

*Grup de remugants "Ramon Trias"*

# Racionamiento alimentario de terneros (crecimiento y/o engorde – finalización-)

*Basado en INRA-2018*

## PRINCIPIOS DEL RACIONAMIENTO

La aplicación *Racionamiento engorde\_crecimiento GR 2020* tiene la misma estructura que la aplicación de esta web, a la que hemos incorporado y, en muchos casos, rehecho las fórmulas o ecuaciones de las necesidades, y hemos preparado los cálculos de las iteraciones a las novedades INRA-2018.

Con el fin de no desvirtuar los conceptos, en este documento indicaremos las transcripciones del propio libro traducidas, y las pondremos en cursiva.

INRA-2018 dice que las etapas de la formulación de la ración son:

1. Prever las necesidades nutritivas y la CI de los animales según sus características
2. Determinar el valor alimenticio del conjunto de alimentos disponibles
3. Calcular las cantidades ingeridas de cada alimento de la ración y el valor nutritivo de la ración integrando los efectos de las interacciones digestivas
4. Prever las producciones de los animales
5. Integrar las diversas estrategias de alimentación - en pasto o en estabulación; *ad libitum* o no - y calcular la eficacia alimentaria diaria y los balances nutritivos.

El principio clave del racionamiento es la valorización del forraje, o de la ración forrajera, y que los concentrados complementen los aportes nutritivos de los forrajes. En todos los casos el objetivo es satisfacer la capacidad de ingestión.

Para los rumiantes en estabulación, si se distribuye un forraje o una mezcla de forrajes *ad libitum*, la ingestión total de MS queda maximizada aceptando un rechazo diario entre el 5 y 10% del suministro.

Si hay varios forrajes no mezclados es imposible prever la elección que el animal haga de cada uno de ellos, y en este caso se considera un solo forraje *ad libitum* y el resto se consideran en cantidades fijas y totalmente ingeridos. Y a la inversa, cuando se distribuyen mezclados se considera un solo forraje que tendrá un valor nutritivo igual a la media ponderada.

Para facilitar la comprensión ponemos el significado de las abreviaturas que empleamos, y que, en gran parte, son las del INRA ya que creemos mejor respetar la nomenclatura INRA.

---

## ABREVIATURAS Y SIGNIFICADO

AADI, aminoácidos digestibles en el intestino  
ADF, fibra ácido detergente  
AGD\_int, ácidos grasos digestibles en el intestino  
AmiD-int, almidón digestible en el intestino  
balPDI, balance proteico de una ración  
balUFL, balance energético de una ración  
BPR, balance proteico en el rumen  
bVEc, valor basal de *encombrement* concentrado  
CCpart, condición corporal al parto, de 0 a 5  
CI, capacidad de ingestión en UE  
dCs, digestibilidad enzimática pepsina-celulasa  
dE, digestibilidad energía  
dMO, digestibilidad de la materia orgánica  
dMO, digestibilidad de la MO  
dr\_N, digestibilidad real de las proteínas

DT\_N, degradabilidad de las proteínas en el rumen  
EB, energía sucia  
ED, energía digestible  
EE, extracto etéreo (materia grasa total)  
EfPDI, eficiencia o eficacia de uso de las proteínas en las funciones de producción  
EM, energía metabolizable  
Emitir, energía que se pierde en forma de metano  
ENL, energía neta leche  
ENmant y carne, energía neta carne  
Eorina, energía que se pierde por la orina  
FB, fibra bruta  
I\_Cigest, índice efecto gestación a la CI  
I\_Cilact, índice efecto lactación en la CI  
I\_Cimadurez, índice efecto edad (madurez) en la CI  
I\_CIPDI, índice específico contenido proteínas en la CI, basado en PDI/UFL  
Mg, materia grasa total en la leche  
MN alim\_intestino, es la proteína que proviene del alimento y no se ha degradado en el rumen  
MN endogena\_intestino, es la proteína endógena que llega al intestino  
MN microbiana\_intestino, es la proteína microbiana formada en el rumen que llega al intestino  
MNT, materia nitrogenada total o proteína bruta  
MOD, materia orgánica digestible  
MOF, materia orgánica fermentescible  
Mp, materia proteica total en la leche  
MS, materia seca  
MSVib, materia seca voluntariamente ingerida (vacuno)  
MSVII, materia seca voluntariamente ingerida (vacas leche)  
MSVIm, materia seca voluntariamente ingerida (ovino)  
NDF, fibra neutra detergente  
NDFD\_int, NDF digestible en el intestino  
NecCa<sub>abs</sub>, necesidades en Ca absorbible  
NecMg<sub>abs</sub>, necesidades en Mg absorbible  
NecP<sub>abs</sub>, necesidades en P absorbible  
NecPDI, necesidades en PDI  
NecPDI\_crecimiento, necesidades de crecimiento en PDI  
NecPDI\_gest, necesidades de gestación en PDI  
NecPDI\_no productivas, necesidades no productivas en PDI  
NecPDI\_PEF, necesidades en proteínas endógenas fecales en PDI  
NecPDI\_Pepidérmicas, necesidades epidérmicas en PDI  
NecPDI\_PI, necesidades de producción de leche en PDI  
NecPDI\_PUendo, necesidades para los cambios corporales en PDI  
NecUFL, necesidades en UFL  
NecUFL\_crecimiento, necesidades de crecimiento en UFL  
NecUFL\_gest, necesidades de gestación en UFL  
NecUFL\_mant, necesidades de mantenimiento en UFL  
NecUFL\_PI, necesidades de producción de leche en UFL  
NI, nivel de ingestión, % sobre peso vivo  
NIref, nivel de ingestión de referencia, % sobre peso vivo, referido al cordero de referencia  
NU<sub>calculador</sub>, nitrógeno urinario  
PDI, proteína digestible en el intestino  
PDI\_ut, necesidades en PDI asociadas a la involución uterina  
PDI\_VPRpot, variación potencial de reservas en g PDI/día  
PDIA, proteína digestible en el intestino que proviene del alimento  
PDI<sub>disp</sub>, PDI disponible para cubrir necesidades productivas y no productivas

*PDIE*, proteína digestible en el intestino según contenido energético para la síntesis microbiana en el rumen

*PDI<sub>ing</sub>*, PDI ingerida

*PDIM*, proteína digestible en el intestino que proviene de los microbios (rumen)

*PDIN*, proteína digestible en el intestino según contenido N para la síntesis microbiana en el rumen

*PF*, productos de la fermentación en los ensilados

*Plpic*, producción en el pico de la lactación

*Plpot*, producción de leche potencial

*Plpot\_305*, producción de leche de una vaca a 305 días de lactación

*Plpot\_mult*, producción potencial de leche por día en una determinada semana de lactación, multíparas

*Plpot\_prim*, producción potencial de leche por día en una determinada semana de lactación, primíparas

*sg*, semana de gestación

*Sg*, tasa de sustitución global forraje concentrado

*sl*, semana de lactación

*tg*, tasa de grasa en % o en g/kg

*tp*, tasa de proteína en % o en g/kg

*UE*, unidad de hartazgo o repleción (*encombrement*)

*UEB*, unidad de hartazgo o repleción (*encombrement*) bovinos

*UEC*, unidades de *encombrement* concentrado

*UEF*, unidades de *encombrement* forraje

*UEL*, unidad de hartazgo o repleción (*encombrement*) leche

*UEM*, unidad de hartazgo o repleción (*encombrement*) corderos (*moutons*)

*UFL*, unidad forrajera leche

*UFL\_VPRpot*, variación potencial de reservas en UFL/día

*UFV*, unidad forrajera carne (*viande*)

$\Delta$ *dMO\_BPR*, es la variación en la dMO debido al balance proteico en el rumen de la ración

$\Delta$ *dMO\_CO*, es la variación en la dMO debido a la proporción de concentrados en la ración

$\Delta$ *dMO\_NI*, es la variación en la dMO debido al nivel de ingestión de la ración

## DIFERENTES MODELOS DE PRODUCCIÓN DE CARNE DE BOVINO Y RACIONAMIENTO

INRA-2018a sigue los mismos modelos empleados en ediciones anteriores, adaptándolos al nuevo sistema, con respecto a la depresión de la digestibilidad, debido al nivel de ingestión (NI), de la proporción de concentrados en la ración (PCO) y al balance proteico en el rumen (BPR), y a la eficacia de uso de las proteínas.

Nosotros hemos seguido los modelos de engorde INRA-2018, en los que los diferentes cálculos relativos a la ganancia de peso vivo (proteínas, grasa) se hacen sobre "animales de referencia" que cada usuario puede adaptar a la modalidad de engorde que emplee.

