salida entonces es la suma de RelBRK y RelARFK ponderados en proporción a sus dos contribuciones al riesgo de salida.

Elementos del riesgo basado en indicadores (IBR)

El IBR se basa en las mediciones del BHB en la leche. A partir de éstas se calcula un riesgo debido al nivel de BHB y un riesgo debido a la tasa de cambio del BHB, y se combinan para producir IBR. La tasa de cambio de BHB se considera un elemento importante del modelo cuando se identifica la cetosis en una etapa temprana. Algunas vacas tienen una alta tolerancia a los cuerpos cetónicos, es decir, tienen un alto nivel de cuerpos cetónicos en los fluidos

corporales sin mostrar signos clínicos. Sin embargo, estas vacas se han considerado vacas en riesgo aunque puede que no necesiten tratamiento, porque un aumento relativamente pequeño en el BHB las llevará a un alto nivel de BHB.

Línea de base del BHB (BaselineK)

5 La BaselineK se calcula para cada vaca y es un nivel suavizado del BHB (LevelK), en la que cada valor de BHB se pondera mediante PNormal (una probabilidad de SSM) para tomar en cuenta los valores atípicos. Existe una restricción en la función, concretamente que la BaselineK es menor que, por ejemplo, 0,15 mM, porque no resulta realista con una línea de base natural mayor. En cuanto el BHB se mida después de la parición, la línea de base se autoajustará según la vaca individual. Se espera que 0,15 mM sea un máximo de línea de base relativamente alto, lo
10 cual resulta útil en la mayoría de los rebaños y de los países, pero el máximo de línea de base puede ajustarse según las leyes nacionales en un país concreto.

Riesgo debido a la pendiente de BHB (RiskSlopeK)

Se supone que cuanto mayor sea la tasa de cambio positiva de BHB (SlopeK), mayor será el riesgo de cetosis. SlopeK es una salida suavizada de SSM ajustado para PslopeK que es una probabilidad calculada en SSM.
15 MaxSlopeK es una constante que produce un RiskSlopeK = 1. El valor sugerido de MaxSlopeK es 0,5, debido a la suposición de que BHB, en casos clínicos graves de cetosis/abomaso desplazado a la izquierda, puede aumentar de aproximadamente 0 mM a 2 mM durante un periodo de 4 días, es decir, una pendiente de 0,5 que, cuando se divide por MaxSlopeK (0,5), producirá un RiskSlopeK = 1 (si se supone que PslopeK es 0). RiskSlopeK puede asumir valores <0 y >1.

20 Riesgo debido al nivel de BHB (RiskLevelK)

Cuando mayor sea el nivel de BHB (LevelK) comparado con el nivel de línea de base de la vaca individual (BaselineK), mayor será el riesgo de cetosis. El uso de una línea de base con un valor máximo de 0,15 se basa en la suposición de que unas concentraciones >0,15 mM están asociadas con un desequilibrio fisiológico que puede mediar en una cetosis subclínica o clínica. LevelK es una salida suavizada de SSM, y PLevelK es una probabilidad
25 calculada en SSM. MaxLevelK es una constante que produce un RiskLevelK = 1. Suponiendo que una vaca con BHB 1,0 mM tiene cetosis clínica, es decir, RiskLevelK = 1, el valor sugerido para MaxLevelK es de 1,0. RiskLevelK puede asumir valores <0 y >1.

Riesgo basado en indicadores (IBR)

El IBR se calcula como una combinación ponderada de RiskSlopeK y RiskLevelK.

30 **El factor de riesgo adicional (ARF)**

Tal como se mencionó anteriormente, el punto crucial sobre ARF es que los riesgos de cetosis incluidos aquí no están ya incluido en el IBR, es decir, cualquier factor que afecte a BHB no debe incluirse aquí. En los casos en que el factor tiene un efecto sobre BHB y un efecto adicional, resulta necesario distinguir entre estos dos efectos y sólo incluir el efecto adicional en el ARF.

35 Los elementos que componen el ARF se describen a continuación; se combinan para producir ARF como sigue:

Aceleración en el rendimiento lácteo

Cuanto mayor sea el máximo de rendimiento lácteo (kg/día), mayor será el riesgo de cetosis, en algunos casos un riesgo 2,5% mayor por kg de aumento en el rendimiento lácteo (se emplea el ensayo diario de rendimiento lácteo). Sin embargo, parece más probable que sea la aceleración en el rendimiento lácteo lo que tenga interés en relación
40 con el desarrollo de la cetosis. Parece lógico que una aceleración demasiado fuerte en el rendimiento lácteo (MYAcc) aumente el riesgo de colapso/desequilibrio en el metabolismo de grasas y de carbohidratos de la vaca y, por tanto, un aumento en el riesgo de cetosis. En este caso, MYAcc es un ARF porque una MYAcc alta presuntamente precede a un aumento en BHB.

45 MYAcc es la pendiente de la curva de lactancia de leche de la vaca individual, y es una salida de SSM que se basa en los días desde la parición y los registros de rendimiento lácteo diarios. MaxAccK es una constante de escalado, que define el nivel de MYAcc que volverá a una RiskAccK de 1. RiskAccK puede asumir valores mayores que 1; en esta realización concreta, todos los valores negativos de RiskAccK deben convertirse a 0. La sugerencia para esta constante en este caso es 3, porque se cree que es el máximo aumento razonable en los kg de leche/día cuando se suaviza en 3 días.

50 Historia de enfermedad de lactancia actual (CLDHRiskK)

El trasfondo fisiológico para el hecho de que otras enfermedades a menudo aumentan el riesgo de cetosis es que otras enfermedades pueden inducir una menor ingesta de alimentos que puede conducir a una mayor movilización. Dependiendo de la duración y del volumen de esta movilización y de la capacidad del hígado para oxidar

completamente esta grasa procedente del tejido adiposo, la vaca puede desarrollar cetosis subclínica o clínica. La elección de las enfermedades que pueden provocar cetosis (y por tanto que deberían incluirse en el modelo) se basa, entre otras cosas, en las investigaciones epidemiológicas, que se presentan brevemente en la siguiente sección:

- 5 El riesgo de cetosis aumentó, por ejemplo, por la fiebre láctea. Los estudios han demostrado que la metritis aumenta significativamente el riesgo de adquirir cetosis, mientras que la cetosis aumenta significativamente el riesgo de LDA. Se ha demostrado claramente que el desarrollo de LDA está asociado con unos niveles altos de cetonas y esto puede suponerse que sea bidireccional. Pero ningún estudio ha demostrado el efecto (proporción de probabilidades: PP) de LDA sobre la cetosis ni se ha calculado. Además, los estudios han demostrado un efecto significativo de la mastitis sobre la cetosis, en los que se han encontrado resultados diferentes dependiendo de la definición de mastitis: PP = 1,4 (1,2-1,7) para la mastitis aguda, y PP = 2,4 (1,7-3,3) para la mastitis crónica. Esto puede implicar que diferentes tipos de mastitis (tipos de bacterias) pueden tener diferentes efectos sobre el riesgo de adquirir cetosis. Además, una razón para las discrepancias entre los estudios puede ser una diferencia en la distribución de la mastitis con relación a la fecha de parición. La mastitis no parece afectar al riesgo de adquirir cetosis.
- 10
- 15 Se emplea una función para calcular el riesgo de cetosis debida a una enfermedad concreta (DisRiskK), como una función de los días desde la aparición (DisDaysK), un periodo de riesgo esperado, es decir, el día en que ya no se considera que la enfermedad sea un riesgo para la cetosis (DisTK), y la gravedad de la enfermedad (DisSevK).

En la tabla 2 se listan diferentes enfermedades según su riesgo máximo sugerido (MaxDisK). DisRatK determina la forma de la curva entre MaxDisK y DisTK, es decir, cómo DisRiskK cambia desde el día de tratamiento hasta que el periodo de riesgo expira. DisTK ofrece el número de días hasta que el riesgo se ha reducido hasta 0,36 ($\exp(-1)$) o 1(e).

20

Tabla 1. Listado de enfermedades según su riesgo máximo

Enfermedad (DisTypeK)	MaxDisK	DisTK (días)	DisRatK
LDA (abomaso desplazado a la izquierda)	0,9	10	0,4
RDA (abomaso desplazado a la derecha)	1,1	10	0,4
Acidosis del rumen	0,7	10	0,4
Fiebre láctea	0,6	8	0,4
Placenta retenida	0,3	12	0,15
Metritis	0,5	12	0,15
Mastitis	0,2	8	0,4
Otras	0	0	0

Las enfermedades no pueden considerarse totalmente independientes y, por tanto, pueden conducir a una sobreestimación del ARF, si los riesgos de cada enfermedad se añaden juntos en una vaca que tiene varias enfermedades al mismo tiempo (por ejemplo, mastitis y metritis). Por tanto, siempre será la enfermedad con el factor de riesgo mayor en el día concreto la que cuente para el cálculo del ARF total. Si una vaca se ha sometido repetidamente a un tratamiento de la misma enfermedad dentro de la lactancia, entonces sólo debería contar la última incidencia de esta enfermedad concreta para el cálculo de DisRiskK. Por tanto, es necesario que DisRiskK se calcule cada día para cada una de las últimas incidencias de las enfermedades en la lactancia actual.

25

30 Número de cetosis a lo largo de la vida

El trasfondo para incluir la historia de cetosis de una vaca son los siguientes hechos: hay un riesgo aproximadamente 2,5 veces mayor de adquirir cetosis si la vaca ya ha tenido cetosis en la lactancia previa. Las estimaciones demuestran que las vacas tratadas por cetosis en la primera lactancia tienen un riesgo del 17% de cetosis en la segunda lactancia, mientras que las que no fueron tratadas en la primera lactancia tienen una probabilidad del 4% de cetosis en la segunda lactancia. Se ha demostrado que los valores equivalentes son 8% y 3%, y una vaca con fiebre láctea en una lactancia previa tiene una probabilidad 2-5 veces mayor de fiebre láctea, y una vaca con cetosis en una lactancia previa tiene un riesgo 4-12 veces mayor de adquirir de nuevo cetosis.

35

El ARF debido a incidencias previas de cetosis se supone constante durante la lactancia, porque expresa una susceptibilidad constante o una sensibilidad diferente entre las vacas. Por tanto, se considera un factor genético. El riesgo adicional procedente de incidencias previas de cetosis puede incluirse a través de una constante para la historia de la vaca (HistConK). La constante depende de la historia de cetosis.

40

Estado energético (EnStat)

5 En la situación en que el entorno nutricional es limitante puede producirse una excesiva movilización de las reservas energéticas corporales, ejerciendo una presión sobre el equilibrio fisiológico de la vaca. El estado energético es una medida de esto, y también es la salida del modelo de estado energético. Se espera que un estado energético bajo aumente el riesgo de cetosis. Este estado energético puede incluirse como un ARF.

Listado de entradas y de salidas

Entradas sugeridas

Parámetro	Comentario
CowID	ID exclusiva, no se permiten duplicados
RunTimeK	Fecha y momento de la ejecución actual
BHBTimeK	Fecha y momento de la última muestra de BHB
GainMultK	Multiplicador de ganancia - entrada para ajustar las condiciones locales
PrecMultK	Multiplicador de precisión - entrada para ajustar las condiciones locales
LevelK	Concentración de BHB - salida suavizada de SSM
SlopeK	Tasa de cambio en BHB - salida suavizada de SSM
IntK	Intervalo de tiempo entre la última muestra de BHB y la muestra previa
POutlierK*	Valor de probabilidad para SSM
PNormalK*	Valor de probabilidad para SSM
PSlopeK*	Valor de probabilidad para SSM
PLevelK*	Valor de probabilidad para SSM
DisDateK	Fecha y momento de la enfermedad
DisTypeK	Código para diferentes enfermedades#
DisSevK	Códigos: posible = 0,3, probable = 0,6, claro = 0,9
DFC	Días desde la parición - debe validarse frente a preñez anterior y registros de inseminación artificial
MYAcc	Pendiente de la curva de lactancia de leche - salida suavizada de SSM basada en los registros de rendimiento lácteo diarios y DFC del sistema de gestión del rebaño
EnStat	Estado energético, salida de otro modelo
* Debe estar disponible como estimaciones para el tiempo t y para la estimación anterior suavizada en un paso atrás (t-1).	
# Abomaso desplazado a la izquierda, abomaso desplazado a la derecha, acidosis del rumen, fiebre láctea, placentes retenidas, metritis, mastitis, cetosis y otras.	

Sincronicidad de las entradas

10 El modelo está construido basándose en que un nuevo valor de BHB activa el modelo. Además, también puede activarse una nueva muestra/cálculo cuando se introduce una enfermedad, es decir, cuando DisDateK es una entrada.

Salidas sugeridas para el usuario final

Parámetro	Usuario final	Comentario
DNSK	Dispositivo de ordeño	Días hasta la siguiente toma de muestras
OutRiskK	Cuidador de la vaca	Riesgo de cetosis de salida
OutRelK	Cuidador de la vaca	Fiabilidad del riesgo de cetosis de salida

Aplicación de la presente invención para la determinación de la mastitis

Los indicadores de mastitis pueden ser, por ejemplo, LDH o NAGasa. En una realización preferida de la presente invención, se detectan indicadores de la mastitis y la mastitis en animales, tal como se muestra en las figuras 6a y 6b. Existen muchas similitudes entre el modelo de mastitis y el modelo de cetosis. Existen dos diferencias principales con el modelo de cetosis. La primera es que la línea de base del nivel del indicador de mastitis no vuelve necesariamente a los niveles anteriores a la infección. La segunda es que existen algunos requisitos de la calidad de la leche a nivel de grupo o población.

Nota: todos los nombres de parámetros del modelo de mastitis terminan con una M mayúscula (por mastitis), y si se elimina la "M" deberían poder ser legibles (hasta cierto punto) en su acepción inglesa.

Base del modelo

La base para el modelo de mastitis puede ser la lactato deshidrogenasa (LDH) que, en esta realización de la presente invención, se selecciona sólo con fines ilustrativos. Se supone que existe una pronunciada relación lineal entre la LDH y el estado de salud de la ubre. Se utilizan las mediciones de LDH para generar un riesgo basado en indicadores (IBR), y también se genera un riesgo adicional basado en otros factores (ARF). Juntos se utilizan para generar un riesgo de mastitis global. La estructura de este modelo se muestra en la figura 6a y 6b.

Una cuestión importante se refiere a los efectos de la dilución. Suponiendo que LDH se produce en respuesta a una *cantidad* de daños celulares en la leche, entonces la *cantidad* de LDH puede ser un indicador más importante de la mastitis que la *concentración* de LDH en la leche. Evidentemente, si este es el caso, entonces la concentración de LDH que constituye una alarma de mastitis dependerá del rendimiento lácteo. Además, la mastitis habitualmente aparece sólo en un cuarto cada vez, y la leche de este cuarto es diluida por la leche en los otros tres cuartos. Otra complicación es que la proporción de cantidad de leche producida por los cuartos infectados y sanos también está afectada de mastitis. Por consiguiente, puede que se decida utilizar la cantidad de LDH y no la concentración de LDH como la variable indicadora en el modelo biológico. Esta cantidad (LDH) es la entrada al modelo biológico, y se genera a partir de la concentración de LDH (LDHconc) y el rendimiento lácteo en ese ordeño (MY).