### ANIMALES DE REFERENCIA (DATOS ORIENTATIVOS)

- 1.-Terneros **Engorde** (finalización) gran formato tardíos (Charolés, p.e)
- 2.-Terneros **Engorde** (finalización) tardíos (Limousines, p.e)
- 3.-Terneros **Engorde** (finalización) precocidad media (vacas rústicas)
- 4.-Terneros **Engorde** (finalización) precocidad alta (vacas lecheras)
- 5.-Bueyes tardíos **Engorde** (finalización) de 20 a 33 meses

- 6.-Bueyes precoces **Engorde** (finalización) de 24 a 28 meses
- 7.-Terneras tardías **Engorde** (finalización) de 15 a 30 meses
- 8.-Terneros tardíos **Crecimiento** de 8 a 24 meses
- 9.-Terneros precoces **Crecimiento** de 6 a 24 meses
- 10.-Terneras tardías **Crecimiento** de 8 a 28 meses
- 11.-Terneras lecheras **Crecimiento** de 6 a 24 meses

<b>Razas</b>	<i>Características engorde y crecimiento</i>
<b>Charolais</b>	Peso nacimiento 47 kg. Destete a 6-8 meses. Ternero de 15 meses Pv = 550 kg. Ganancia media diaria 1.400 g. IC (4,6) Rendimiento a la canal 65-70%. Rendimiento carnicero 79-85% carne.
<b>Limousin</b>	Peso nacimiento 42 kg. Destete a 7-8 meses. Ternero de 15 meses Pv = 550 kg Ganancia media diario 1.500 g. Rendimiento canal 70%. Rendimiento carnicero 73% carne.
<b>Blonde d'Aquitaine</b>	Ganancia media diaria 1.500 a 1.700 g. Aprovechamiento de los terneros en matadero de 65 hasta 68%. Aprovechamiento de carne neta 75% hasta 80%.
<b>Blanco azul belga</b>	Ganancia media diaria: 1.400 g. Ternero a 12 meses (480 kg); Ternero 15-16 meses (650 kg); precoz; Edad al primer parto 32 meses; Rendimiento canal 66%.
<b>Fleckvieh-Simmenthal</b>	Peso nacimiento 47 kg. Ganancia media diaria: 1.300 a 1.400 g. Ternero a 12 meses (510 kg); Rendimientos canal de 57 a 60%.
<b>Rubia Gallega</b>	Ganancia media diaria: 1.560 g. IC (4,1) hasta 460 kg .; Ganancia media diaria: 1.580 g. IC (4,3) hasta 550 kg. Rendimiento canal: 60%. Rendimiento carnicero 73% carne, 8,8% grasa, 18,1% hueso. Producción de añejo (añejo): ciclo corto (14 meses y 500 kg), ciclo medio (18 meses y 600 kg). Ganancia media diaria: 1.400 g. IC (4,2) hasta 460 kg .; Ganancia media diaria: 1.530 g. IC (4,3) hasta 550 kg .; Rendimiento canal: 64%. Rendimiento carnicero 76,9% carne, 7,1% grasa, 16% hueso.
<b>Pirenaica</b>	Terneros 9-10 meses (300-350 kg), Terneros 12 meses (430 kg). Añejo pesado (550-600 kg). Ganancia media diaria: 1.540 g. IC (4,3) hasta 300 kg .; Ganancia media diaria: 1.670 g. IC (4,1) hasta 460 kg .; Ganancia media diaria: 1.750 g. IC (4,3) hasta 550 kg.
<b>Tudanca</b>	Terneros "pastero" 5-6 meses (120-130 kg).
<b>Avileña-Negra Iberica</b>	Ternero 12 meses (323 kg), Ganancia media diario: 1.940 g. IC (3,6) hasta 300 kg .; Ganancia media diaria: 1.350 g. IC (4,4) hasta 460 kg .; Ganancia media diaria: 1.590 g. IC (4,6) hasta 550 kg.

<b>Retinto</b>	Ternero 12 meses (393 kg). Ganancia media diaria: 1.360 g. IC (5,1) hasta 300 kg .; Ganancia media diaria: 1.510 g. IC (4,8) hasta 460 kg .; Ganancia media diaria: 1.400 g. IC (5,1) hasta 550 kg.
<b>Morucha</b>	Ternero pastero 5-9 meses (pesos escasos y variables). Ganancia media diaria: 1.200 g. IC (4,1) hasta 300 kg .; Ganancia media diaria: 1.240 g. IC (4,6) hasta 460 kg .; Ganancia media diaria: 1.280 g. IC (4,9) hasta 550 kg. Rendimiento canal: 56%.
<b>Parda</b>	Peso medio vacas 600-700 kg, machos 800 a 1100 kg. Peso vivo sacrificio 550 kg. Ganancia media diaria: 1.850 g. IC (3,9) hasta 300 kg .; Ganancia media diaria: 1.690 g. IC (4,1) hasta 460 kg .; Ganancia media diaria: 1.740 g. IC (4,2) hasta 550 kg. Rendimiento canal: 60,9%. Rendimiento carnicero: 71,7% carne, 10% grasa, 18,3% hueso.

Razas de:	Exemples
<b>Leche</b>	Frisona-Holstein; Parda suiza; Jersey; Ayrshire; Guernsey; Menorquina; Shorthorn; Tarentaise; Normanda; Montbeliarda; Abondance; Danesa roja; Bretona; Simental o Fleckvieh, etc.
<b>Carne</b>	Blonde d'Aquitaine; Charolaise; Blanco azul belga; Limousin; Hereford; Aberdeen angus; Shorthorn Durhan; Piamontesa; Rubia Gallega; Asturiana de los valles; Retinta; Bruna; etc.
<b>Rústicas</b>	Brunes, Aubrac, Salers, Retinta, Avileña, Morucha, Cachena, Tudanca, Asturiana de los montes, etc.

## GASTOS Y NECESIDADES ENERGÉTICAS

La relación entre los valores medidos de EMI (energía metabolizable ingerida) y la retención o el equilibrio energético neto (balEN) calculados como la diferencia entre EMI medida y la producción de calor:

$$\text{balEN/Pv}^{0,95} = - 21,35 + 0,555 \times \text{EMI/Pv}^{0,95}$$

La retención de EN ( $7,71 \pm 11,54 \text{ kcal/Pv}^{0,75}$ , de  $- 17,3$  a  $31,0$ ) y la ingestión de EM ( $49,4 \pm 18,9 \text{ kcal/Pv}^{0,75}$ , de  $12,4$  a  $103,0$ ).

Según esta ecuación la eficacia de retención de EM es  $\text{kg} = 0,555 \pm 0,008$  y las necesidades de mantenimiento son de  $21,35 \pm 0,40 \text{ kcal EN}_{\text{mant}}/\text{Pv}^{0,95}$  o  $38,5 \text{ kcal EM}_{\text{mant}}/\text{Pv}^{0,95}$ .

Alrededor del valor pivote  $\text{EM}_{\text{mant}} = 38,5 \text{ kcal/Pv}^{0,95} \text{ km} = \text{kg}$ . El coeficiente km para el mantenimiento para los animales en crecimiento y engorde ( $\text{km} = 0,287 \times \text{q} + 0,554$ ). El coeficiente kg era, en el sistema INRA anterior, para el incremento de peso y mantenimiento, y ya no se emplea.

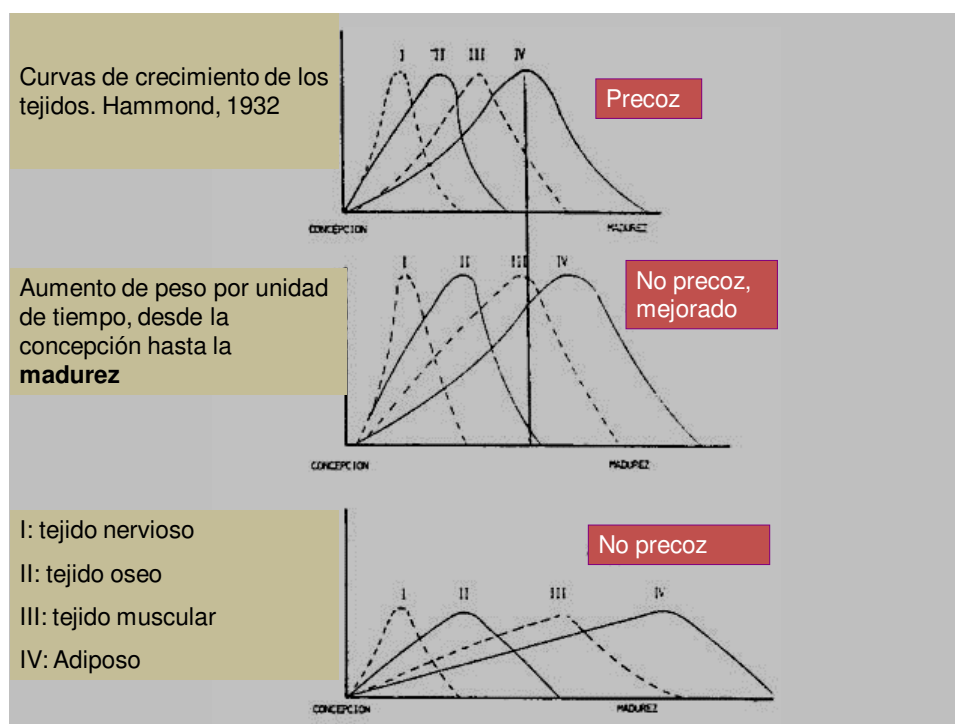
Si la ecuación se aplica globalmente al conjunto de datos sobre los rumiantes en crecimiento y no productivos, los residuos pueden explicarse, en gran parte, para el metabolismo medido ( $q = EM/EB$ ) de la ración. Es posible, por tanto, calcular las variaciones de kg en función de  $q$ :

$kg = 0,571 + 0,348 \times (q - 0,6)$ , donde  $kg$  es la eficacia de la EM para el aumento de peso y mantenimiento y  $q$  es la relación EM/EB.