Tratamiento de los casos agudos frente a los casos crónicos de mastitis

Los casos agudos de mastitis se caracterizan por un aumento súbito en el nivel del indicador de mastitis, es decir, LDH, mientras que los casos crónicos se tipifican por un nivel alto y relativamente estable de LDH. La arquitectura del modelo de mastitis para identificar los casos agudos es muy similar a la estructura del modelo general (figura 4) y al modelo para la cetosis en particular (figura 5a y figura 5b). Estos casos agudos deberían generar un riesgo de mastitis alto.

Los casos crónicos no se incluirán necesariamente en el riesgo de mastitis, sino que generarán un alto valor en el riesgo de calidad de la leche. Este módulo de "calidad de la leche" del modelo de mastitis se basa en el nivel estable de la LDH con relación a la media del rebaño. La clave para distinguir entre la mastitis aguda y crónica está en el cálculo y el uso del nivel estable.

Componentes unificadores (días hasta la siguiente muestra, riesgo de mastitis de salida y fiabilidad de salida)

Días hasta la siguiente muestra (DNSM)

A medida que el modelo biológico percibe un mayor de riesgo de mastitis (aguda), así los días hasta la siguiente muestra se reducen desde un valor por defecto (DNSdefM). Además de los efectos de un riesgo basado en indicadores (IBR) o factor de riesgo adicional (ARF) altos, si el último valor de LDH tiene una alta probabilidad de que sea una desviación positiva de la serie de tiempo normal, entonces se toma otra muestra rápidamente. Además, si existe una medición de alta conductividad (CondM), se toma una muestra de seguimiento rápidamente.

Los DNSM calculados por el modelo entonces se ajustan mediante el multiplicador de precisión. El objetivo del multiplicador de precisión es permitir al usuario modificar la velocidad general a la que el dispositivo de ordeño toma otra muestra, es decir, la intensidad global de control de la mastitis. Tal como sugiere el nombre, el multiplicador de precisión (PrecMultM) es un multiplicador simple sobre los días hasta la siguiente muestra (DNSM).

Riesgo de mastitis de salida (OutRiskM)

El riesgo de mastitis presentado al usuario (OutRiskM) se genera a partir del riesgo de mastitis global (OverRiskM), que se deriva del IBR y del ARF.

5 IBR es el riesgo basado en indicadores, y ARF es el riesgo debido a factores de riesgo adicionales. El riesgo de salida final (OutRiskM) se genera a partir del riesgo global aplicando un multiplicador, el multiplicador de ganancia. El multiplicador de ganancia proporciona la posibilidad de expandir o contraer el intervalo de valores de riesgo que se está produciendo. Se contempla como un medio para ajustar el modelo a las condiciones locales, por ejemplo, si en una región/granja concreta se descubre que el modelo de mastitis sólo produce valores de riesgo entre 0 y 0,5 incluso aunque se estén observando casos clínicos de mastitis, entonces el multiplicador de ganancia puede cambiarse. El acierto a la hora de hacer esto y a quién se le debe dar el privilegio de acceso debe aclararse.

Fiabilidad de salida

15 La fiabilidad de salida refleja el ruido de la señal de LDH, la frecuencia de toma de muestras para LDH, y la calidad de la información de ARF. Si el usuario ha ajustado el dispositivo de ordeño para que tome muy pocas mediciones de LDH y no está introduciendo ninguna información suplementaria, por ejemplo el historial médico, entonces resulta deseable que el granjero sepa que los riesgos que están siendo generados por el modelo de mastitis tienen muy poca fiabilidad. El ruido de la señal puede obtenerse a partir de la varianza posterior en el SSM. Este valor entonces se multiplica por una función, que disminuye de 1 a 0 según aumenta la longitud del intervalo entre la muestra actual y la previa (IntM) para producir RelBRM. Para el ARF, los factores derivados del SSM emplean la misma forma funcional que para RelBRM, mientras que los factores que son entradas de usuario/capataz del rebaño tienen un valor si existe información, y son cero si este factor no se está suministrando (la tabla 4 indica la fiabilidad de los diferentes tipos de mediciones).

Tabla 2. Indicación de la fiabilidad de los diferentes tipos de mediciones

Nombre	Abreviatura	Fiabilidad
Aceleración en el rendimiento lácteo	ReiMYAccM	post. var. función con máximo = 0,4
Duración del ordeño	RelMilkDurM	post. var. función con máximo = 0,1
Pico del caudal lácteo	RelPMFM	post. var. función con máximo = 0,05
Características de la ubre	RelUddM	máximo = 0,2, 0 si falta
Nivel de mastitis del rebaño		no se incluye en la fiabilidad
Enfermedad de la lactancia actual	RelCLDHM	máximo = 0,15, 0 si falta
Estado energético	RelEnStatM	post. var. función con máximo = 0,1
Conductividad		no se incluye en la fiabilidad

25 Si toda la información que se introduce en el ARF es perfecta, entonces RelARFM = 1. La fiabilidad de salida entonces es la suma de RelBRM y RelARFM ponderados en proporción a sus dos contribuciones al riesgo de salida.

Elementos del riesgo basado en indicadores (IBR)

El riesgo basado en indicadores es simplemente la suma de dos riesgos: el riesgo debido al nivel de LDH, y el riesgo debido a la tasa de cambio en el nivel de LDH. Estos y otros elementos asociados se detallan a continuación.

Nivel estable (StableM)

30 Este es, básicamente, para cada vaca, un valor medio del nivel de LDH (LevelM) calculado a lo largo de un intervalo de tiempo, tal como 7 días (StableIntM). Como LevelM ya toma en cuenta las probabilidades de ser un valor normal, etc., no es necesario tomar en cuenta esto para el cálculo del nivel estable (StableM).

Puede ser necesario un valor por defecto de StableM en la parición para el cálculo del riesgo debido a LevelM, y debe ajustarse a un valor bajo y diluirse a medida que se acumulan los datos reales de LevelM.

35 Riesgo debido a la pendiente (RiskSlopeM)

Se supone que cuanto mayor sea la tasa de cambio de LDH (SlopeM), mayor será el riesgo de mastitis. RiskSlopeM aumenta si existe una alta probabilidad de que sea una desviación de la serie de tiempo normal, es decir, un cambio en la pendiente (PSlopeM).

Riesgo debido al nivel de LDH (LevelM)

Se supone que cuanto mayor sea el nivel con relación al nivel estable (StableM), mayor será el riesgo de mastitis. El uso del nivel de base como línea de base facilita la diferenciación entre mastitis aguda y crónica, pero también se basa en la suposición de que el aumento en la LDH debido a un caso agudo es independiente del nivel estable subyacente. Si este no es el caso, por ejemplo si el nivel de LDH asociado con una mastitis "vigorosa" es absoluto, entonces el modelo necesitará utilizar una línea de base diferente, tal como la utilizada en el modelo de cetosis.

El factor de riesgo adicional (ARF)

El punto crucial sobre el factor de riesgo adicional es que los riesgos de mastitis incluidos aquí no están ya incluidos en el riesgo basado en indicadores, es decir, cualquier factor que afecte a la LDH no debe incluirse aquí. En los casos en que el factor tiene un efecto sobre LDH y un efecto adicional, resulta necesario distinguir entre estos dos efectos y sólo incluir el efecto adicional en el ARF. Los elementos que componen el ARF se describen a continuación, y se combinan para producir ARF.

Aceleración en el rendimiento lácteo (MYAcc)

Esto se usa como un índice del grado de estrés fisiológico que está experimentando la vaca. MYAcc es una manera de combinar el rendimiento lácteo y los días desde la parición, que los inventores creen que cristaliza los componentes de estos dos factores que son importantes para el estrés fisiológico que está experimentando la vaca. MYAcc tiene el valor máximo inmediatamente después de la parición y es mayor para vacas con rendimientos más altos.

Puesto que existe un modelo biométrico para el rendimiento lácteo entonces, en principio, la pendiente de la curva de rendimiento lácteo suavizada, es decir, la aceleración en el rendimiento lácteo, puede conseguirse con facilidad. Además, MaxAccM es una constante de escalado necesaria para producir el nivel de aceleración que volverá a producir un riesgo de 1.

Duración del ordeño

Se supone que esto cataloga el efecto físico negativo de la ordeñadora sobre las defensas de la teta de la vaca frente a la invasión por patógenos que provocan la mastitis. Cuanto mayor sea la duración del ordeño (MilkDurM), más allá de un umbral menor, mayor es el efecto.

Características de la ubre

La cuantificación de la susceptibilidad de la propia vaca a la mastitis tiene 2 partes: la información que es categórica (en general introducida por el usuario), y la que está en una escala continua. Estos son fundamentalmente factores de riesgo que no se espera que cambien a corto plazo. Las características de la ubre categóricas son, en la actualidad:

Tabla 3. Características de la ubre

Características de la ubre	Nombre	Aumento en el riesgo
Tetas cortas	ShortM	0,1
Ubre baja	LowM	0,05
Tetas que gotean	LeakyM	0,15

Pico del caudal lácteo y número de mastitis a lo largo de la vida

Los factores continuos pueden ser el pico del caudal lácteo y el número de mastitis a lo largo de la vida. El pico del caudal lácteo (MilkFlowM) debería estar disponible a partir del sistema de ordeño en cada ordeño en que se tome una muestra. En el presente contexto, el pico del caudal lácteo es un índice para el diámetro del canal de la teta, y esto no cambia de forma acusada durante la lactancia. No obstante, el pico del caudal lácteo en sí mismo se ve afectado por el rendimiento lácteo porque la presión creada en la ubre por la contracción alveolar durante el reflejo de expulsión de la leche dependerá de lo llena que esté la ubre. Por tanto, esto puede medirse en una etapa de lactación concreta o rendimiento. Una manera de aproximarse a esto es utilizar el pico del caudal lácteo máximo registrado. Puesto que esta rutina es vulnerable a las mediciones de ruido, la entrada del pico del caudal lácteo debería ser la salida de un SSM. El pico del caudal lácteo (PeakMFM) se convierte en un factor de riesgo.

El número de mastitis a lo largo de la vida puede utilizarse como una medición de la susceptibilidad de la vaca a la mastitis de la misma manera que el número de cetosis a lo largo de la vida se emplea en el modelo de cetosis. Sin embargo, existe una diferencia crucial en que la mastitis es una enfermedad infecciosa y la cetosis no. Por tanto, hasta cierto punto se puede esperar que el número de mastitis a lo largo de la vida refleje la presión de enfermedad

ejercida sobre la vaca por los entornos en los que ha estado. Por esta razón no se considera que sea una variable que pueda elegirse como variable predictiva de la susceptibilidad de la vaca, pero tiene la ventaja práctica de generarse automáticamente si la salida del riesgo de mastitis se emplea para generar incidencias de enfermedad.

Nivel de mastitis del rebaño

- 5 Puesto que la mastitis es una infección, cuanto más vacas con mastitis haya en el rebaño, mayor será la presión de infección sobre cualquier vaca del rebaño. El nivel de mastitis del rebaño puede calcularse combinando las cargas infecciosas individuales de las vacas en el rebaño, que se supone que se reflejan en las cantidades de LDH estables (StableM).

Historia de enfermedad de lactancia actual (CLDHRiskM)

- 10 Esta es análoga al mismo factor en el modelo de cetosis, excepto que se hace una distinción entre enfermedades que indican una mayor carga infecciosa (metritis, pisado de las tetas, acidosis) y las que sólo se añaden al estrés general que experimenta la vaca (cetosis, fiebre láctea, placentas retenidas y otras). Para cada una de estas, existe un mayor riesgo de mastitis en el día de aparición que después disminuye hasta cero a lo largo del tiempo.

- 15 En cualquier momento puede haber más de un riesgo de enfermedad en activo, y se combinan de la siguiente manera. Dentro de cada clase de enfermedades (infección frente a general) se elige el mayor DisRiskM, es decir, se supone que los riesgos dentro de las clases no son aditivos. El riesgo de historia de enfermedad de lactancia actual global (CLDHRiskM) es la suma de dos DisRiskM, el mayor dentro de cada clase.

Estado energético (EnStat)

- 20 En la situación en que el entorno nutricional es limitante puede producirse una excesiva movilización de las reservas energéticas corporales, ejerciendo una presión sobre el equilibrio fisiológico de la vaca. El estado energético es una medida de esto, y también es la salida del modelo de estado energético. Se espera que un estado energético bajo aumente el riesgo de mastitis (entre otras). Por tanto, este estado energético puede incluirse como un ARF.

Conductividad a nivel de cuartos

- 25 La conductividad tiene 3 ventajas como medición: es muy barata, es muy rápida, y es a nivel de cuartos. Estas ventajas deben aprovecharse cuando el sistema de ordeño tiene conductividad. Sin embargo, se supone que la LDH es el indicador más fiable. Por tanto, se otorga un peso relativamente bajo al riesgo debido a la conductividad (RiskCondM) en el ARF.

Los dos papeles más importantes de la entrada de conductividad son activar una nueva muestra e identificar qué cuarto que con más probabilidad está infectado.

30 **Riesgo de la calidad de la leche - Tratamiento de los casos de mastitis crónica**

En su forma más simple, esto podría ser sólo una lista de salidas de valores de StableM individuales. Utilizando una correlación entre LDH y SCC es posible predecir el SCC de la leche a granel y así considerar si la leche de alguna vaca debe retirarse del tanque a granel.

Listado de entradas y de salidas

35 Entradas sugeridas

Parámetro	Comentario
CowID	ID exclusiva, no se permiten duplicados
RunTimeM	Fecha y momento de la ejecución actual
LDHTimeM	Fecha y momento de la última muestra de LDH
Level*	Cantidad de LDH - salida suavizada de SSM
SlopeM*	Tasa de cambio en la cantidad de LDH - salida suavizada de SSM
IntM	Intervalo de tiempo entre la última muestra de LDH y la muestra previa
POutlierM*	Valores de probabilidad para SSM
PNormalM*	Valores de probabilidad para SSM
PSlopeM*	Valores de probabilidad para SSM

PLevelM*	Valores de probabilidad para SSM
CondtIME	Fecha y momento de una medición de conductividad
CondM	Valor de alarma de conductividad - un valor entre 0 y 1
QuarterM	El cuarto que está detectando la alarma de conductividad
PMM	Multiplicador de precisión para la mastitis
DFC	Días desde la parición - debe validarse frente a preñez anterior y registros de inseminación artificial
MYAcc	Pendiente procedente de SSM sobre el rendimiento lácteo (kg/d/d)
MilkDurM	Duración del ordeño (s)
UdderM	Características de la ubre, por ejemplo tetas que gotean véase ecn 9 para la lista completa
PeakMFM	Nivel _{t-1} procedente de un SSM sobre el pico del caudal lácteo
DisTypeM	Código para el tipo de enfermedad#
DisDateM	Fecha de la primera identificación de la enfermedad
DisSevM	Código de gravedad de la enfermedad: suave = 0,3, media = 0,6, grave = 0,9
EnStat	Estado energético, salida de otro modelo
GainMultM	Multiplicador de ganancia, privilegio de acceso a la entrada para ajustar a las condiciones locales
* Debe estar disponible como estimaciones para el tiempo t y para la estimación anterior suavizada en un paso atrás (t-1).	
# Metritis, lesiones en la teta, acidosis, cetosis, fibre láctea, placenta retenida y otras.	

Salidas sugeridas para el usuario final

Parámetro	Comentario
DNSM	Días hasta la siguiente toma de muestras
OutRiskM	Riesgo de mastitis aguda de salida
QuarterM	Cuarto en riesgo
ReliabilityM	Fiabilidad del riesgo de salida
StableM	Nivel estable de LDH - indicador de la mastitis crónica
BulkSCCM	Media del nivel estable del rebaño - ajustado

Aplicación de la presente invención para la determinación de la progesterona y la reproducción

5 La reproducción y la progesterona pueden detectarse en animales, tal como se muestra en las figuras 7a-7d. Este modelo tiene una estructura más compleja que los modelos para la cetosis y la mastitis, porque puede resultar interesante identificar un número mayor de condiciones. Después de la parición, la vaca evoluciona a través de 3 estados reproductivos en secuencia: anestro postparto, ciclo de estro, preñez. Estos se denominan estado 0, 1 y 2, respectivamente. Durante el anestro postparto, los niveles de progesterona son bajos, y el final de esta fase se caracteriza por el primer estro, normalmente silencioso. La detección del primer estro cambia el estado a 1. El estado cambia a 2 después de la inseminación artificial. Si se descubre que la vaca no está preñada, entonces el estado vuelve a 1.

10 Dentro de cada estado puede utilizarse el perfil de progesterona para indicar una evolución normal y anormal. Estas son (el estado se muestra entre paréntesis): anestro prolongado (0), “quistes” lúteos (1), “quistes” foliculares (1), pérdida de preñez (2). La figura 7a muestra la arquitectura global del modelo, y la cascada de decisión necesaria para identificar las diferentes condiciones se muestra en el recuadro de línea discontinua. Una estructura expandida

de esta cascada se describe en las figuras 7b-7d para cada uno de los tres estados, respectivamente.

La estructura para el modelo de reproducción se basa en que la vaca siempre está en uno de los tres estados reproductivos (StatusR), que son:

StatusR = 0, anestro postparto (figura 7b)

5 StatusR = 1, ciclo de estro con muy poca probabilidad de preñez (figura 7c)

StatusR = 2, potencialmente preñada (figura 7d)

En el modelo, estos estados son mutuamente excluyentes. La definición de cada estado reproductivo, las entradas, las salidas y las suposiciones asociadas con cada estado se describen en detalle a continuación. Una suposición general que se aplica a todo el modelo de reproducción es que la progesterona es la medición definitiva del estado reproductivo. Esto significa que aunque se emplee otro tipo de información, tal como detecciones del estro externas (EODR), nunca se permite que invalide la información proporcionada por la progesterona. En términos del diseño del modelo general, la progesterona se equipara con el "riesgo basado en indicadores", y la EODR y otros factores, tales como el estado energético, se equiparan con los "factores de riesgo adicional" (véase la visión de conjunto del modelo en la figura 7a). Sin embargo, debido a que el modelo tiene 3 subunidades de StatusR no es fácil mantener la estructura de IBR-ARF. Aunque esto no resulta obvio dentro de la estructura del modelo biológico, el SSM para la progesterona es importante. Esto resulta evidente cuando se considera que los valores de progesterona esperados en la fase folicular pueden variar de 0 a 3,5 ng/ml, y en la fase luteal varían de 4,5 a 50 ng/ml (media 15-20).

Nota: todos los nombres de parámetros del modelo de reproducción terminan con una R mayúscula (por reproducción), y si se elimina la "R" deberían ser legibles (hasta cierto punto) en su acepción inglesa.

20 Activación de una ejecución del modelo y tiempo de manipulación

El modelo se activa por un nuevo valor de progesterona o por una detección del estro externa. En cualquiera de los casos, puede accederse al valor anterior del otro. Esto complica el uso del tiempo en el modelo.

Detección del estro externa

Las indicaciones del *comportamiento* de estro se derivan de los métodos de detección del estro externos (EODR). EODR se refiere a todos los demás dispositivos o métodos de detección del estro, es decir, que no utilizan la progesterona. Para que el modelo pueda establecer una interfase con la multitud de dispositivos disponibles, las entradas de EOD se definen como sigue:

EODTimeR = La fecha y el momento de la detección del estro externa. Esto puede diferir del momento en que esta información resulta accesible para el modelo biológico, porque la ejecución haya sido activada por un nuevo valor de progesterona y porque los valores de EOD pueden no ser entradas a tiempo real (por ejemplo, registros de detección del estro visuales).

EODinR = La intensidad, o probabilidad, del estro detectado (en una escala de 0 a 1) suministrada por el sistema de gestión del rebaño. Para la detección visual del estro se contempla que el granjero será capaz de elegir entre un estro "posible", "probable" y "claro". Esto se corresponde con unos valores de EODinR, por ejemplo, de 0,5, 0,7 y 0,9.

EODTypeR = Define el tipo de dispositivo utilizado para la detección. Esto se usa para asignar una velocidad de decadencia al valor de EODinR, es decir, el peso que debe darse a una señal de EOD que sea, por ejemplo, de hace un día. Para cada EODType existen 3 constantes: EODRatR, EODTR, y EODgainR. Esta última constante permite ajustar la intensidad del estro original (EODinR) internamente, si es necesario.

40 Entonces puede calcularse la EODR a partir de estas entradas para que decaiga a lo largo del tiempo entre el tiempo de la ejecución actual y el EODtimeR. También puede incluirse un proceso para acumular EOD repetidas. La lógica para esto es que las pruebas repetidas de comportamiento de estro deben reforzar el "diagnóstico" de estro.

StatusR = 0, anestro postparto (figura 7b)

Este es el periodo desde la parición hasta el primer estro, que entonces provoca un posterior aumento en la progesterona por encima del umbral más bajo de progesterona (LThreshR). Una suposición clave para el funcionamiento del modelo es que la precisión de la señal de progesterona que entra en el modelo biológico es tal que las diferencias reales en la progesterona entre la línea de base del anestro y los niveles de umbral (LThreshR) puedan distinguirse del error de medición.

En la parición, o cuando se registra por primera vez en el modelo (para las vacas que no comienzan en la parición), se asigna a la vaca un estado de 0. Para que evolucione hasta el estado 1 se requieren pruebas de un primer estro. Estas pueden ser un aumento en la progesterona o una indicación muy intensa de comportamiento de estro. Esto último significa un valor de EODR mayor que el umbral de EOD (EThreshR). No se espera que la transición del

estado 0 al estado 1 será activada por una EOD. Sin embargo, se incluye basándose en que los tipos de primer estro que pueden ser lo suficientemente intensos como para provocar una EOD suficientemente alta serán unos primeros estros relativamente tardíos, es decir, potencialmente valiosos y, por tanto, merezca la pena la inseminación (probablemente).

5 El activador más probable para la transición al estado 1 debería ser el primer aumento en la progesterona hasta un nivel mayor que LThreshR. Este es un punto de anclaje importante para la posterior frecuencia de toma de muestras y las estadísticas reproductivas. El granjero debe asegurarse de que la muestra o la medición no sea sólo un valor atípico. Por tanto, es probable que se requieran dos valores consecutivos de progesterona por encima de LThreshR para provocar el cambio al estado 1.

10 Si la vaca permanece en el estado 0 (es decir, no hay pruebas de la aparición del ciclo de estro), entonces puede calcularse el riesgo de un anestro prolongado (ProAnOestR) y los días hasta la siguiente toma de muestras (DNSR) a partir del valor de EODR y la probabilidad de aparición de un ciclo de estro (LOOCR). LOOCR es una estimación de la duración biológicamente esperada del anestro postparto. La idea básica de LOOC es que cuanto mayor sea el tiempo desde la parición, mayor será la probabilidad de aparición de un ciclo de estro. La probabilidad aumenta de 0 a un máximo (PropCanR) que refleja el hecho de que siempre habrá una proporción de vacas que, debido a fallos reproductivos, nunca empiezan el ciclo.

La curva completa puede ser desplazada “horizontalmente” por un factor de raza (BreedLOOCTR) y por el estado energético (EnStat). En otras palabras, la curva media para la paridad de raza ahora se ajusta para el estado energético de la vaca concreta (un cálculo de otro modelo). De una manera similar, la “pendiente” de la función LOOCR puede ser modificada por problemas de salud reproductiva individuales según su tipo (ProbTypeR) y gravedad (ProbSevR). El riesgo de anestro postparto prolongado (ProAnRiskR) es simplemente LOOCR ajustado hacia abajo para cualquier prueba de actividad EOD. Las vacas con un alto riesgo de anestro postparto prolongado son aquellas en la que no puede encontrarse una buena explicación biológica para el anestro (porque LOOCR está ajustado para los modificadores biológicos del periodo de anestro de la vaca concreta). Los días hasta la siguiente muestra (DNSR) se calculan de una manera similar, de modo que un DNS por defecto (DNSOdefR) disminuye: aumentando EOD y también aumentando el riesgo de anestro postparto prolongado. En otras palabras, si hay alguna insinuación de actividad de estro o si existe un posible problema, entonces será deseable hacer un seguimiento más atento a esa vaca. DNSR se calcula en una serie de lugares a lo largo de programa de reproducción que reflejan el número de diferentes puntos de salida del modelo para volver a la siguiente toma de muestras, pero en cualquier ejecución sólo se realiza un cálculo. En las figuras 7b, 7c y 7d, estos puntos de salida se indican mediante una flecha en bucle. Este valor siempre está ajustado por el multiplicador de precisión (PrecMultRfunc), que es la entrada que tiene el usuario para aumentar o disminuir la frecuencia media de toma de muestras.

StatusR = 1, ciclo de estro con una probabilidad muy baja de preñez (figura 7c)

Esta parte del modelo reproductivo se ocupa de tres condiciones: estro, fase folicular prolongada, y fase luteal prolongada.

La fase folicular (progesterona baja)

40 Cuando la vaca está en ciclo, el estro se define por la primera aparición de un nivel de progesterona por debajo de LThreshR. Se supone que el estro no puede producirse si la progesterona está por encima de LThreshR, independientemente de cualquier otro signo de estro. La identificación del estro provoca un cambio en el estado reproductivo a StatusR = 2, potencialmente preñada independientemente de cualquier inseminación.

Para evitar que se indique un estro en cada valor sucesivo de progesterona por debajo de LThreshR se emplea un contador (CountR) y sólo se indica el estro para el primer valor de progesterona por debajo de LThreshR. Para que se indique un estro, puede establecerse el requisito de que la curva del perfil de progesterona (SlopeR) sea menor que un umbral (SThreshR). Cuando se ha indicado un estro, el modelo calcula el tiempo que hay que esperar hasta la inseminación (TimeToAIR) y la probabilidad de que la inseminación propuesta sea un éxito (LikeAISuccR). El tiempo de retraso por defecto hasta la inseminación artificial es el intervalo del supuesto estro hasta la ovulación, OestOvulntR; este después se reduce si existe alguna indicación de comportamiento de estro (EODR). La probabilidad de que la inseminación propuesta tenga éxito (LikeAISuccR) se basa en la tasa de concepción ideal (MaxConR), que después puede reducirse por 4 factores diferentes: estado energético, número de estros, duración del ciclo de estro previo, y la pendiente del perfil de progesterona.

55 CyclenR es un valor suavizado para la duración del ciclo que se esperaría a partir de la duración de los ciclos previos de esa vaca. CyclenR se actualiza para cada estro. Además, en el estro, el número de estros (OestNR) aumenta en 1, CountR aumenta en 1 (evitando con ello una indicación repetida de estro dentro de esa fase folicular), la fecha del estro previo (DayOestR) se almacena en OldOestR y se actualiza a la fecha del estro actual. Por último, StatusR puede ajustarse a 2, y los días hasta la siguiente muestra pueden ajustarse a $(2 \times \text{OestOvulntR} + 1)$. Es importante advertir que aunque el estado ha cambiado a 2, esta parte del programa (StatusR = 2) no se introduce hasta la siguiente ejecución.

La siguiente ejecución (consecutiva) puede venir de la “vía del estro” porque la siguiente muestra de progesterona

tiene un valor bajo ($LevelR$ es $< LThreshR$), o porque la siguiente ejecución se activa por una entrada de EOD (y se constató que la vaca no estaba potencialmente preñada). En ambos casos, $CountR$ es mayor que 1, es decir, el estro ya ha sido indicado en ese periodo folicular (suponiendo que $SlopeR$ es mayor que $SThreshR$). La duración de la fase folicular se actualiza añadiendo el intervalo desde la última ejecución a la ejecución actual a $FolPerR$. Al mismo tiempo, la duración del siguiente periodo luteal ($LutPerR$) puede actualizarse a cero, y $DayOestR$ se ajusta a Fecha - $OestOvulntR$. En la fase luteal, $LutPerR$ aumentará por $IntR$. Después del estro, la siguiente muestra se toma $2 \times OestOvulntR$.

Si EOD es mayor que $EThreshR$ entonces puede merecer la pena actualizar el cálculo de $TimetoAI$. En este caso, no se percibe la necesidad de revisar el valor previo de los días hasta la siguiente toma de muestras. Si la razón para estar en esta parte del modelo es por un periodo folicular más largo, es decir, $EOD < EThreshR$, entonces el riesgo de una fase folicular prolongada ($RiskFolR$) y los días hasta la siguiente toma de muestras ($DNSR$) se calculan basándose en la duración del periodo folicular. Cuando más largo sea $FolPerR$, más corto será el intervalo hasta la siguiente toma de muestras.

La fase luteal (progesterona alta)

Esta parte del modelo controla la frecuencia de la toma de muestras en la fase luteal y calcula el riesgo de una fase luteal prolongada, es decir, un quiste lúteo. Esta parte del modelo se ocupa en primer lugar de una contraindicación potencial, una EOD alta durante la fase luteal. Si el último valor de progesterona es alto (por encima de $LThreshR$) y la ejecución actual fue activada por una EOD alta (por encima de $EThreshR$), entonces hay algo que no cuadra. Esto se resuelve ajustando los días hasta la siguiente muestra a 0 para verificar el nivel de progesterona. En esto está implícita la suposición de que una verdadera EOD alta no puede producirse si la progesterona es alta.

La duración de la fase luteal es acumulada por el tiempo desde la ejecución previa, si $LevelR$ es mayor que $LThreshR$. El riesgo de un quiste lúteo ($RiskLutR$) se calcula basándose en la duración de la fase luteal actual con relación a la esperada de $CyclenR$. $RLutLagR$ es una constante para la duración media de la fase folicular. El descubrimiento de que la placenta retenida predispone a quistes lúteos debe incorporarse como multiplicador. En la fase luteal, se calculan los días hasta la siguiente muestra ($DNSR$) a partir de $Cyclen$ y de la pendiente de progesterona ($SlopeR$), de modo que un mayor número de días desde el último estro y una pendiente más negativa disminuyen ambos los $DNSR$. Los días hasta la siguiente muestra disminuyen cuanto más largo es el intervalo desde el último estro. Si el sistema detecta una disminución en la progesterona, es decir, $SlopeR$ es negativa, entonces se reduce $DNSR$. Cuanto más negativa sea la pendiente, más corto es $DNSR$.

StatusR = 2, potencialmente preñada (figura 7d)

El cambio a $StatusR = 2$ puede activarse de 2 maneras: porque se ha detectado un estro, o porque se ha registrado una inseminación. El que el estado 2 sea una consecuencia de un estro detectado significa que se supone que la vaca está potencialmente preñada antes de cualquier información acerca de una inseminación. La razón de esto se relaciona previamente con la premisa subyacente de que la progesterona es una medición definitiva del estado reproductivo. En otras palabras, esta manera de iniciar el estado 2 asegura que todas las preñeces comienzan a partir de un estro. Sin embargo, se hace un poco complicado si la posterior ejecución del modelo se activa por una información distinta a un valor de progesterona, tal como la información EOD dentro del periodo de estro.