### Concepto de alometría

El proceso de crecimiento no es isométrico. Leyes de alometría, velocidad de crecimiento relativa a un tejido X en relación al peso corporal. El coeficiente de alometría (AI),  $AI = (dX/X)/(dP_{vacio}/P_{vacio})$ . La primera curva de crecimiento es la de los tejidos nerviosos antes del parto ( $AI = 0,2$  a  $0,5$ ); la segunda corresponde a los huesos y los depósitos minerales, con una tasa de crecimiento máxima al inicio de la vida aérea ( $AI = 0,7$  a  $0,9$ ); la tercera curva corresponde al tejido proteico, con un máximo en el punto de inflexión del crecimiento que corresponde a la pubertad ( $AI \approx 1$ ), y la última corresponde a los lípidos y grasas con una tasa máxima próxima a la madurez ( $AI = 1,3$  a  $2,5$ ).

Los coeficientes de alometría varían también con las características de los animales.



### Composición y contenido energético del aumento de peso

**EB lípidos = 9,39 kcal/g**

**EB proteínas = 5,48 kcal/g**

$$\Delta P_{vacio} = a \times \Delta Prot + b \times \Delta Lip; \text{ kg/día}$$

$\Delta EN = 5,48 \times \Delta Prot + 9,39 \times \Delta Lip$ ; es la energía neta (Mcal/día) en el aumento de peso, o energía depositada.

Para todos los tipos de rumiantes, se admite  $a \approx 5$  (alrededor del 20% de proteínas a masa desgrasada) y  $b \approx 1$  (muy poca agua asociada a la grasa corporal). En consecuencia,  $\Delta P_{vacio}$  está determinado por

$\Delta$ Prot, sobre todo en los animales jóvenes; después de un pico  $\Delta$ Prot disminuye y deviene insignificante, y  $\Delta$ Pv<sub>vacio</sub> vendrá determinado por los cambios en  $\Delta$ Lip (coeficiente alometría alto). Por el contrario,  $\Delta$ EN aumenta en el curso del crecimiento con la proporción de lípidos

#### Métodos de cálculo del crecimiento estándar y de las necesidades

1. Cálculo del contenido digestivo y Pv<sub>vacio</sub> del Pv
2. Cálculo de los lípidos (Lip) a partir de Pv<sub>vacio</sub>
3. Cálculo de la masa proteica corporal (Prot) a partir de la masa magra (Pv<sub>vacio</sub> - Lip)
4. Todo se deriva para calcular  $\Delta$ Pv<sub>vacio</sub>,  $\Delta$ Prot,  $\Delta$ Lip y  $\Delta$ EN

#### PESO Y AUMENTO

Nos interesa saber la relación entre el peso vivo y la ganancia de peso en cada momento (t) y el peso vivo del adulto y el peso inicial (d1 y d2 son dos parámetros de las ecuaciones, específicos para cada grupo de animales de referencia. Según la ley de Gompertz:

$$Pv = Pv_0 \times \text{EXP}^{(d1 \times (1 - \exp(-d2 \times t)))}$$

$$\text{GPv o GMD} = d_2 \times Pv \times \ln(Pv_0 \times \exp^{(d1)})/Pv$$

Con estas ecuaciones para cada animal podemos determinar el peso final durante un período de engorde, y la ganancia media diaria de peso.

#### COMPOSICIÓN DE LOS TEJIDOS

Hay tres relaciones alométricas, que servirán para llegar a calcular las necesidades durante el proceso de engorde.

$Pv_{vacio} = c_0 \times Pv^{c_1}$ ,  $c_0$  i  $c_1$  varían según animal de referencia y se calculan a partir  $Pv_{inicial}$  y su contenido digestivo (CD) estimados:

$$Pv_{vacio\ inicial} = Pv_{inicial} \times (100 - CD_{inicial})/100$$

$$Pv_{vacio\ final} = Pv_{final} \times (100 - CD_{final})/100$$

$$c_1 = \ln(Pv_{vacio\ final}/Pv_{vacio\ inicial})/\ln(Pv_{final}/Pv_{inicial})$$

$$c_0 = \text{EXP}^{(\ln(Pv_{vacio\ inicial}) - c_1 \times \ln(Pv_{inicial}))}$$

Masa corporal y los lípidos:

$Lip\_corp = b_0 \times Pv_{vacio}^{b_1}$   $b_0$  i  $b_1$  parámetros para cada animal de referencia:

$$Lip\_corp_{inicial} = Lip\%Pv_{vacio\ inicial} \times Pv_{vacio\ inicial}/100$$

$$Lip\_corp_{final} = Lip\%Pv_{vacio\ final} \times Pv_{vacio\ final}/100$$

$$b_1 = \ln(Lip\_corp_{final}/Lip\_corp_{inicial})/\ln(Pv_{vacio\ final}/Pv_{vacio\ inicial})$$

$$b_0 = \text{EXP}^{(\ln(Lip\_corp_{inicial}) - b_1 \times \ln(Pv_{vacio\ inicial}))}$$

$Prot\_corp = 0,1436 \times Mdel^{1,0723}$ , donde  $Mdel$  es la masa corporal sin lípidos  $Mdel = Pv_{vacio} - Lip\_corp$

El aumento de lípidos es proporcional a la GMD elevada a 1,78



$$\text{GananciaLip}_{\text{observada}} = (\text{gananciaLip}_{\text{referencia}} / (\text{gananciaPv}_{\text{vacío referencia}})^{1,78}) \times \text{gananciaPv}_{\text{vacío observada}}$$

## EFICACIA DE LA EM PARA EL CRECIMIENTO Y EL ENGORDE

El uso de EM depende de la alimentación (medidos en el calorímetro a corto plazo) y de la composición corporal y de aumento corporal (medidos a largo plazo), no hay estudios que los integren y, por tanto, no se dispone de ninguna ecuación única.

## INFLUENCIA DE LA ALIMENTACIÓN

Coefficientes más empleados: km (mantenimiento) y kf (crecimiento y engorde), relacionados al régimen alimentario ( $q = \text{EM}/\text{EB}$ ).

$$\text{km} = 0,287 \times q + 0,554$$

$$\text{kf} = 0,78 \times q + 0,006$$

Además, la relación km/kf no es constante y varía según el nivel de producción, un coeficiente kmf combinado se ha calculado para un nivel de producción de 1,5:

$$\text{kmf} = (\text{km} \times \text{kf} \times 1,5) / (\text{kf} + 0,5 \times \text{km})$$

### **kmf es la eficacia combinada de la EM para el mantenimiento, el crecimiento y el depósito de carne.**

Todo expresado en kcal/kcal. Los regímenes con un valor de  $q$  débil (más fibrosos y menos digestibles) dan producciones de calor más altas, asociados a un débil rendimiento en el uso de EM

## INFLUENCIA DEL ANIMAL

$\text{kpf} = 0,35 + 0,25 \times (1 - \text{Ep})^2$ , es la eficacia de uso de la EM para el aumento de energía en forma de proteínas y de grasas, Ep, entre 0 y 1, es la proporción de energía fijada en forma de proteínas. Los valores de kf y kpf son iguales, alrededor de 0,51, si sólo el 20% de la energía es retenida en forma de proteínas y si  $q \approx 0,64$ .

Según esta ecuación, la eficacia de uso de la EM es de 0,35 para el depósito de proteínas (exclusivamente) o de 0,60 para el depósito de lípidos (solos).

En consecuencia, para los rumiantes en crecimiento, la necesidad en EM para depositar 1 kg de proteínas es, aproximadamente, igual a 11,2 Mcal, cercano al valor para depositar 1 kg de lípidos (11,75 Mcal). En cambio, debido a los diferentes contenidos de agua en los tejidos, las necesidades para depositar 1 kg de tejido magro (2,24 Mcal) son menores que para depositar 1 kg de tejido adiposo (11,75 Mcal). Sobre una base de Pv, las necesidades en EM para 1 kg de aumento de Pv aumentan cuando la proporción de lípidos aumenta en el incremento, y cuando los animales vuelven más maduros.

Por tanto, las **necesidades** en energía y las **recomendaciones** en bovinos en crecimiento se determinan en varias etapas de cálculos sucesivos, para tener en cuenta la alimentación y la composición corporal.

## NECESIDADES ENERGÉTICAS DE MANTENIMIENTO EN RUMIANTES EN CRECIMIENTO Y EN ENGORDE.

Para el mantenimiento los gastos energéticos son muy variables entre autores ( $124,2 \pm 22,1$  kcal/kg  $Pv^{0,75}$ ). Cuestiones metodológicas. Se impone el método de sacrificios sucesivos.

**Bovinos en crecimiento:** necesidades de mantenimiento  $101$  kcal EN/kg  $Pv^{0,75}$ , si bien varía según tipo animal.

**Bovinos de carne:** necesidades de mantenimiento (INRA 2007)  $100$  kcal/kg  $Pv^{0,75}$ , y expresado en EM, con  $km = 0,726$ , es igual a  $143,3$  kcal/kg  $Pv^{0,75}$ . Son valores próximos a los de mantenimiento de vacas lecheras.

## NECESIDADES Y APORTACIONES RECOMENDADAS

Necesidades energéticas = Necesidades de mantenimiento + Necesidades del crecimiento y engorde

Hay que tener en cuenta que la eficacia o eficiencia de la EM para depositar EN (en forma de proteína y lípidos) es muy variable según el tipo de animal, aquí consideramos hasta nueve tipos de animales de referencia, y, por tanto, las innumerables tablas para cada tipo las hemos convertidas en un EXCEL que luego explicaremos, con el fin de simplificar el cálculo de necesidades.

La eficacia de la EM también, lógicamente, varía según sea el racionamiento alimentario.

El problema es que  $km$  (eficacia de uso de la EM para el mantenimiento) y  $kf$  (eficacia de uso de la EM para producir carne) no son constantes cuando  $q = EM/EB$  varía en las raciones.

Si  $GMD > 1$  kg/día

$$NecEM_{mant} = NecEN_{mant}/km$$

$$km = 0,287 \times q + 0,554$$

El valor  $q$  ahora tiene un valor medio de  $0,60$  (para engorde) en lugar de  $0,63$  (ediciones anteriores)

Si  $GMD > 1$  kg/día

$$NecEM_{mant} = NecEN_{mant}/km'$$

$$km' = 0,287 \times q' + 0,554$$

$$q' = 0,62 - 0,262 \times \exp^{-3,175 \times GMD}$$

Las necesidades de la ganancia o de la producción serán la suma de los depósitos en proteína y en grasa, como ya hemos visto anteriormente ( $EB$  lípidos =  $9,39$  kcal/g i  $EB$  proteínas =  $5,48$  kcal/g).

$$NecEN_{ganancia} = 5,48 \times gananciaProteína + 9,39 \times gananciaLípidos$$

$$NecEM_{ganancia} = NecEN_{ganancia}/kpf$$

$Ep$  (%) es la proporción de energía fijada en forma proteica, y el modelo  $kpf$  se ha determinado con múltiples ensayos con sacrificios de animales controlados:

$Ep = 0$ , quiere decir que el 100% de la ganancia es de lípidos

$Ep = 1$ , quiere decir que la ganancia no tiene lípidos

$$kpf = 0,35 + 0,25 \times (1 - Ep)^2$$

$$Ep = 5,48 \times \text{gananciaProteína} / (5,48 \times \text{gananciaProteína} + 9,39 \times \text{gananciaLípidos})$$

La eficacia kpf decrece con la ganancia de proteínas.

## NECESIDADES EXPRESADAS EN UF

GMD > 1 kg/día

$$\text{NecENcarne} = (\text{NecEM}_{\text{mant}} + \text{NecEM}_{\text{ganancia}}) \times \text{kmf}$$

$\text{kmf} = (\text{km} \times \text{kf} \times \text{NP}) / (\text{kf} + \text{km} \times (\text{NP} - 1)) = (\text{km} \times \text{kf} \times 1,5) / (\text{kf} + 0,5 \times \text{km})$ , para un nivel de producción (NP) medio de 1,5, y eso nos lleva a  $\text{km} = 0,73$ ,  $\text{kf} = 0,47$  i  $\text{kmf} = 0,62$  cuando  $q = 0,60$ .

GMD < 1 kg/día

$$\text{NecENleche} = (\text{NecEM}_{\text{mant}} + \text{NecEM}_{\text{ganancia}}) \times \text{kls}$$

$$\text{kls} = 0,65 + 0,247 \times (q' - 0,63)$$

Los valores **NecENcarne** y **NecENleche** expresados en kcal que pasamos a UFV y UFL dividiendo por 1.760 kcal.

Para los animales de referencia hay unos parámetros de las curvas de crecimiento y de la composición corporal, los cuales sirven para determinar las necesidades.

$I_{\text{tipos}}$  y  $c$  son dos parámetros para la capacidad de ingestión (que veremos más adelante).

$d_1$  y  $d_2$ , son los parámetros de la ecuación de Gompertz que representan la evolución del peso vivo en función del tiempo ( $t$ , en días)

$CD_0$  y  $CD_1$  son los contenidos digestivos inicial y final en % del peso vivo

$LIP_0\%$  y  $LIP_1\%$ , son los lípidos corporales inicial y final en % del peso vivo vacío

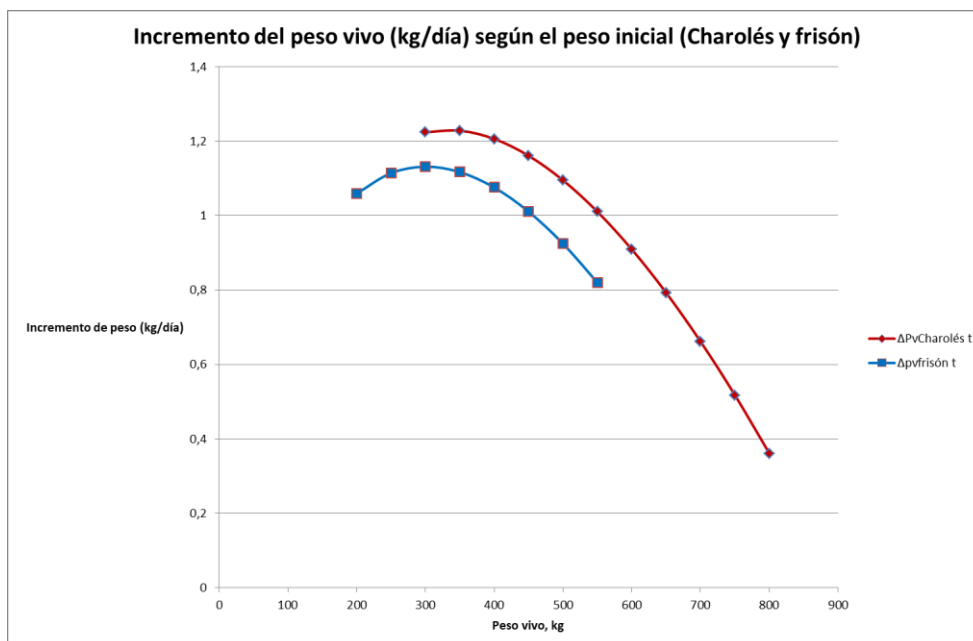
$\text{recEN}_{\text{mant}}$ , es un coeficiente de las necesidades de mantenimiento en kcal de EN por kg de peso metabólico.

Bovinos de referencia	Parámetros									
	Pvinitial	Pvfinal	d1	d2	CDinicial %PV	CDfinal %PV	Lipinicial %Pvvac	Lipfinal %Pvvac	recEN_mant	Kcal/KgPV0,75
1.-Terneros Engorde (finalización) gran formato tardíos (Charoles, p.e)	300	800	1,1028	0,0037	16	11	8	16		102
2.-Terneros Engorde (finalización) tardíos (Limousines, p.e)	330	730	1,1028	0,0037	15	10,8	8	15		98
3.-Terneros Engorde (finalización) precocidad media (vacas rústicas)	250	680	1,4078	0,003763	18	12	10	19,5		100
4.-Terneros Engorde (finalización) precocidad alta (vacas lecheras)	200	550	1,4078	0,003763	20	12	7,5	21		95
5.-Bueyes tardíos Engorde (finalización) de 20 a 33 meses	500	750	0,629	0,0035	12	10	11	16,5		106
6.-Bueyes precoces Engorde (finalización) de 24 a 28 meses	540	660	0,629	0,0035	13	11	16	21,2		108
7.-Terneras tardías Engorde (finalización) de 15 a 30 meses	450	700	0,6174	0,0035	13	10	13	18		106
8.-Terneros tardíos Crecimiento de 8 a 24 meses	300	540	1,114	0,0025	16	12	8	11		94
9.-Terneros precoces Crecimiento de 6 a 24 meses	200	520	1,5013	0,0025	20	13	7,5	18		94
10.-Terneras tardías Crecimiento de 8 a 28 meses	300	550	1,114	0,0025	18	13	9	14		94
11.-Terneras lecheras Crecimiento de 6 a 24 meses	200	480	1,5013	0,0025	20	13	9	21		94

Las aportaciones de energía recomendadas se calculan para un ajuste final de las necesidades EN a las aportaciones medidas en las experiencias. Cuando este ajuste es óptimo, el valor de las necesidades de mantenimiento son un nivel de energía recomendado (recEN\_mant, en Kcal / KgPV0,75)

A partir de esta tabla se determinan las necesidades.