Hacer que el estado 2 dependa de la entrada de un registro de inseminación significa que se considera que la vaca está en el estado 1 hasta que se haya introducido el registro de inseminación, y esto hace que sea bastante importante la entrada de datos de inseminación precisos y con puntualidad. Requiere un procedimiento bastante insatisfactorio para comprobar la validez de la inseminación con respecto a los niveles de progesterona (que pueden estar desactualizados en el momento de la entrada de la inseminación artificial).

Cuando $StatusR = 2$, se calcula la probabilidad de que la vaca esté preñada ($LikePregR$) basándose en una inseminación artificial con puntualidad ($AITimeR$), en el nivel de progesterona medido después de la inseminación artificial ($LevTimeR$) y en cualquier determinación de preñez (PDR).

$AITimeR$ describe el efecto de una inseminación a destiempo con relación al estro, en el que unas inseminaciones demasiado tempranas o demasiado tardías hacen que sea menos probable la preñez. $LevTimeR$ usa los valores de progesterona y los días desde la inseminación artificial para indicar la probabilidad de que haya una preñez. Esto es un poco más complicado. Considérese un momento concreto después de la inseminación, por ejemplo 5 días; en este momento, un nivel de progesterona de 6 ng/ml se consideraría una buena señal de que que la preñez no ha fracasado. Sin embargo, a los 21 días después de la inseminación, 6 ng/ml se consideraría un signo potente de que la preñez está fracasando. Por tanto, es necesario que la relación entre el nivel de progesterona y la probabilidad de preñez sea una función de los días desde la inseminación.

Tal como se mencionó anteriormente, hacer que el cambio al estado 2 sea una función de la detección del estro significa que puede calcularse una probabilidad de preñez antes de introducir los datos de inseminación. Esto provoca que el modelo revierta al estado 1. En el caso en que la ejecución haya sido provocada por una nueva muestra de progesterona, este resultado es correcto, porque la siguiente muestra de progesterona se establece para aproximadamente 5 días después del comienzo del estro, en cuyo momento si no ha habido inseminación entonces

la vaca no está preñada. Sin embargo, si la ejecución ha sido provocada por algo distinto a la progesterona, por ejemplo, un valor de EOD, entonces no hay motivos para juzgar que la vaca no esté preñada. Para encargarse de esto se usa una variable denominada WaitR, que se establece inicialmente para que sea la fecha en que se vaya a tomar la siguiente muestra de progesterona después de haberse declarado el estro. En el estado 2, si el RunTime actual es menor que WaitR, entonces el modelo no realiza los cálculos del estado 2. WaitR es modificado por la entrada de una inseminación, de modo que los cálculos del estado 2 no se realizarán hasta probablemente 5 días después de la inseminación.

También se incluye la determinación de la preñez (PDR) en el cálculo de la probabilidad de preñez. A primera vista parece que una PDR positiva es más valiosa pero, para la probabilidad de preñez, realmente son las PDR negativas las que son interesantes, es decir, la vaca no está preñada. La entrada de PDR es 0,1 para no preñada, 0,5 para un resultado incierto, y 1 para definitivamente preñada. La PDR por defecto puede ser 1, y se supone que la vaca está preñada en ausencia de cualquier información contraria. Por tanto, si se introduce una PDR = 0,1, probablemente provoque que la probabilidad de preñez sea tan baja que haga que la vaca revierta al estado 1. En otras palabras, la entrada de PDR permite al granjero cambiar el estado de la vaca de nuevo a un ciclo si tiene pruebas satisfactorias de que la vaca no está preñada.

Cuando se ha calculado la probabilidad de preñez (LikePregR), esta se utiliza para decidir si la vaca debe permanecer en el estado 2 o debe revertir al estado 1. Si LikePregR es menor que un umbral concreto (PThreshR), entonces se supone que la vaca no está preñada y el modelo vuelve al estado 1 dentro de la ejecución actual del modelo. Esto se realiza a tiempo real, porque en el momento en que por primera vez puede clasificarse definitivamente a la vaca como no preñada (aproximadamente 21 días después de la inseminación), la vaca puede estar mostrando ya su siguiente estro.

Si se considera que la vaca sigue estando potencialmente preñada (StatusR = 2), entonces se calcula el número de días hasta la siguiente muestra (DNSR).

Listado de entradas y de salidas

25 Entradas sugeridas

Parámetro	Comentario
CowID	ID exclusiva, no se permiten duplicados
RunTimeR	El momento actual en que se activa el modelo. Introducir aquí la cuestión de sincronía de relojes.
ProgTimeR	Fecha y momento de la última muestra de progesterona
LevelR	Concentración de progesterona - salida suavizada de SSM
SlopeR	Tasa de cambio en la progesterona - salida suavizada de SSM
IntR	Intervalo de tiempo entre la última muestra de progesterona y la muestra previa - no siempre es necesario porque se mantiene a LastRunR como recurrente.
EODtimeR	Fecha y momento de una detección del estro externa
EODinR	Probabilidad de estro basada en una detección del estro externa - un valor entre 0 y 1
EODtypeR	El tipo de sistema de EOD usado. Controla la precisión de EODR y EODtimeR.
PrecMultR	Multiplicador de precisión para la reproducción
DFC	Días desde la parición - debe validarse frente a preñez anterior y registros de inseminación artificial
Breed	Código para diferentes razas que incluye "otras"
Parity	1, 2 ó 3+
ProbTypeR	Código para el tipo de problema reproductivo
ProbDateR	Fecha de la primera identificación
ProbSevR	Código para la gravedad del problema: suave = 0,3, medio = 0,6, grave = 0,9
ProbCertR	Código para la certeza del diagnóstico: posible = 0,3, probable = 0,6, claro = 0,9
EnStat	Estado energético, salida de otro modelo

AldateR	Fecha de la última inseminación
PDdateR	Fecha de la última determinación de preñez
PDR	Código para el resultado de la determinación de la preñez: no preñada = 0,1, incierto = 0,5, preñada = 1,0

Salidas sugeridas para el usuario final

Parámetro	Usuario final	Comentario
DNSR	Merkur	Días hasta la siguiente toma de muestras
DayOest1R	Capataz del rebaño	Necesario para las estadísticas del rebaño
ProAnRiskR	Cuidador de la vaca	Riesgo de anestro prolongado (a nivel de vaca)
Oestrus	Cuidador de la vaca	Indica las vacas en estro
Inseminate	Cuidador de la vaca	Momento óptimo sugerido para la inseminación artificial (si hay estro)
UkeAISuccR	Cuidador de la vaca	Probabilidad estimada de éxito de la inseminación artificial
RiskLutR	Cuidador de la vaca	Riesgo de quistes lúteos
RiskFoIR	Cuidador de la vaca	Riesgo de quistes foliculares
LikePregR	Cuidador de la vaca	Probabilidad de preñez (si ha habido inseminación artificial)
NotPregFlagR	Cuidador de la vaca	Marcador cambia al estado 1 si más de 30 días después de la inseminación artificial
Max(OestN)	Capataz del rebaño	
especificación de necesidades	Creadores	

Aplicación de la presente invención para la determinación del estado de la urea y de las proteínas

5 El estado de la urea y de las proteínas puede detectarse, en animales, tal como se muestra en la figura 8. La información proporcionada por la urea de la leche puede ser difícil de interpretar sin considerar simultáneamente el estado energético y tener la información de la formulación del alimento. La disponibilidad de esta información permitirá la alimentación individual del animal.

10 Además, tal como se ilustra en la figura 8, el modelo *biológico* para la urea es muy sencillo. La razón de esto es que no puede haber una interpretación biológica muy profunda de los datos de urea a menos que exista una evaluación asociada del estado energético. Además, unos niveles anómalos de la urea de la leche pueden ser debidos a problemas en el equilibrio de la fuente de proteínas del alimento (calidad de las proteínas) y desequilibrios en la proporción de proteína a energía.

15 El objetivo del modelo de urea presentado en la presente es permitir el control de los niveles de urea de la leche a nivel de grupo (también es posible el control a nivel individual). Se espera que esto sea útil con relación a la calidad de la leche y a los requisitos reguladores de la contaminación ambiental. El modelo consiste en un componente biométrico para obtener valores suavizados de la urea de vacas individuales a partir de los cuales se obtiene la media del grupo.

Nota: todos los nombres de parámetros del modelo de urea terminan con una U mayúscula (por urea), y si se elimina la terminación "U" deberían poder ser legibles (hasta cierto punto) en su acepción inglesa.

Definición del grupo

20 Esto debería provenir del sistema de gestión del rebaño, es decir, es una entrada del granjero. El granjero debe introducir el "grupo físico" pertinente para cada vaca. El "grupo físico" puede ser uno o más de:

Localización física: el establo o la subdivisión del establo en que esté localizada la vaca.

Grupo de ordeño: habitualmente será el mismo que la localización física.

Grupo de alimentación: puede que no sea el mismo que la localización física si están presentes sistemas de distribución de alimento avanzados.

También se prevé que sería posible presentar resultados según el “grupo biológico”, es decir, agrupaciones basadas en la raza, la paridad y la etapa de lactancia.

5 Presentación del umbral de urea

A partir de la información del grupo biológico y de la información de la bibliografía, puede incluirse en el modelo un nivel de urea óptimo por defecto para cada grupo biológico, a partir del cual se generarán unos niveles superior e inferior de urea recomendados por defecto para su uso como niveles de referencia. Estos deberían ser modificables por el usuario para tomar en cuenta las condiciones locales, tales como el tipo de alimentación y los requisitos reguladores.

10 Activación de una ejecución del modelo y gestión de la frecuencia de toma de muestras

Los días hasta la siguiente muestra están directamente bajo el control del usuario a través de la entrada de grado de seguimiento. Además, el usuario también debe especificar qué proporción de cada uno de los grupos requiere o necesita ser muestreada. De esta manera es posible adaptar la precisión de las mediciones de urea para que se correspondan con el interés en los niveles de urea de la leche.

15 Presentación de los resultados de urea del grupo

El usuario final debe ser capaz de ver el avance de los niveles de urea del grupo con relación a la fecha del calendario y a los días desde la parición (DFC). Por tanto, debe realizarse el cálculo de la media (AvgLevelU) y de la desviación estándar (StdLevelU) del nivel de urea para cada DFC o cada fecha del calendario. También resultaría útil caracterizar qué tipo de vaca, es decir, grupo biológico, es dominante en las colas de distribución de los niveles de urea. Esto también requerirá que las vacas elegidas para la toma de muestras de urea estén distribuidas uniformemente a través de los grupos biológicos pertinentes.

20 **Listado de entradas y de salidas**

Entradas sugeridas

Parámetro	Comentario
CowID	ID exclusiva, no se permiten duplicados
UreaTimeU	Fecha y momento de la última muestra de urea
LevelU	Concentración de urea - salida suavizada de SSM
PrecMultU	nº de muestra/grupo
DNSU	Grado de seguimiento
Group	Definición física del grupo
DFC	Días desde la parición - debe validarse frente a preñez anterior y registros de inseminación artificial
Breed	Código para diferentes razas que incluye “otras”
Parity	1, 2 ó 3+
UpThreshU	Nivel superior de urea recomendado
LoThreshU	Nivel inferior de urea recomendado

25 Salidas recomendadas para el usuario final

Parámetro	Comentario
GroupTime	Los días desde la parición, o la fecha del calendario, con los cuales se relaciona la urea media, etc.
AvgLevelU	Media de urea del grupo
StdLevelU	Desviación estándar de la urea del grupo

Aplicación de la presente invención para la determinación de la grasa de la leche, las proteínas de la leche y el estado energético

5 Puede detectarse la grasa de la leche, las proteínas de la leche y el estado energético en animales, tal como se muestra en la figura 9. El estado energético se define como la magnitud de la movilización de lípidos corporales (energía) que es mayor que la movilización que es totalmente natural para una vaca en una situación no comprometedora. Esto se representa en la gráfica, la ecuación del estado energético, que se corresponde con los componentes sombreados de la gráfica. Se anticipa que la tasa de movilización energética no comprometedora puede derivarse, con una precisión razonable, de la información acerca del genotipo, la paridad y los días desde la parición. Sin embargo, poder medir la pérdida corporal total (dBL/dt) a tiempo real es un panorama desalentador. La proporción de grasa:proteínas de la leche proporciona un indicador, en especial cuando se utiliza junto con las mediciones de urea.

Puede establecerse un modelo alternativo para la grasa y las proteínas de la leche.

15 El coste por muestra para medir un parámetro normalmente es relativamente alto, y por tanto los modelos descritos debe ser capaces de ser ejecutados de una manera estable cuando la frecuencia de toma de muestras es muy baja. A bajas frecuencias, la actuación del modelo de espacio de estados puede reducirse sustancialmente. Por tanto, el número de parámetros y de parámetros externos incluidos en el modelo puede ser variable y dependerá, por ejemplo, de los requisitos nacionales con respecto a la precisión de la medición.

20 Los modelos no limitantes descritos sobre cómo detectar un parámetro seleccionado no deberían limitarse a los modelos descritos, puesto que para los expertos en la técnica resulta obvia la manera de modificar y optimizar los modelos. Además, el alcance de la presente invención no está limitado a los parámetros (BHB, indicador de mastitis (por ejemplo, LDH o NAGasa), progesterona, urea, estado de las proteínas, grasa de la leche, proteínas de la leche y estado energético) que también se han explicado anteriormente.

Ejemplos

25 Para ilustrar la metodología, se generaron datos $\{y_t\}_{t=1,\dots,50}$ según el modelo de crecimiento lineal con excepciones, condicionadas por $M_t(j)$, suministrados por la ecuación de observación: $Y_t = F_t \theta_t + v_t$, con $F_t = (1 \ 0)$ y $\theta_t = (\mu_t \ \beta_t)^T$; las ecuaciones de sistema $\mu_t = \mu_{t-1} + \beta_t + \varepsilon_{\mu t}$, y $\beta_t = \beta_{t-1} + \varepsilon_{\beta t}$, con $v_t | M_t(j) \sim N(0, V(j))$, $\varepsilon_{\mu t} | M_t(j) \sim N(0, E_{\mu}(j))$ y $\varepsilon_{\beta t} | M_t(j) \sim N(0, E_{\beta}(j))$, $j = 1, \dots, 4$ y $t = 1, \dots, 50$, suponiendo que son mutuamente independientes.

30 En la figura 3, el diagrama A muestra los datos simulados, el diagrama B muestra las posteriores probabilidades de los 4 modelos diferentes en el momento $t = 1, \dots, 50$, y los diagramas C y D muestran las probabilidades suavizadas en uno y dos pasos atrás de los 4 modelos diferentes en el momento $t = 1, \dots, 49$, y el momento $t = 1, \dots, 48$, respectivamente.

$$\theta_t = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \theta_{t-1} + w_t \quad \text{con} \quad w_t | M_t(j) \sim N_2(0, W_t(j)), \quad W_t(j) = \begin{pmatrix} E_{\mu}(j) + E_{\beta}(j) & E_{\mu}(j) \\ E_{\mu}(j) & E_{\mu}(j) \end{pmatrix}$$

35 Los valores de los diferentes parámetros se ofrecen en la tabla 1. θ_0 se ajustó arbitrariamente a $(4 \ 0)^T$, y todos los datos se simularon a partir del modelo 1 (estado estacionario) excepto por un cambio en el nivel en el momento 10, un cambio en la pendiente en el momento 25, y un valor atípico en el momento 40. Se emplearon los parámetros de la tabla 1 en el análisis, y se supuso (de manera arbitraria) que la información inicial era

$$\theta_0 \sim N_2 \left(\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 20 & 0 \\ 0 & 10 \end{pmatrix} \right)$$

Tabla 1. Parámetros utilizados para analizar los datos simulados

Modelo j	Nombre	$\pi_0(j)$	$V(j)$	$E_{\mu}(j)$	$E_{\beta}(j)$
1	estado estacionario	0,92	1,0	0,0	0,0
2	cambio en el nivel	0,02	1,0	20,0	0,0
3	cambio en la pendiente	0,02	1,0	0,0	10,0
4	valor atípico	0,02	50,0	0,0	0,0

Los datos estimados se muestran en la figura 3A. Las posteriores probabilidades (figura 3B) del modelo de valor

5 atípico son muy altas en los momentos 10, 25 y 40, es decir, se detectan unos cambios abruptos (pero no la naturaleza verdadera de los cambios). El valor atípico se destaca (sin detecciones de falsos positivos de los valores atípicos) a partir de las probabilidades suavizadas en un paso atrás (figura 3C). Por último, a partir de las probabilidades suavizadas en dos pasos atrás (figura 3D) se obtienen las altas probabilidades de los modelos utilizados en la simulación en todos los momentos del tiempo.

Por tanto se proporciona la formación de modelos y el control de series de tiempo biológicas sometidas a valores atípicos y cambios en las variables latentes subyacentes presentados en Smith y West (1983). Smith y West utilizan el método de manera satisfactoria para proporcionar las probabilidades en línea de cambios graves en la función renal en pacientes individuales que han recibido transplantes recientemente.

10 Sin embargo, se ha descubierto que el método resulta pertinente en la agricultura. Por ejemplo, basándose en las mediciones regulares de ln(recuento de células somáticas) u otros indicadores de la mastitis, es posible proporcionar probabilidades de la mastitis y detectar la mastitis de manera más temprana y con más fiabilidad que con otros métodos, debido a la flexibilidad de los modelos. En aplicaciones de modelos con mezcla de distribuciones de clase II multiproceso, se han descubierto parámetros a partir de ensayos empíricos con el sistema (véase, por ejemplo, 15 Smith y West (1983), y Thyssen (1992)). Además, puede incorporarse la información de familiares a los modelos con mezcla de distribuciones, y puede integrarse la estimación del valor de raza.

Aunque en el anterior análisis se han mencionado a las vacas como ejemplo de animales, debe entenderse que los principios y características analizados se aplican igualmente bien a otros animales, en especial domésticos, incluyendo ovejas, cabras, búfalos, camellos, cerdos, caballos y pollos.

20 **Referencias bibliográficas**

Harrison, P.J., Stevens C.F. (1976), J. of the Stat. Soc. Ser. B, 38, 205-247.

Smith A.F.M., West M. (1983), Biometrics 39, 867-878.

Thyssen 1. (1993), Acta Agric. Scand. Sect. A., Animal Sci., 43, 58-64.

Documento US 6.405.672.

25 R. M. de Mol (2000), "Automated detection of oestrus and mastitis in dairy cows".

REIVINDICACIONES

- 1.- Un sistema para observar y predecir un estado fisiológico de un animal, comprendiendo dicho sistema:
- un ordenador que comprende un procesador y que está conectado operativamente a una base de datos,
 - al menos un dispositivo de suministro de muestras para proporcionar de manera repetitiva al menos una muestra de un fluido corporal del animal,
 - un aparato de análisis para analizar dicha al menos una muestra para obtener al menos un valor de muestra de al menos un parámetro del fluido corporal,
 - una interfase de datos para introducir de manera repetitiva el valor de muestra de dicho al menos un parámetro en la base de datos,
- en el que la base de datos está adaptada para almacenar múltiples entradas de la base de datos que representan el valor de muestra de dicho al menos un parámetro en diversos momentos, y en el que el procesador está programado para:
- realizar al menos un análisis matemático de dicho al menos un valor de muestra, y
 - seleccionar, basándose en dicho al menos un análisis matemático, el momento para proporcionar una posterior muestra y realizar un posterior análisis de dicha posterior muestra para al menos uno de los parámetros.
- 2.- Un sistema según la reivindicación 1, en el que el análisis matemático es un análisis estadístico.
- 3.- Un sistema según la reivindicación 2, en el que el análisis estadístico es un análisis univariable de las entradas de la base de datos para obtener un primer conjunto de datos que representa los valores de muestra esperados de al menos uno de los parámetros en momentos futuros.
- 4.- Un sistema según cualquiera de las reivindicaciones 2 ó 3, en el que el análisis estadístico es un análisis de múltiples variables de las entradas de la base de datos para producir un segundo conjunto de datos derivado del análisis combinado de los valores de muestra de al menos dos parámetros.
- 5.- Un sistema según la reivindicación 4, en el que el primer y el segundo conjunto de datos se combinan para obtener un tercer conjunto de datos representativo del estado fisiológico del animal.
- 6.- Un sistema según la reivindicación 5, en el que el primer, el segundo y el tercer conjunto de datos obtenidos se almacenan en la base de datos.
- 7.- Un sistema según las reivindicaciones 3-6, en el que el procesador se programa para que realice un análisis univariable empleando al menos un modelo de espacio de estados (SSM).
- 8.- Un sistema según las reivindicaciones 4-7, en el que el procesador se programa para que realice un análisis de proyección de múltiples variables, tal como un análisis de componentes principales (PCA).
- 9.- Un sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha al menos una muestra de un fluido corporal comprende al menos una muestra de leche cruda, y en el que el dispositivo que suministra dicha al menos una muestra se dispone para proporcionar la muestra de leche cruda.
- 10.- Un sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el aparato de análisis se dispone para realizar un análisis espectroscópico, tal como un análisis cercano al espectro de infrarrojos o en medio del espectro de infrarrojos, de la muestra de fluido corporal.
- 11.- Un sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el aparato de análisis comprende dispositivos analíticos en soporte sólido.
- 12.- Un sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el aparato de análisis se dispone para determinar el valor o valores de muestra de al menos un parámetro seleccionado del grupo que consiste en LDH, NAGasa, progesterona, rendimiento lácteo, FPD y conductividad, grasa A, grasa B, proteínas, lactosa, urea, ácido cítrico, TS, SNF, y uno o más de los cuerpos cetónicos en dicha una o más muestras.
- 13.- Un sistema según cualquiera de las reivindicaciones 5-12, en el que la base de datos almacena al menos un conjunto de datos predeterminado que representa al menos un estado fisiológico del animal, y en el que el procesador se programa también para que compare el tercer conjunto de datos con dicho al menos un conjunto de

datos predeterminado.

14.- Un sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la base de datos comprende al menos un valor externo de al menos un parámetro externo.

5 15.- Un sistema según la reivindicación 14, en el que dicho al menos un parámetro externo se selecciona del grupo de parámetros que consiste en la edad del animal, la raza del animal, el peso del animal, la reproducción del animal, los detalles de la alimentación, la estación del año, la localización geográfica, y la identificación del rebaño de origen.

16.- Un sistema según cualquiera de las reivindicaciones 14 ó 15, en el que el procesador se programa también para que realice un análisis de datos de las entradas de la base de datos para obtener una indicación del estado fisiológico del animal, en el que el valor externo se incluye en el análisis de datos.

10 17.- Un método para observar y predecir un estado fisiológico de un animal, comprendiendo dicho método:

- proporcionar de manera repetitiva al menos una muestra de un fluido corporal del animal,

- analizar dicha al menos una muestra para obtener al menos un valor de muestra de al menos un parámetro del fluido corporal,

- introducir el valor de muestra de dicho al menos un parámetro en la base de datos de un sistema informático,

15 en el que la base de datos está cargada con múltiples entradas de la base de datos que representan el valor de muestra de dicho al menos un parámetro en diversos momentos, y:

- realizar al menos un análisis matemático de dicho al menos un valor de muestra, y

- seleccionar, basándose en dicho al menos un análisis matemático, el momento para proporcionar una posterior muestra y realizar un posterior análisis de dicha posterior muestra para al menos uno de los parámetros.

20 18.- Un método según la reivindicación 17, en el que el análisis matemático es un análisis estadístico.

19.- Un sistema según la reivindicación 18, en el que el análisis estadístico es un análisis univariable de las entradas de la base de datos para obtener un primer conjunto de datos que representa los valores de muestra esperados de al menos uno de los parámetros en momentos futuros.

25 20.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones 19 ó 19, en el que el análisis estadístico es un análisis de múltiples variables de las entradas de la base de datos para producir un segundo conjunto de datos derivado del análisis combinado de los valores de muestra de al menos dos parámetros.

21.- Un método según la reivindicación 20, en el que el primer y el segundo conjunto de datos se combinan para obtener un tercer conjunto de datos representativo del estado fisiológico del animal.

30 22.- Un método según la reivindicación 21, en el que el primer, el segundo y el tercer conjunto de datos obtenidos se almacenan en la base de datos.

23.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones 19-22, en el que el análisis univariable se realiza en al menos un modelo de espacio de estados (SSM).

24.- Un método según la reivindicación 23, en el que el modelo de espacio de estados proporciona probabilidades de cambio.

35 25.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones 17-24, en el que un modelo lineal dinámico se extiende a un modelo con mezcla de distribuciones de clase II multiproceso con un procedimiento de actualización recursivo.

26.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones 20-25, en el que el análisis de múltiples variables se realiza como un análisis de proyecciones de múltiples variables, tal como un análisis de componentes principales (PCA).

40 27.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones 20-26, en el que, en el análisis de múltiples variables, se seleccionan al menos dos conjuntos disjuntos de componentes principales.

28.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones 17-27, en el que dicha al menos una muestra de un fluido corporal comprende al menos una muestra de leche cruda, y en el que el dispositivo que suministra dicha al menos una muestra se dispone para proporcionar la muestra de leche cruda.

29.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones 17-28, que comprende, en la etapa de analizar dicha al menos una muestra, la realización de un análisis espectroscópico, tal como un análisis cercano al espectro de infrarrojos o en medio del espectro de infrarrojos, de la muestra de fluido corporal.

5 30.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones 20-29, en el que el sistema informático se programa para realizar el análisis de datos de múltiples variables utilizando un modelo de PLSR.

31.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones 17-30, en el que los valores de muestra históricos se agrupan en clases, y en el que las clases se analizan de modo individual mediante un análisis de componente principales.

10 32.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones 17-31, en el que el estado fisiológico se determina a partir de una comparación de un patrón en los valores de muestra y un patrón de valores de parámetros de referencia que es típico para un estado fisiológico predeterminado concreto.

33.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones 20-32, en el que se emplea un modelo matemático de la forma

$$X = T_a * P_a' + E$$

15 en el análisis de datos de múltiples variables, en el que X representa los matriz escalada o preprocesada de otra forma de los valores de muestra, T representa las variables latentes, P es el eigenvector de la matriz de correlación determinada como $X'X$, y E es una matriz residual que recoge el ruido aleatorio, y a indica una dimensión del modelo.

20 34.- Un método según la reivindicación 33, en el que los valores de muestra se muestrean en un patrón x_i , y en el que la proyección de x_i sobre cada uno de los modelos, t_i , se determina como $t_i = x_i * P$.

35.- Un método según la reivindicaciones 34, en el que:

- se determina un apalancamiento h, como la suma cuadrada de los elementos de t_i ,

- se determina un residual r, como la suma cuadrada de los elementos en un vector determinado como $x_i - t_i * P'$,

25 - las cantidades h y r se normalizan con sus respectivos niveles de significancia del 95% para el modelo matemático, y en el que

- x_i se elige para que pertenezca al modelo en cuestión si la longitud del vector (h,r) es menor que $\sqrt{2}$.

30 36.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones 17-35, en el que el valor o valores de muestra de al menos uno o más parámetros que se seleccionan del grupo que consiste en NAGasa, progesterona, rendimiento lácteo, FPD y conductividad, grasa A, grasa B, proteínas, lactosa, urea, ácido cítrico, TS, SNF, y uno o más de los cuerpos cetónicos, se determinan en el aparato de análisis.

37.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones 17-36, en el que las entradas de la base de datos comprenden además al menos un valor externo de al menos un parámetro externo, y en el que el análisis de los datos de múltiples variables emplea dicho al menos un valor externo.

35 38.- Un método según la reivindicación 37, en el que dicho al menos un parámetro externo comprende al menos uno de la edad del animal, la raza del animal, el peso del animal, la reproducción del animal, los detalles de la alimentación, la estación del año, la localización geográfica, y la identificación del rebaño de origen.

40 39.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones 17-38, en el que la base de datos almacena al menos un conjunto de datos predeterminado que representa al menos un estado fisiológico del animal, y en el que el procesador se programa también para que compare el tercer conjunto de datos con dicho al menos un conjunto de datos predeterminado.

40.- Un método según cualquiera de las reivindicaciones 37-39, en el que el método comprende también la etapa de realizar un análisis de datos de las entradas de la base de datos para obtener una indicación del estado fisiológico del animal, en el que el valor externo se incluye en el análisis de datos.