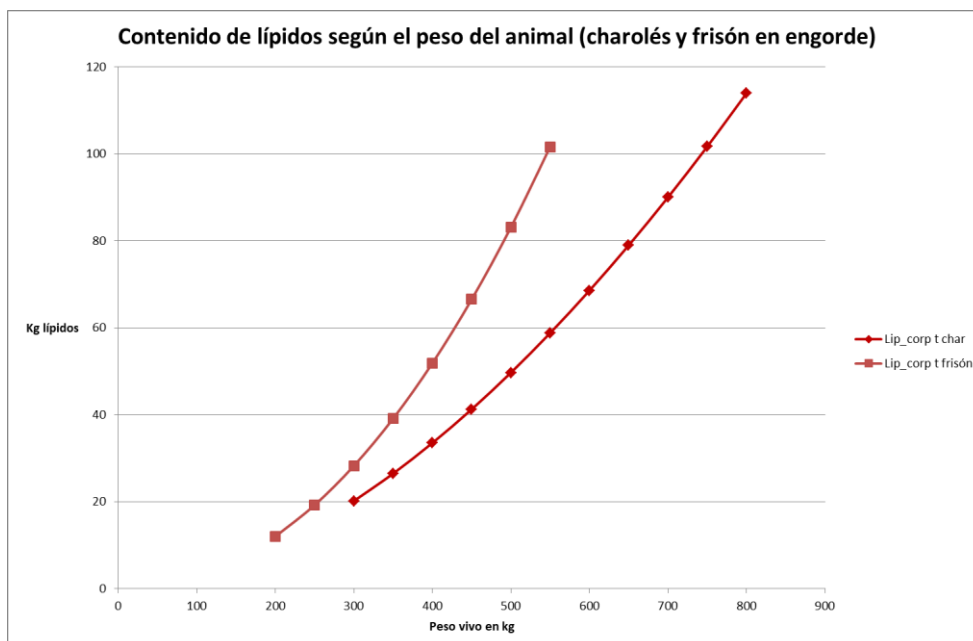
Vemos las diferencias en dos ejemplos, uno de animales de gran formato y otro de terneros de razas lecheras.



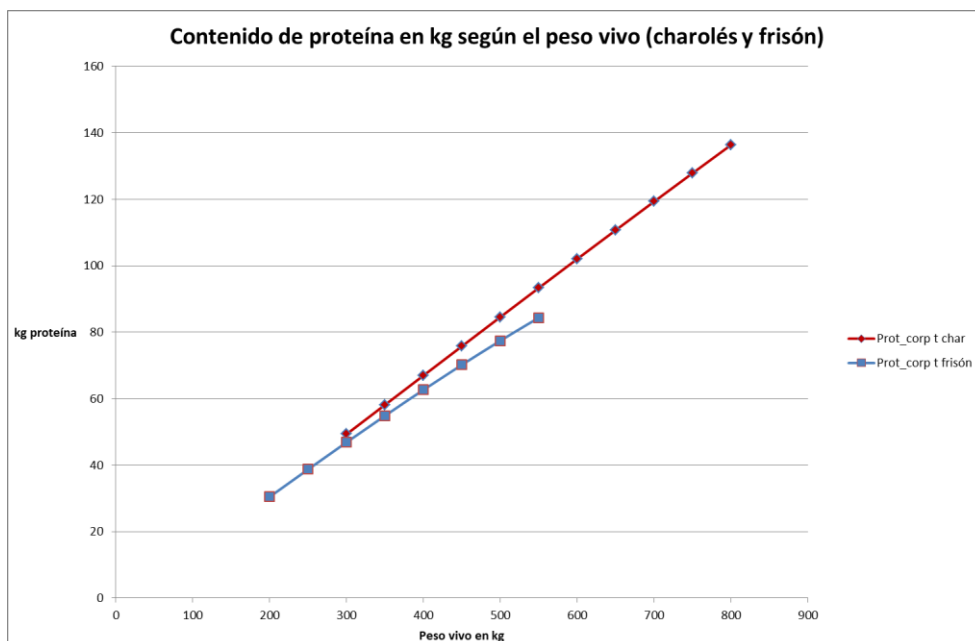
El engorde del Charolais va de 300 kg a un máximo de 800 kg, y el incremento máximo está entre los 300 kg y los 500 kg como peso inicial, y para cada uno de ellos el incremento diario es superior a 1 kg.

El engorde de un ternero de raza lechera de 200 a 550 kg, como máximo, y el incremento máximo entre los 200 y 450, en que es superior a 1 kg/día.

Para cada uno de ellos en el siguiente gráfico podemos ver el contenido de lípidos en el peso vivo.



En el ternero frisón en engorde el contenido de lípidos tiene una tendencia al alza superior al charolés. Por ejemplo los 400 kg de peso vivo el contenido de lípidos en el frisón es de 51,87 kg y en el charolés de 33,50 kg. Y en cuanto al contenido de proteínas lo vemos en el siguiente gráfico.



El contenido de proteína tiene un crecimiento lineal, con valores superiores al Charolés a igualdad de peso. Por ejemplo los 400 kg de peso vivo el contenido de proteína en el frisón es de 62,68 kg y en el Charolés de 66,98 kg.

Para los 400 kg de peso vivo (Charolés y frisón) veremos las diferencias a la hora de planificar el engorde, y las necesidades de uno y otro.

Elegir tipo de bovino			
1.-Terneros Engorde (finalización) gran formato tardíos (Charolés, p.e)			
<b>Datos orientativos</b>			
<b>Peso vivo inicial a partir de</b>		<b>300,00</b>	
<b>Peso vivo final hasta</b>		<b>800,00</b>	
Peso inicio	400	Para el peso inicial: GMD, kg/día	<b>1,21</b>
GMD, kg/día	1,03	Período racionamiento, tiempo en días	<b>30,00</b>
<i>GMD normal</i>		Possible peso final	<b>430,9</b>

En el cuadro se indica el intervalo de peso entre el inicio y el peso máximo final del periodo teórico de engorde (entre 300 y 800 kg). Elegimos un peso inicial de 400 kg, y la ganancia de peso diario, teórico para el animal de referencia, está alrededor de 1,21 kg. Elegimos una ganancia de 1,03 kg/día, y un período de 30 días de engorde, y el peso final que se puede alcanzar sería de 431 kg aproximadamente.

Para un frisón en engorde:

Elegir tipo de bovino			
4.-Terneros Engorde (finalización) precocidad alta (vacas lecheras)			
<b>Datos orientativos</b>			
<b>Peso vivo inicial a partir de</b>		<b>200,00</b>	
<b>Peso vivo final hasta</b>		<b>550,00</b>	
Peso inicio	400	Para el peso inicial: GMD, kg/día	<b>1,08</b>
GMD, kg/día	1,03	Período racionamiento, tiempo en días	30,00
<i>GMD normal</i>		Possible peso final	<b>430,9</b>

En este caso el intervalo es más corto, entre 200 y 550 kg, y para 400 kg de peso inicial la ganancia teórico es de 1,08 (menor que en el caso del charolés, que era de 1,21), elegimos el mismo incremento (1,03) y el peso final al cabo de 30 días sería de 430,9 kg, lo mismo que en el caso del charolés, ya que el aumento es prácticamente lineal.

Para uno y otro las necesidades serían las siguientes:

Necesidades Totales		Necesidades Totales	
UFV	6,35	UFV	6,61
PDI	586,56	PDI	549,26
Ca	18,11	Ca	17,85
P	16,97	P	16,85
Cl, UEB	7,22	Cl, UEB	7,81
Charolés de 400 kg, GMP = 1,03 kg/día		Frísón de 400 kg, GMP = 1,03 kg/día	

#### NECESIDADES EN PDI

$$\text{NecPDI} = \text{NecPDI}_{\text{no productivas}} + (\text{Ganancia proteica}/\text{EfPDI})$$

Necesidades no productivas:

$$\text{NecPDI}_{\text{PEF}} (\text{necesidades proteínas endógenas fecales}) = \text{MSI} \times (0,5 \times (5,7 + 0,074 \times \text{MOND}))/\text{EfPDI}$$

$$\text{NecPDI}_{\text{PUendo}} (\text{necesidades asociadas a la excreción de N endógeno urinario}) = 0,312 \times \text{Pv}$$

$$\text{NecPDI}_{\text{Pepidérmicas}} (\text{necesidades asociadas al depósito epidérmico}) = 0,2 \times \text{Pv}^{0,6}/\text{EfPDI}$$

MOND, es la materia orgánica no digestible.

Para los cálculos previos de las necesidades INRA-2018 da una serie de valores aproximados para los animales de referencia con respecto a la *EfPDI* (más alta por animales de razas de carnes que para los lecheros). Igualmente, da valores aproximados de MOND para cada animal de referencia y peso vivo, y según GMD de peso, que nosotros hemos incorporado a los cálculos de necesidades, que, como ya hemos dicho, a la hora de formular la ración, irán cambiando en las iteraciones sucesivas para encontrar el punto de encuentro entre necesidades y aportaciones.

#### CAPACIDAD DE INGESTIÓN Y TASA DE SUSTITUCIÓN

Siempre hemos dicho que *la vaca es un rumiante*, también lo son los terneros y las terneras, en crecimiento o en engorde.

Para cada bovino de referencia se han calculado unos parámetros para el cálculo de la capacidad de ingestión en UE.

Bovinos de referencia	<i>I<sub>tip</sub></i>	<i>c</i>
1.-Terneros Engorde (finalización) gran formato tardíos (Charolés, p.e)	0,284	0,54
2.-Terneros <b>Engorde</b> (finalización) tardíos (Limousines, p.e)	0,22	0,57
3.-Terneros <b>Engorde</b> (finalización) precocidad media (vacas rústicas)	0,233	0,575
4.-Terneros <b>Engorde</b> (finalización) precocidad alta (vacas lecheras)	0,157	0,652
5.-Bueyes tardíos <b>Engorde</b> (finalización) de 20 a 33 meses	0,2205	0,6
6.-Bueyes precoces <b>Engorde</b> (finalización) de 24 a 28 meses	0,2425	0,6
7.-Terneras tardías <b>Engorde</b> (finalización) de 15 a 30 meses	0,2205	0,6
8.-Terneros tardíos <b>Crecimiento</b> de 8 a 24 meses	0,03459	0,9
9.-Terneros precoces <b>Crecimiento</b> de 6 a 24 meses	0,03115	0,9
10.-Terneras tardías <b>Crecimiento</b> de 8 a 28 meses	0,03459	0,9
11.-Terneras lecheras <b>Crecimiento</b> de 6 a 24 meses	0,03915	0,9

La capacidad de ingestión para cada bovino de referencia y para un peso vivo se calcula así:

$$CI = I_{tip} \times Pv^c$$

#### TASA DES SUSTITUCIÓN GLOBAL SG

Ya sabemos que si un rumiante come forrajes *ad libitum* al suministrarle concentrados (Q kg), dejará de comer una parte de forraje igual a Q x Sg, siendo Sg la tasa de sustitución, que representa la cantidad de forraje (en MS) que deja de comer por la incorporación de un kg de concentrado. Si el forraje es muy bueno la Sg de la ración es alta, significa que el forraje compite con el concentrado. Si, por ejemplo, come *ad libitum* 8 kg MS forrajera, si Sg = 0,95, querrá decir que la incorporación de un kg de concentrado hará que deje de comer  $8 - 1 \times 0,95 = 0,4$  kg MS forrajera.

Para los bovinos en crecimiento y en engorde hay un modelo analítico según PCO (proporción de concentrado en la ración):

**UEc, valor UE del contenido de concentrados**

**UEf, valor UE del contenido de forrajes**

$$UEc = 0,86 \times (1 - K \times \text{EXP}^{-B/(1 - \text{PCO})})$$

$$Sg = UEc/UEf$$

Es un modelo logístico con dos parámetros (B i K) que dependen de UEf

$$K = (1 - A) \times \text{EXP}^{(B/0,7)}$$

$$B = UEf^2 / (2,04 \times (1 - A \times UEf))$$

$$A = UEf \times (1 - 1,26 \times ((UEf - 0,85)0,84))$$

El valor de repleción de los concentrados en el seno de una ración tiende a 1 si PCO tiende a 1, o sea el 100% de concentrados, cualquiera que sea el forraje de la ración. El valor Sg tiende a 1/UEf.

## NECESIDADES EN MINERALES Y VITAMINAS

P <sub>absr</sub> , g/día	GMD x (0,025 x Pv + (1,2 + 4,66 x P <sub>vadulto</sub> <sup>0,22</sup> x P <sub>v</sub> <sup>-0,22</sup> ))
Ca <sub>absr</sub> , g/día	GMD x (0,015 x Pv + (9,83 x P <sub>vadulto</sub> <sup>0,22</sup> x P <sub>v</sub> <sup>-0,22</sup> ))
Mg <sub>absr</sub> , g/día	(0,003 x PV + 0,45 x GMD)/0,16
Cl, g/día	(0,003 x PV + 0,45 x GMD)/0,16
K, g/día	(2,6 x MSI + 0,038 x PV + 1,6 x GMD)/0,9
Na, g/día	(0,015 x PV + 1,4 x GMD)/0,99
S, g/día	2 x MSI
Co, mg/día	0,11 x MSI
Cu, mg/día	(0,0071 x PV + 1,15 x GMD)/0,04
Mo, mg/día	-
Iodo, mg/día	0,006 x PV
Fe, mg/día	34 x GMD/0,1
Mn, mg/día	(0,002 x PV + 0,7 x GMD)/0,0075
Se, mg/día	0,3 x MSI
Zn, mg/día	(0,045 x PV + 24 x GMD)/0,15
Vit A, UI/día	110 x PV
Vit D, UI/día	16 x PV
Vit E, UI/día	2,6 x PV

## BASES DEL RACIONAMIENTO

Primero calculamos las necesidades del vacuno en crecimiento o en engorde (UFV o UFL, PDI, Ca y P) y la capacidad de ingestión en UE. Esto serían valores teóricos u objetivos. Después tendremos la valoración de los ingredientes disponibles (forrajes, concentrados y minerales) con las restricciones fisiológicas propias y las restricciones de cantidades impuestas, bien por la práctica o bien por decisión del titular. De los ingredientes también dispondremos de los precios o de los costes de producción.

El objetivo es formular una ración al mínimo coste. Si las aportaciones igualan las necesidades y la ración es al mínimo coste, la solución sería fácil de encontrar si todo fuera sumar, restar, multiplicar y dividir. Pero hace tiempo que sabemos que la realidad es diferente.

La capacidad de ingestión va cambiando debido al contenido PDI/UF, y los contenidos PDI y UF no son la suma producto de las cantidades de ingredientes por el valor nutritivo de los mismos en PDI y UF, sino que según el nivel de ingestión (NI), que a su vez cambia a medida que entra concentrado en la ración (PCO), la eficiencia de transformación de la proteína varía y la digestibilidad de la materia orgánica también varía debido al nivel de ingestión, la cantidad o PCO de concentrado y del balance proteico en el rumen (BPR), de tal manera que todo se va rehaciendo a medida que van encajando las aportaciones y las necesidades (variables).

Antes de entrar a explicar la aplicación trataremos dos temas importantes para plantear el racionamiento correctamente, uno es el de las interacciones digestivas y el otro la eficacia o eficiencia de las PDI para las funciones de proteosíntesi.

## INTERACCIONES DIGESTIVAS



Hasta ahora empleábamos la depresión de la digestibilidad, que era función de la proporción de concentrados en la ración (PCO) y de las necesidades del animal (mantenimiento y producción). En el nuevo sistema se intenta cuantificar los principales factores que dan lugar a las interacciones digestivas.

La dMO es el mejor criterio para conocer las interacciones.

Las interacciones tienen lugar, principalmente, en el rumen, y las causas:

a) Si el nivel de ingestión (NI) es alto, la velocidad de paso es alta, el tiempo de permanencia se acorta y, por tanto, la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos es menor.

b) Si la proporción de concentrados (PCO) es alta, baja el pH ruminal y se inhiben los microorganismos que degradan la celulosa.

c) La disponibilidad de N en el rumen, que es balance proteico del rumen (BPR), cambia la actividad microbiana.

En el sistema INRA 1978-2007 la disponibilidad N y la actividad microbiana se cuantificaban con PDIN y PDIE, ahora en INRA-2018, es el balance proteico del rumen:

$$\text{BPR} = \text{MNT}_{\text{ingeridas}} - \text{MNT}(\text{no amoniacales})_{\text{duodeno}} \text{ en g/kg MS.}$$

Las  $\text{MNT}(\text{no amoniacales})_{\text{duodeno}}$  son las MNT alimentarias no degradadas más las MNT microbianas más las MNT endógenas.

BPR es un indicador de la diferencia entre la síntesis proteica microbiana permitida por la MNT degradable disponible en el rumen y la que permitiría la energía disponible en la MOF en el rumen. Anteriormente utilizábamos en el racionamiento un índice  $(\text{PDIN} - \text{PDIE})/\text{UF}$ . Ahora BPR es **aditivo y medible**, y es un criterio pertinente no sólo para evaluar el equilibrio entre N degradable y energía disponible en el rumen, sino también para integrar los efectos cuantitativos de las interacciones energía x nitrógeno en los procesos digestivos, así como el crecimiento microbiano. También se emplea para predecir las pérdidas urinarias de N.