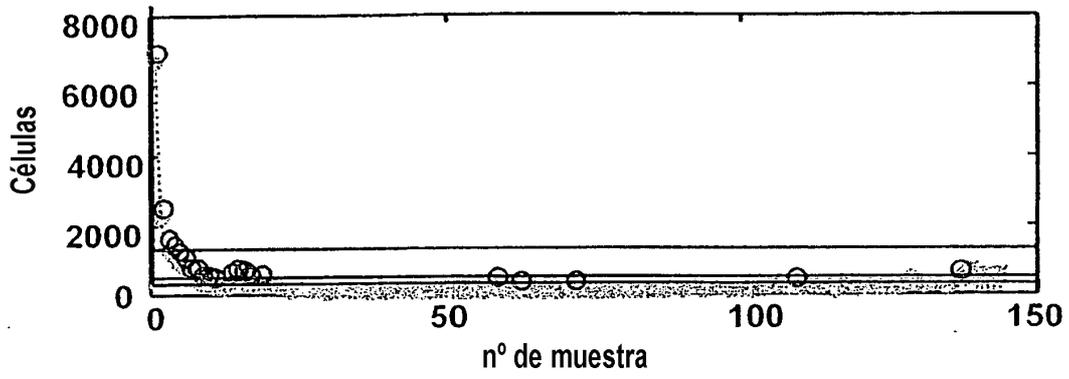


Fig. 1

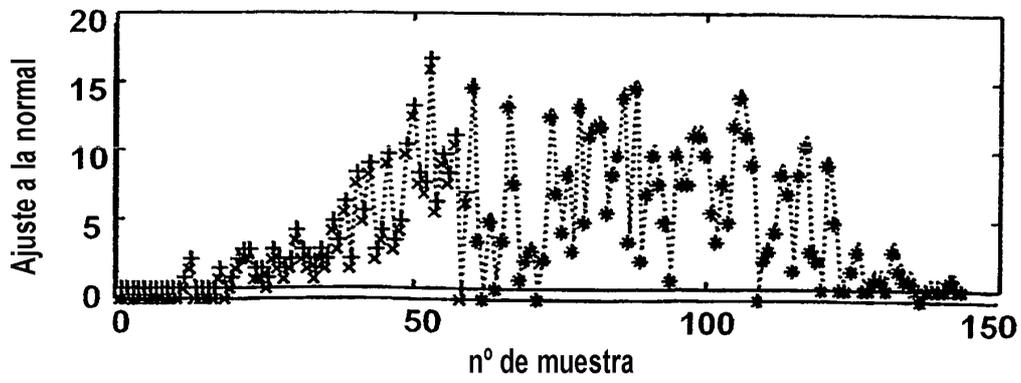


Fig. 2

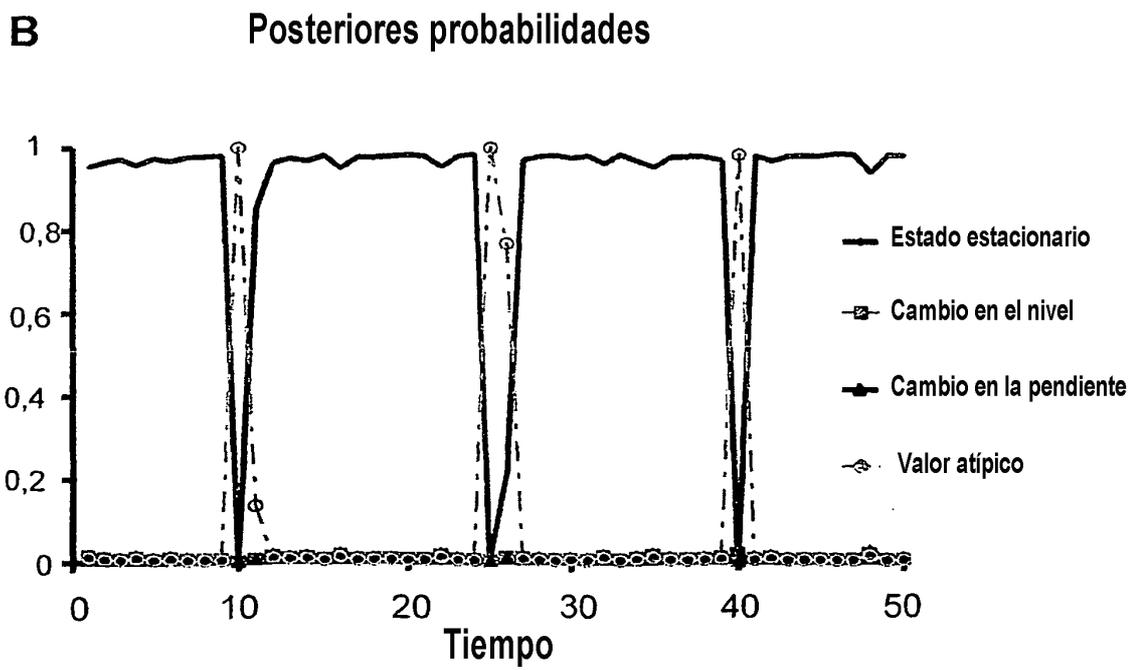
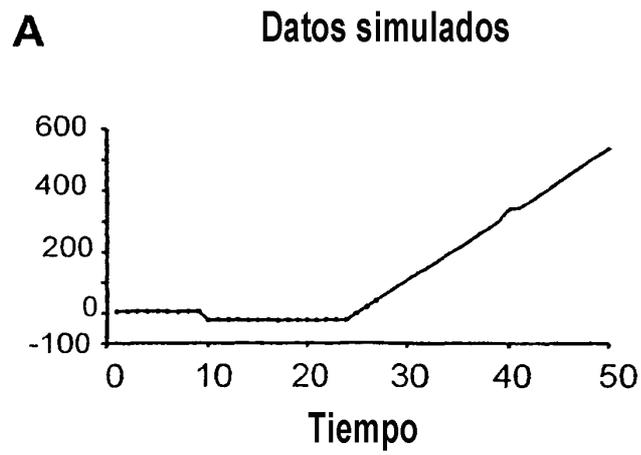
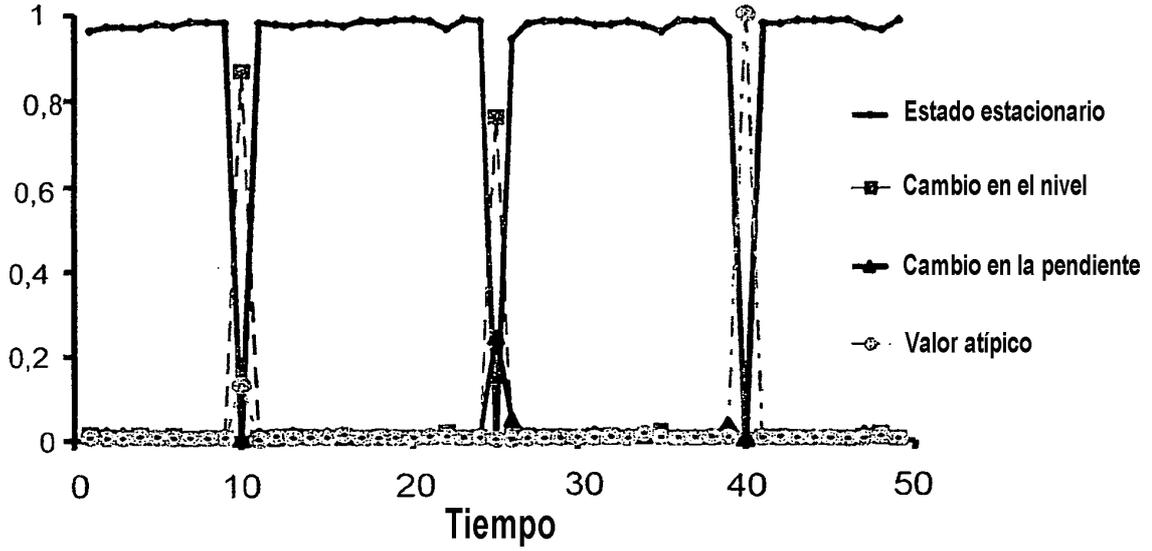


Fig. 3

C Probabilidades suavizadas de un paso atrás



D Probabilidades suavizadas de dos pasos atrás

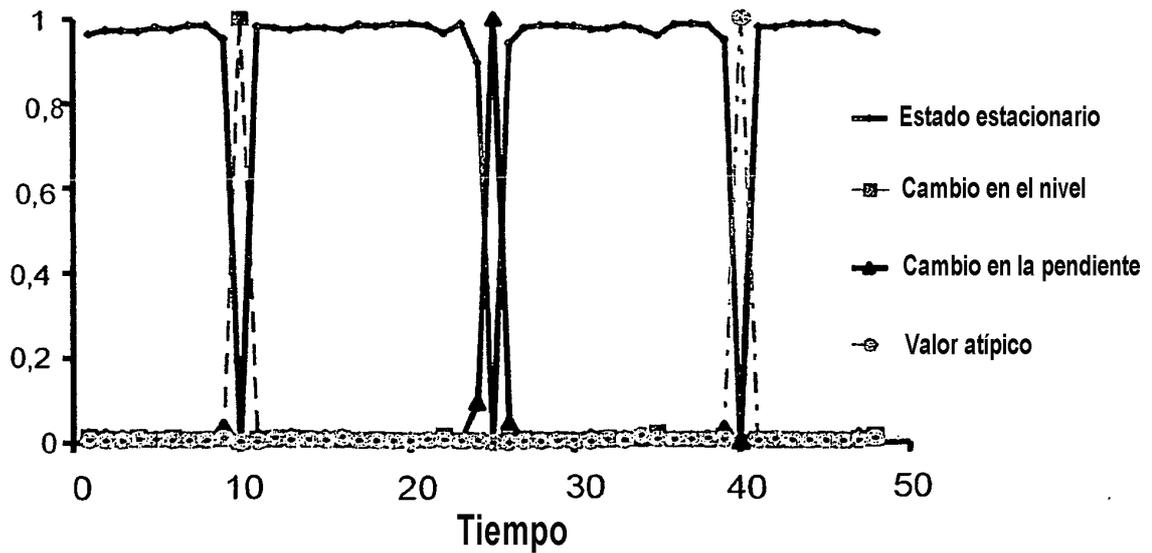


Fig. 3

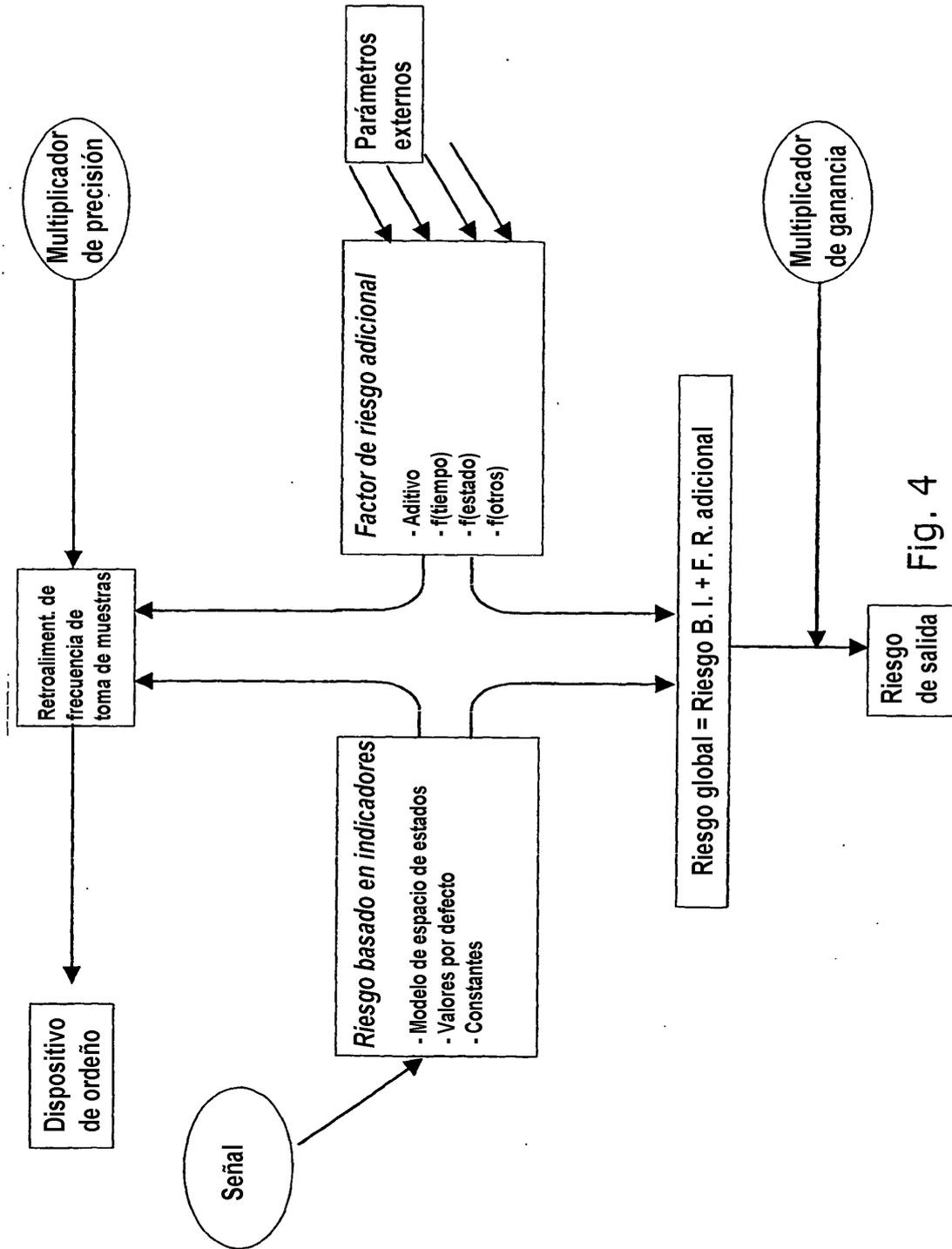


Fig. 4

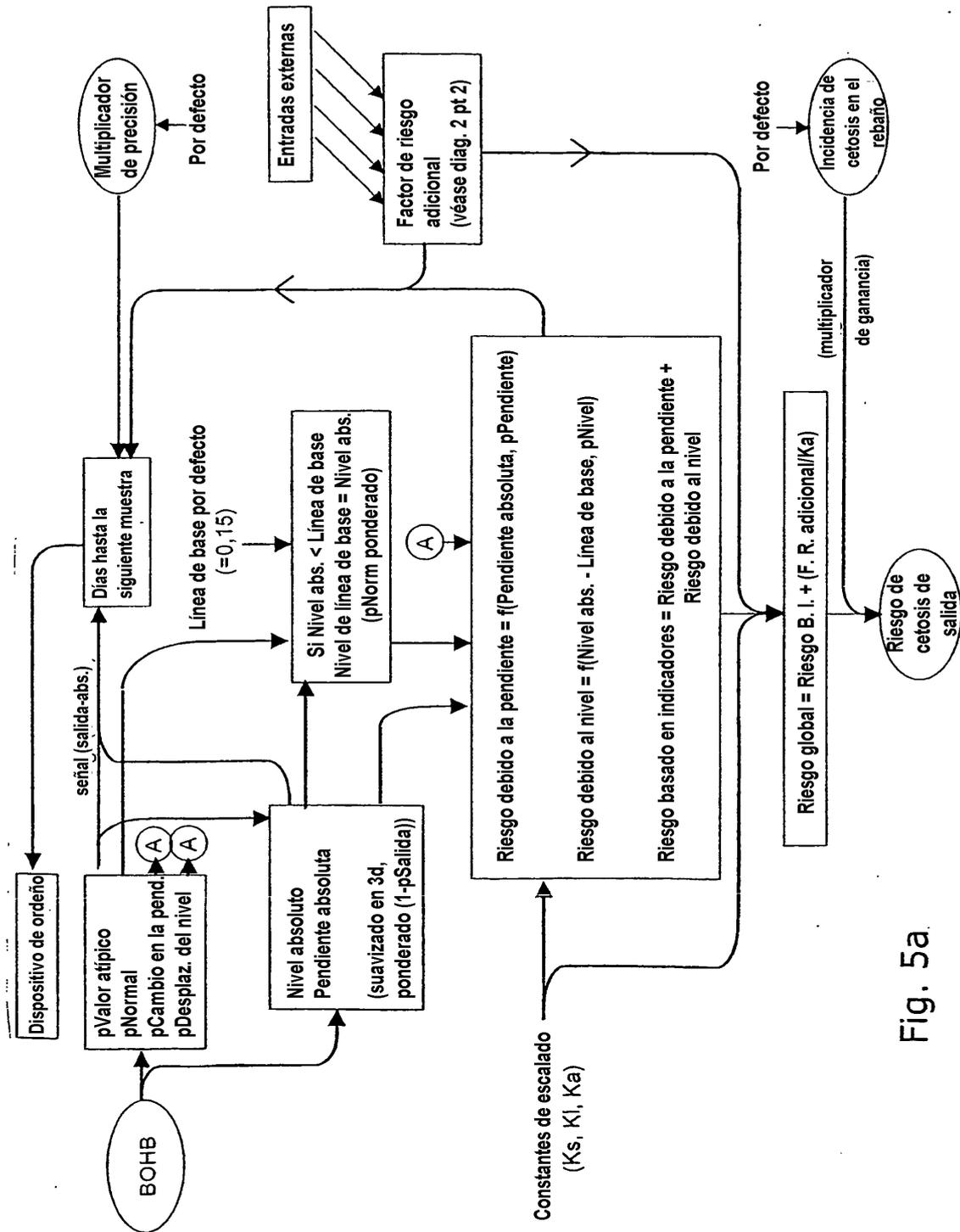


Fig. 5a.