## EFFECTO DEL NIVEL DE INGESTIÓN EN LAS INTERACCIONES DIGESTIVAS

$d\text{MO}_m$  es la digestibilidad de la materia orgánica de una ración, medida in vivo, e intra-experiencias obtiene  $d\text{MO}_m = 76 - 2,74 \times \text{NI}$ , NI es el nivel de ingestión de la ración, en % del peso vivo .

Cada ingrediente forrajero tiene un valor  $\text{NI}_{\text{ref}}$  en las tablas y todos los concentrados tienen  $\text{NI}_{\text{ref}} = 2$ . La ración (combinación de forrajes y concentrados) tendrá un valor  $\text{NI}_{\text{ref}}$  igual a suma producto de las cantidades y los  $\text{NI}_{\text{ref}}$ . Por ejemplo,  $\text{NI}_{\text{ref}} = 1,80$ . El ternero ingiere de la ración calculada 6,99 kg MS, y pesa 400 kg, por lo tanto,  $\text{NI} = 6,99 \times 100/400 = 1,7475 \%$ , como podemos ver no hay diferencia apreciable, por lo tanto el NI prácticamente no afectará la dMO de la ración, si bien, haciendo los cálculos nos sale una influencia positiva

$$\Delta d\text{MO}_{\text{NI}} = -2,74 \times (\text{NI} - \text{NI}_{\text{ref}})/100 = -2,74 \times (1,7475 - 1,80)/100 = 0,00138$$

## EFFECTO DE LA PROPORCIÓN DE CONCENTRADO EN LAS INTERACCIONES DIGESTIVAS

Se trata de cuantificar el efecto de la proporción de concentrado (PCO, entre 0 y 1) sobre las interacciones digestivas. Experimentalmente el efecto de PCO sobre la dMO de la ración se expresa así:

$$\Delta d\text{MO}_{\text{CO}} = -6,5/(1 + (0,35/\text{PCO})^3)/100$$

Si en la ración formulada  $PCO = 0,50$ ,  $\Delta dMO_{CO} = -6,5 / (1 + (0,35/0,5)^3) / 100 = -0,05$  valor que resta a la  $dMO_m$

## EFFECTO DEL BALANCE PROTEICO DEL RUMEN EN LAS INTERACCIONES DIGESTIVAS

El balance proteico en el rumen:

$BPR = MNT_{ingerida} - [MN_{alim\_intestino} + MN_{microbiana\_intestino} + MN_{endogena\_intestino}]$ , es decir, **BPR es la MN que no llega al intestino.**

1. La  $MNT_{ingerida}$  es un valor que se obtiene de los cálculos de la ración, y en el ejemplo es igual a **121,55**
2.  $MN_{alim\_intestino}$  (Proteínas alimentarias no fermentadas en el rumen) =  $MNT_{ingerida} \times (1 - DT\_N)$ 
  - a.  $DT\_N$ , degradabilidad de las proteínas, es un valor experimental para cada ingrediente, por tanto, los tenemos de los que entran en la ración, y la  $DT\_N$  de la ración es 0,60.  
 $MN_{alim\_duodeno} = 48,68$
3.  $MN_{microbiana\_intestino} = 41,7 + 71,9 \times 10^{-3} \times MORd\_rumen + 8,40 \times PCO$ 
  - a.  $MORd\_rumen$ , es la materia orgánica digestible en el rumen, o sea la MOF, la materia orgánica fermentescible, y es un valor que se obtiene de la composición de la ración, ya que cada ingrediente tiene su valor MOF, y en el ejemplo es igual a 559,70

$$MN_{microbiana\_intestino} = 41,7 + 71,9 \times 10^{-3} \times 559,70 + 8,40 \times 0,50 = 85,14$$

4.  $MN_{endogena}$  se considera un valor fijo igual a **14,20**

5.  $BPR = 121,55 - (48,68 + 85,14 + 14,20) = -26,48$

El BPR calculado en la ración (cada ingrediente viene caracterizado por su valor BPR) en el ejemplo es igual a -2,00 ( $BPR_{ref}$ ).

La interacción de la BPR sobre la dMO:  $\Delta dMO_{BPR} = -0,060 \times (BPR - BPR_{ref}) / 100 = 0,060 \times (-26,48 - (-2)) / 100 = -0,015$

Las tres interacciones serán  **$0,001383 - 0,05 - 0,015 = -0,066385$**

Este valor hará que la digestibilidad de la MO corregida por las interacciones

$$dMO_c = dMO + (\Delta dMO_{NI} + \Delta dMO_{CO} + \Delta dMO_{BPR}) = 0,70 - 0,066385 = 0,63$$

La dMO calculada de la ración es 0,70.

La ración inicialmente tiene una dMO de 0,70, pero al final, después de las iteraciones resulta de 0,63.

La ecuación de restricción energética del planteamiento de la ración sería la siguiente:

$$\sum_i X_i \times UFL_i = NecUFL$$

Las aportaciones energéticas deben ser igual a las necesidades calculadas. Les NecUFL se han calculado con una  $dMO = 0,70$ , y ahora la  $dMO_c$  va variando en función del NI, de PCO y de BPR, por tanto en la restricción energética podemos poner lo siguiente:

$$\sum_i X_i \times UFL_i = NecUFL \times (dMO / dMO_c)$$

## EFICACIA DE LA SÍNTESIS PROTEICA

En primer lugar necesitamos conocer la PDI disponible para cubrir las necesidades no productivas y las productivas.

$$PDI_{disp} = PDI_{ing} - NecPDI_{PU_{endo}}$$

$PDI_{ing}$  es la que una vez formulada la ración obtenemos directamente de los cálculos (suma producto de las cantidades de cada ingrediente y los valores PDI de los mismos), en el ejemplo  $PDI_{ing} = 524,55$  g

$$NecPDI_{PU_{endo}} = 0,312 \times Pv = 0,312 \times 400 = 124,80 \text{ g}$$

$$PDI_{disp} = 524,55 - 124,80 = 399,75 \text{ g.}$$

La EfPDI es igual a **gastos proteicos/PDI<sub>disp</sub>**

Hay varias maneras de calcular la EfPDI de una ración, explicamos dos.

### 1. Método A

- a) Primero se debe calcular el balance energético de la ración (balUFL), que es igual a las aportaciones UFL de la ración menos las necesidades UFL calculadas: en el ejemplo,  $balUFL = 6,66 - 6,35 = 0,31$  UFL.

- b) Si el balance energético es positivo las proteínas se fijan (no se emplean para generar energía) y el balance proteico (balPDI) deviene un gasto, y, en consecuencia EfPDI se calcula así:

$$EfPDI = (P_{EF} + P_{epidérmicas} + \text{Proteína fijada en la GMD} + balPDI) / PDI_{disp}$$

$P_{EF} = 5,7 + 0,0074 \times \text{MOND}$ ; MOND, materia orgánica no digestible, igual a  $(MO - MOD_c)$ ;  $MOD_c$  es la MOF corregida por las interacciones (NI, PCO y BPR). MO la sacamos directamente de los cálculos ( $MO = 833,40$ ), la  $MOD_c$  es la MOF (directamente de los cálculos) corregida por  $dMO_c$ ,  $MO - MOND = 833,40 - 559,70 = 273,70$  g  $dMO_c/dMO = 833,40 - 588,83 \times 0,67/0,70 = 269,80$  g PDI, y  $P_{EF} = 5,7 + 0,0074 \times 269,80 = 27,15$  g PDI

$$P_{epidérmicas} = 0,2 \text{ g PDI/kg } Pv^{0,60} = 0,2 \times 400^{0,60} = 7,69 \text{ g PDI}$$

$$\text{Proteína fijada a la GMD} = 283,84 \text{ g PDI}$$

$$balPDI = \text{Aportaciones PDI} - \text{Necesidades calculadas} = 524,55 - 586,56 = -62,01 \text{ g PDI}$$

$$PDI_{disp} = 399,75 \text{ g PDI}$$

$$EfPDI = (7,69 + 27,15 + 283,84 - 62,01) / 399,75 = 0,64.$$

- c) Si el balance energético es negativo, el balance proteico (balPDI) es una aportación y su valor absoluto se junta a las  $PDI_{ing}$ , y, en consecuencia EfPDI se calcula así:

$$EfPDI = (P_{EF} + P_{epidérmicas} + \text{Proteína fijada en GMD}) / (PDI_{disp} + |balPDI|).$$

### 2. Método B.

Hay un ajuste exponencial entre EfPDI y la concentración en PDI de la ración:

$EfPDI = EfPDI_{100} \times \exp^{-b \times (PDI - 100)}$ , donde  $EfPDI_{100}$  es la eficacia cuando la PDI de la ración es de 100 g/kg MS, PDI es el contenido en g/kg MS.

En la anterior aplicación se consideraba una eficiencia constante y, por tanto, la ecuación era:

$$(1 - a) \times NecPDI \leq \sum_i Xi \times PDI_i \geq (1 + a) \times NecPDI$$

Donde las aportaciones debían estar entre dos límites a efectos de facilitar los cálculos. Por ejemplo,  $a = 0,05$ , las aportaciones deben estar entre el 95% y el 105% de las necesidades.