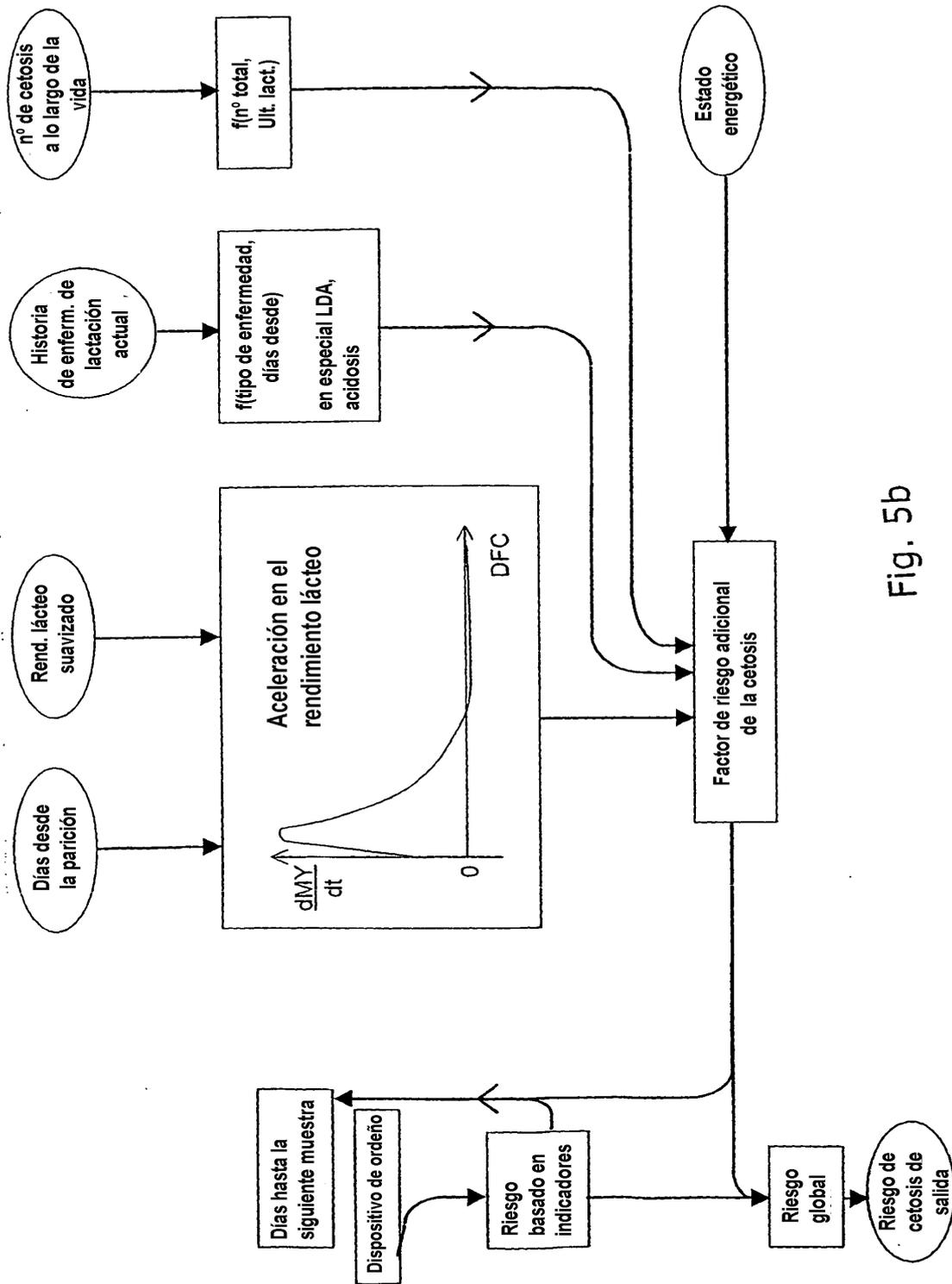


Fig. 5b

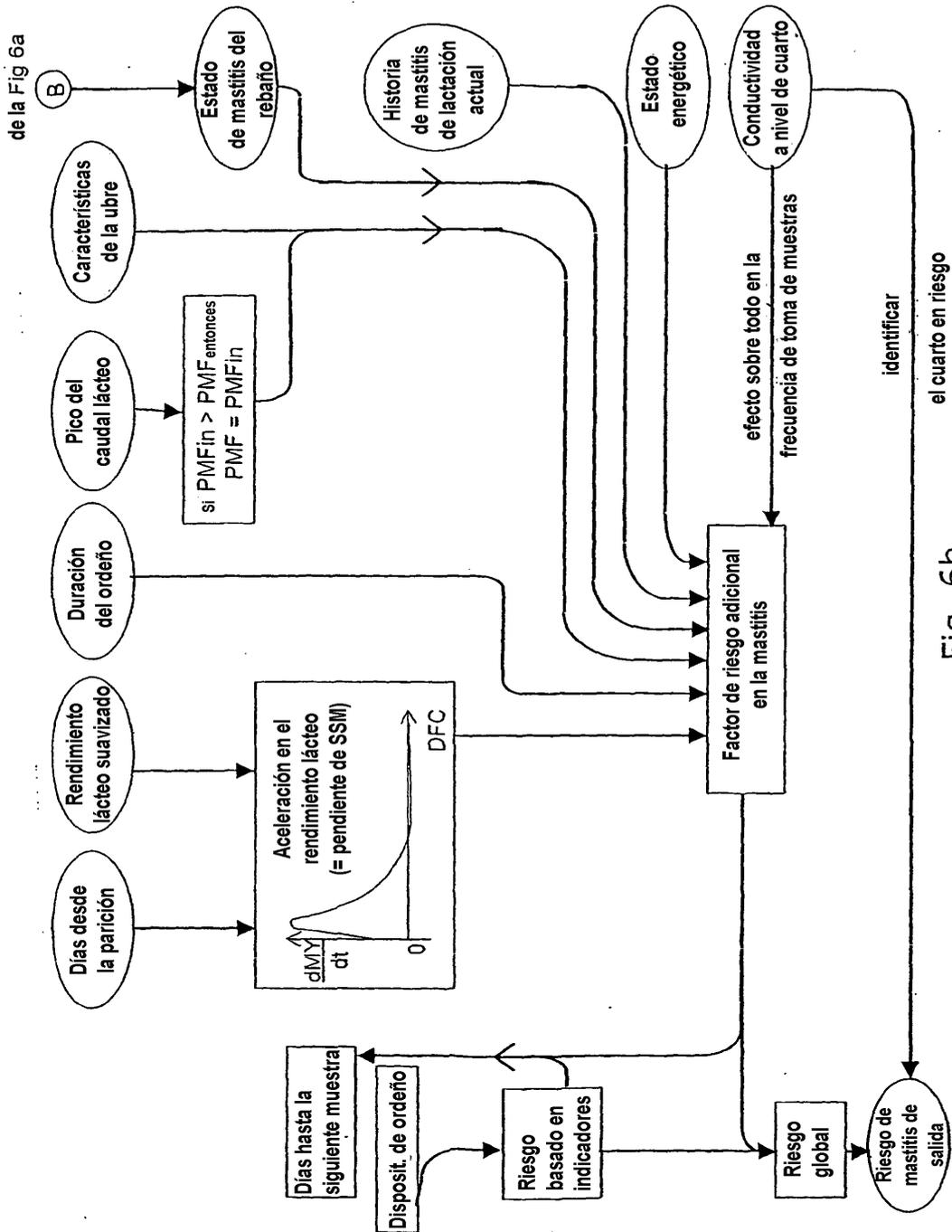


Fig. 6b

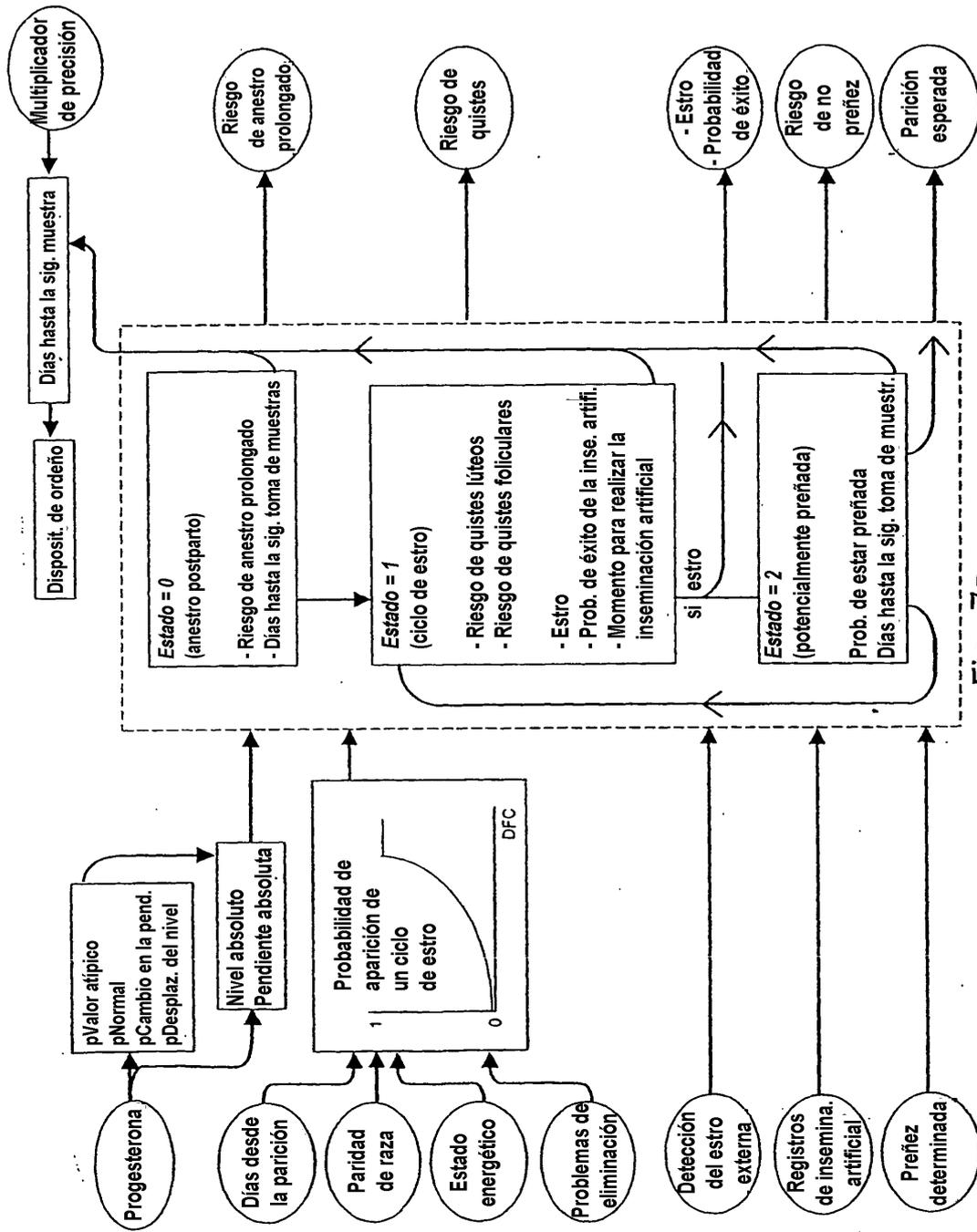
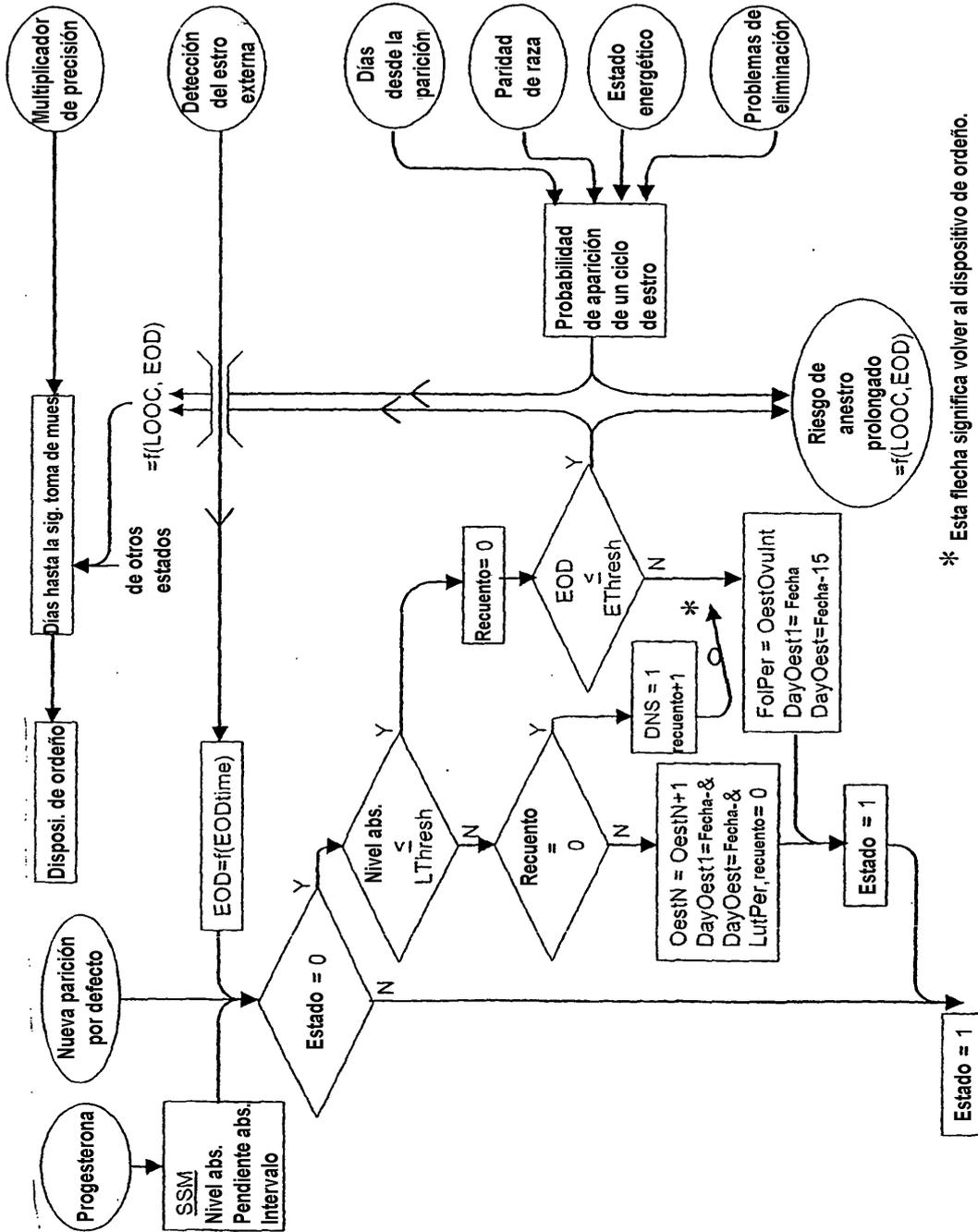


Fig. 7a



* Esta flecha significa volver al dispositivo de ordeño.

Fig. 7b

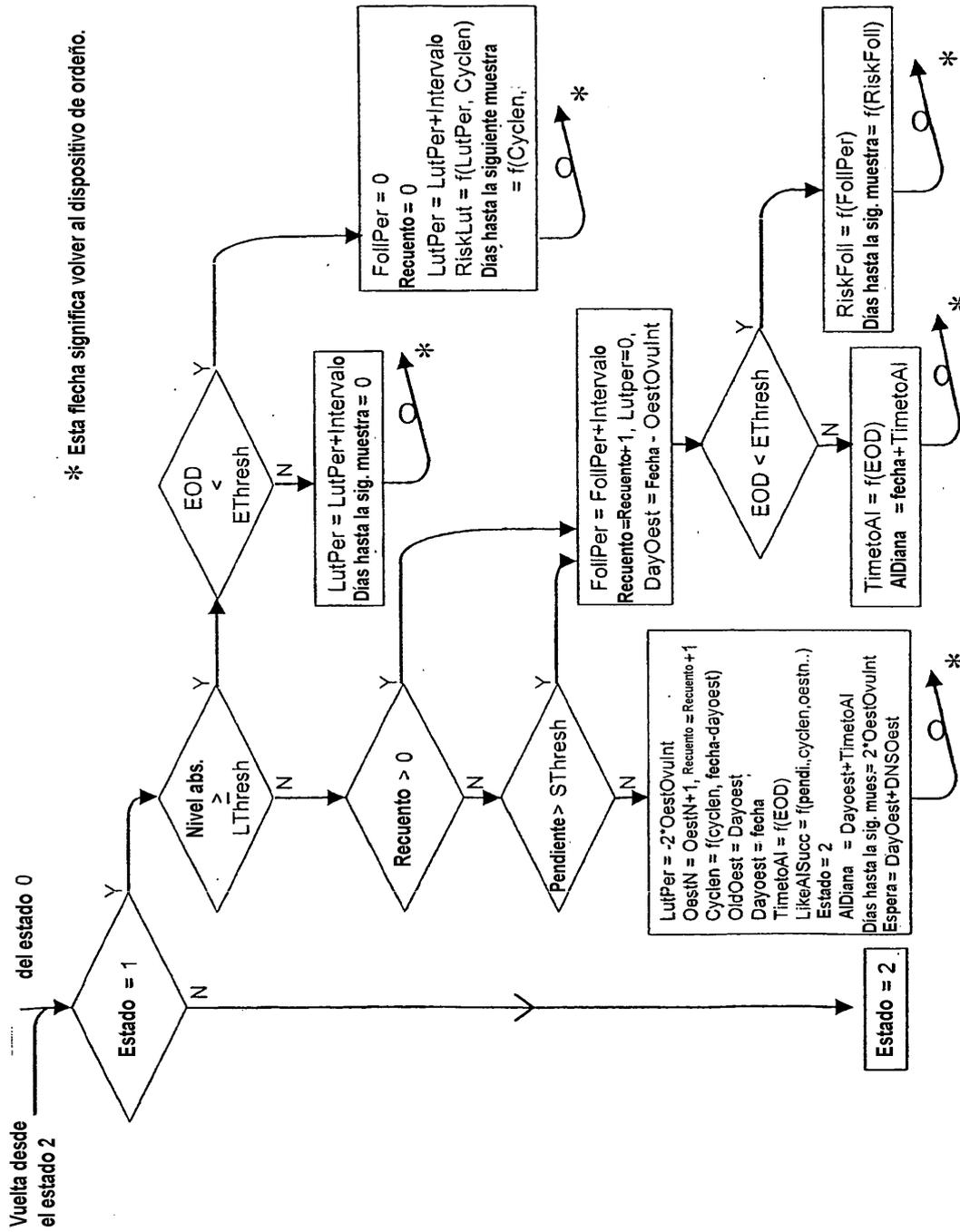
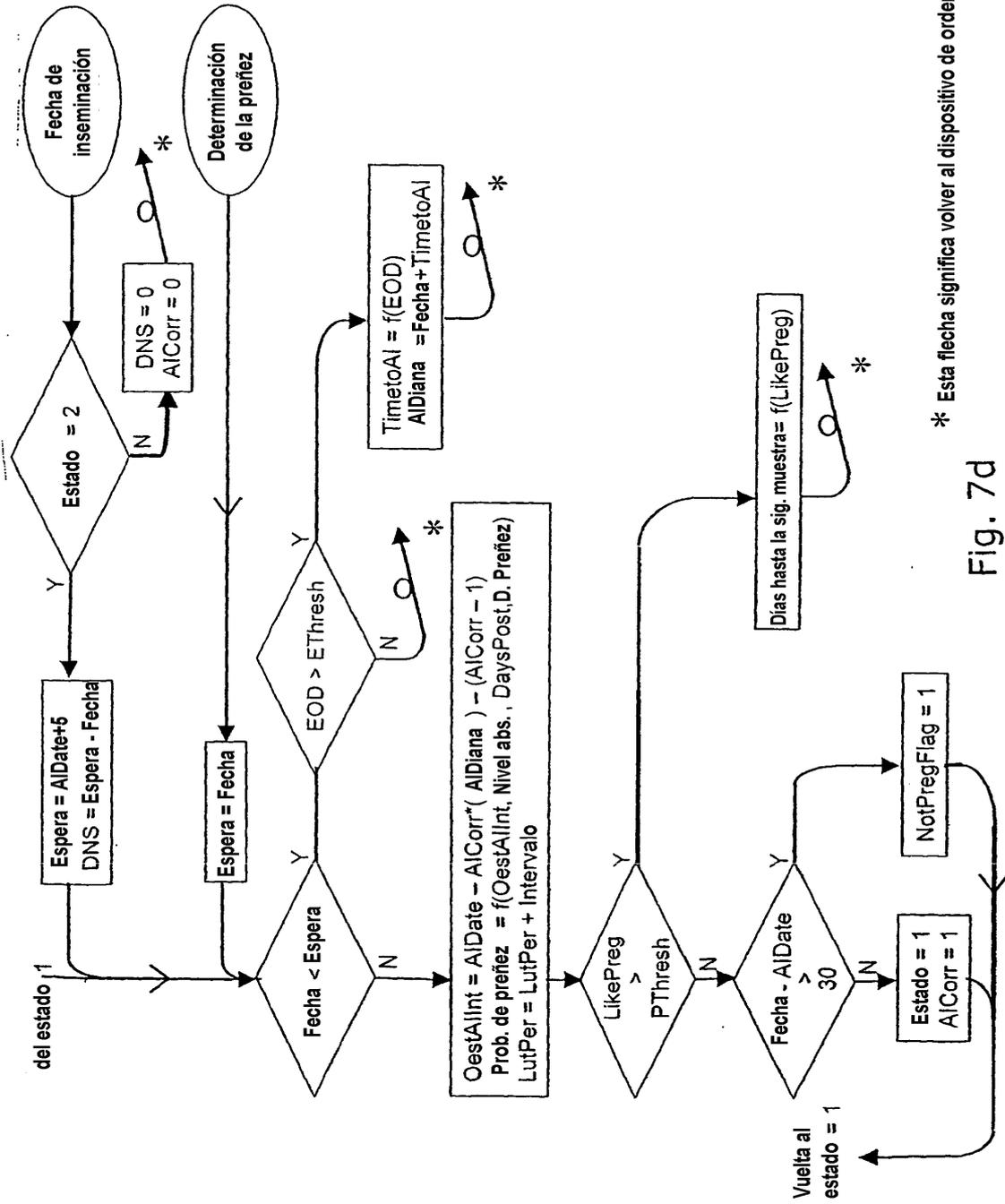


Fig. 7c



* Esta flecha significa volver al dispositivo de ordeno.

Fig. 7d

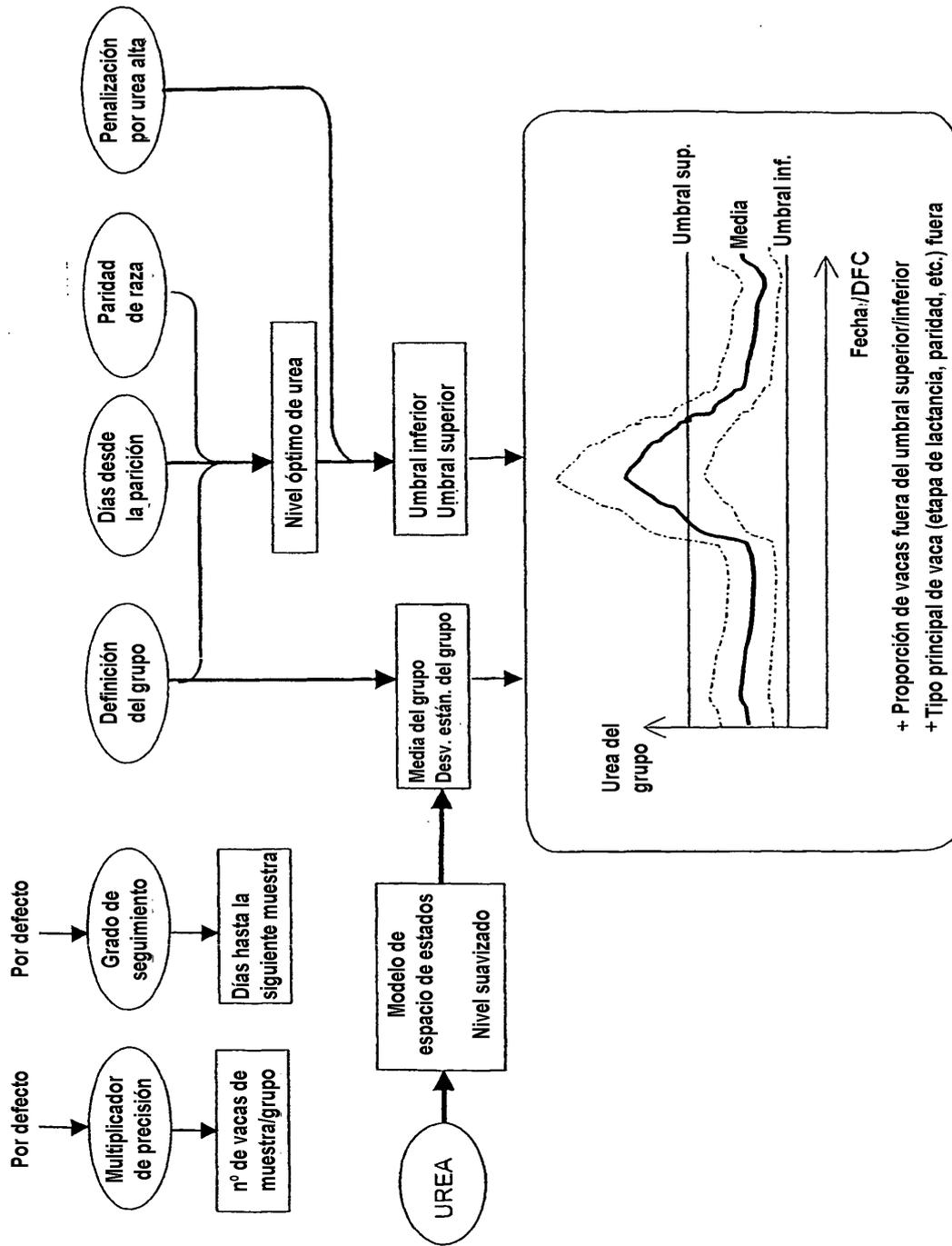


Fig. 8

+ Proporción de vacas fuera del umbral superior/inferior
 + Tipo principal de vaca (etapa de lactancia, paridad, etc.) fuera

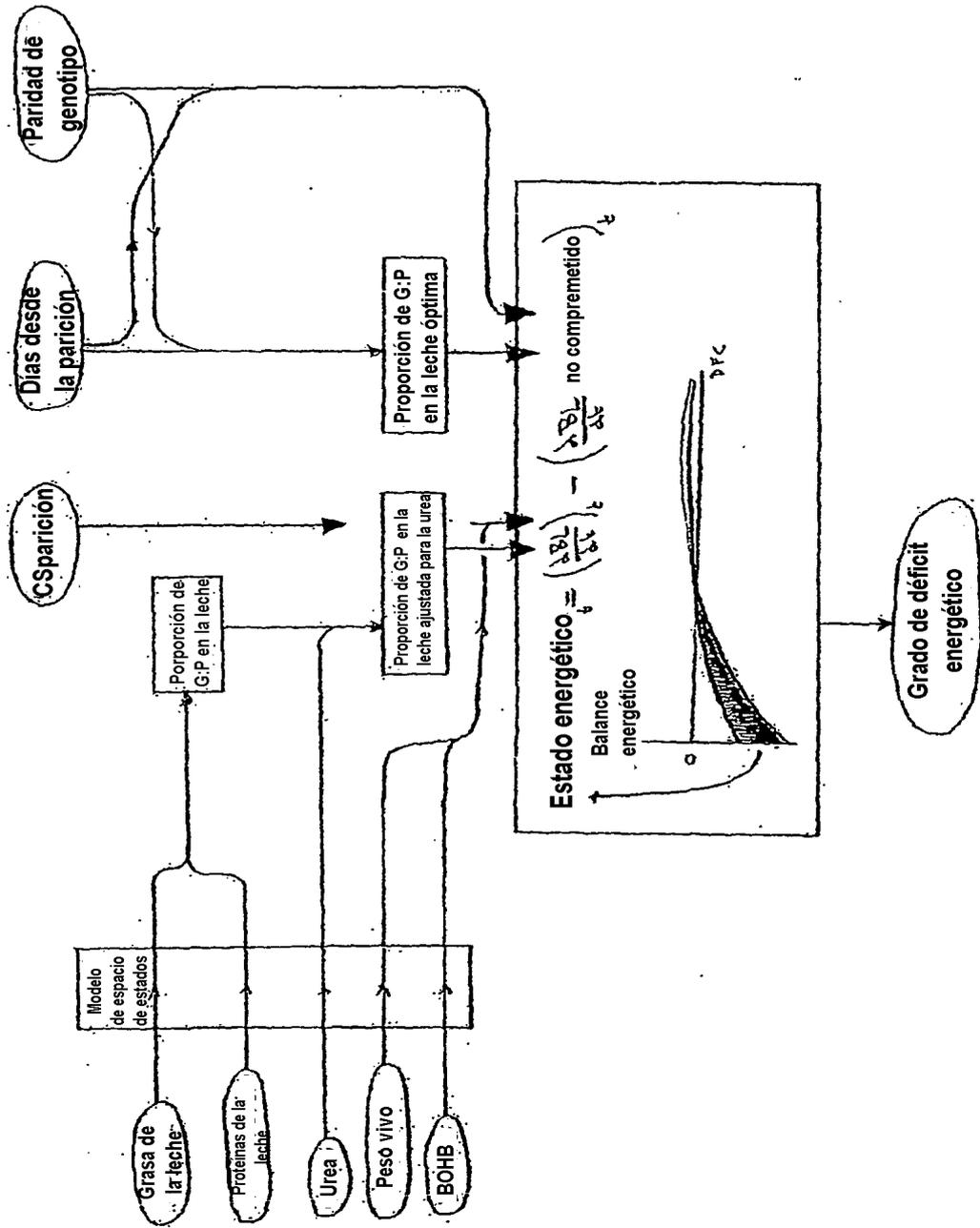


Fig. 9