Ahora hemos visto que la eficiencia cambia en el seno de la ración. Y, también, a efectos de facilitar los cálculos, se mantiene poner un rango ( $a$ ) y añadimos el cálculo de necesidades con  $EfPDI$ . No obstante, lo simplificamos de la siguiente manera:

En el cálculo de necesidades PDI hemos introducido las necesidades relativas a las proteínas endógenas fecales que dependen de la materia seca ingerida y de la MO no digestible, afectada también por la depresión de la digestibilidad ( $NecPDI_{PEF} = MSI \times (5 \times (0,57 + 0,0074 \times MOND)) / EfPDI$ ), y para ello hemos adaptado los valores medios de MOND y de la EfPDI para los tipos de animales de referencia y sus pesos.

En la formació de proteïnes productives i no productives (excepte les endògenes fecals) es considera per al càlcul de necessitats  $EfPDI$  funció de l'animal de referència, en aquest exemple 0,64. Hi afegim a les necessitats les  $NecPDI_{PEF}$  amb la MSI real, l'EfPDI real i la MOND corregida, per tant les restriccions de la proteïna queden així:

$$(1 - a) \times \{NecPDI + \frac{MSI \times (5 \times (0,57 + 0,0074 \times MOND))}{EfPDI}\} \leq \sum_i Xi \times PDI_i \geq (1 + a) \times \{NecPDI + \frac{MSI \times (5 \times (0,57 + 0,0074 \times MOND))}{EfPDI}\}$$

De fet, a l'aplicació el valor de les  $NecPDI$  calculades es disgrega en dos sumatoris:  $NecPDI_{PU_{endo}}$  que no està afectat per l'eficiència  $EfPDI$ , i la resta ( $NecPDI - NecPDI_{PU_{endo}}$ ) que tota ella està afectada per l'EfPDI, i, per tant, a la restricció aquesta resta es multiplica per 0,64 (exemple) i es divideix per  $EfPDI$  de la ració, que s'obté iterativament.

## BPR, BALANCE PROTEICO EN EL RUMEN

En la aplicación el cálculo del  $BPR_{ref}$  se hace como los otros nutrientes, y en cuanto a las restricciones ponemos la siguiente restricción:

$$valor\ mínimo\ animal\ referencia \leq \sum_i Xi \times BPRref_i \leq valor\ máximo\ animal\ referencia$$

Según INRA-2018, el valor BPR no debe ser muy alto ya que se aumentarían las pérdidas en N urinario; de hecho, como antes con PDIN y PDIE, se tendía a que fueran iguales, dentro de una tolerancia que facilitara los cálculos, la situación ideal sería obtener BPR próximo a 0.

## L'APLICACIÓ RACIONAMIENTO BOVINO CRECIMIENTO Y ENGORDE 2020

La aplicación *Racionamiento bovino crecimiento y engorde 2020* está configurada igual que la anterior aplicación sobre *Racionamiento* que hay en la web dentro del archivo *Aplicaciones informáticas*. Las novedades son las explicadas en el texto anterior y que iremos viendo a continuación plasmadas en la aplicación.

Consta de los siguientes hojas: Tabla de Forrajes, Tabla de Concentrados, Tabla de Minerales, I\_Necesidades, II\_Plantear Ración y III\_Resultado Ración; también hay una hoja explicativa de la cría,

para justo antes del racionamiento de esta aplicación. También hay tres hojas auxiliares de cálculos: NR, CálculosEV y Parámetros.

Tabla de Forrajes

Los cambios se deben a las nuevas unidades y nutrientes que serán necesarios para la optimización de la ración.

Nombre	MS%	UFL	UFV	MNT_P2	PDIA	PDI	BPR	UEL	UEB	UEM	Nlref	dMO	MOD	EE	FB	NDF	ADF	Lignina	Cenizas	Ca	P	Mg	Cl	K	Na	S	Co	Cu	Mo	Yodo	Fa	Mn	Sr	Zn	VIA	VIAE	ADL	FF	MOF					
MSDC (cálculo) (raciono) (MSDC) / Analítica	16.92	0.08	0.01	288	72	84	53	0.04	0.18	0.08	2.20	0.78	0.88	91	378	333	297	1.01	5.26	0.68																								
MSDC (cálculo) (raciono) (MSDC) / Valoración	16.92	0.08	0.01	288	72	84	53	0.04	0.18	0.08	2.20	0.78	0.88	91	378	333	297	1.01	5.26	0.68																								

Todos los alimentos tanto forrajeros como concentrados están actualizados con la aplicación *Valoración Nutritiva GR 2020*.

Las columnas son las siguientes:

Nombre	Forraje, verde, seco o ensilado
MS %	MS en%
UFL	Unidad forrajera leche
UFV	Unidad forrajera carne " <i>viande</i> "
MNT_PB	g materia nitrogenada total o proteína bruta/kg MS
PDIA	g proteína digestible intestinal alimentaria/kg MS
PDI	g proteína digestible intestinal/kg MS
BPR	Balance proteico en el rumen, g/kg MS
UEL	Unidad de repleción " <i>encombremet</i> " leche
UEB	Unidad de repleción " <i>encombremet</i> " vacuno
UEM	Unidad de repleción " <i>encombremet</i> " ovino
Nlref	Nivel ingestión de referencia% peso vivo
dMO	Digestibilidad de la materia orgánica
MOD	Materia orgánica digestible g/kg MS
EE	Extracto etéreo (grasas totales), g/kg MS
FB	Fibra bruta, g/kg MS
NDF	Fibra neutro detergente, g/kg MS
ADF	Fibra ácido detergente, g/kg MS
Lignina	ADL, lignina, g / kg MS
Cenizas	g/kg MS
Ca	Calcio, g/kg MS
P	Fósforo, g/kg MS
Mg	Magnesio, g / kg MS
Cl	Cloro, g / kg MS
K	Potasio, g/kg MS
Na	Sodio, g/kg MS
S	Azufre, g/kg MS
Co	Cobalto, mg/kg MS
Cu	Cobre, mg/kg MS
Mo	Molibdeno, mg/kg MS
Yodo	I, mg/kg MS

Fe	Hierro, mg/kg MS
Mn	Manganeso, mg/kg MS
Se	Selenio, mg/kg MS
Zn	Zinc, mg/kg MS
Vit A	Vitamina A, UI/kg MS
Vit D	Vitamina B, UI/kg MS
Vit E	Vitamina E, UI/kg MS
AG	Ácidos grasos, g/kg MS
DT_N	Degradabilidad proteica en el rumen
PF	Productos de la fermentación, g/kg MS
MOF	Materia orgánica fermentescible, g/kg MS

Las tablas de concentrados y de minerales tienen la misma estructura.

### I Necesidades

La hoja de necesidades consta de una selección del tipo de vacuno de referencia en engorde - finalización - o en crecimiento, al que se adapte el animal objeto, y la correspondiente salida de resultados; también hay una serie de guías sobre diferentes razas.

La hoja tiene la siguiente forma:

**Producción de carne: Engorde y finalización**

Elegir tipo de bovino

1. Tipo de vacuno (finalización) **gran formato (carne)**

**Datos orientativos**

Peso vivo inicial a partir de	300,00
Peso vivo final hasta	800,00
Peso inicio	400
Para el peso inicial: GMD, kg/día	1,21
GMD, kg/día	1,03
Período racionamiento, tiempo en días	30,00
GMD normal	
Possible peso final	430,9

**Necesidades Totales**

UFV	6,35
PDI	586,56
Ca	18,11
P	16,97
Cl, URB	7,22
Mg	10,40
Cl	10,40
K	43,27
Na	7,52
S	16,99
Co	0,93
Cu	100,61
Mn	0,00
Iodo	2,40
Fe	350,20
Mn	202,80
Se	2,55
Zn	284,80
Vit A	44000,00
Vit D	6400,00
Vit E	1040,00
Gproteínas/EPDI	283,84
Cl, MSI	8,50
EPDI	0,64
BPR mínimo	-2,00
BPR máximo	-7,50

**Datos para el racionamiento**

Elegir modalidad racionamiento

Período racionamiento (días)

Tolerancia cálculos (%) **12,5**

Mínimo % MS Forraje **50**

**Guías**

**Características de algunas razas**

**Terberos:** Terberos 9-10 meses (300-350 kg), Terberos 12 meses (430 kg). Añojo pesado (550-600 kg). Ganancia media diaria: 1.540 g. IC (4,3) hasta 300 kg.; Ganancia media diaria: 1.670 g. IC (4,1) hasta 460 kg.; Ganancia media diaria: 1.750 g. IC (4,3) hasta 550 kg.

**Leche**

**Razas de leche, carne, rústicas**

Frisona-Holstein; Pardo-Suiza; Jersey; Ayrshire; Guernsey; Menorquina; Shorthorn; Tarentaise; Normanda; Montbeliarda; Abondance; Danesa Vermella; Bretona; Simental o Fleckvieh, etc.

Fase de engorde (del destete en adelante): En el punto de inflexión el crecimiento es máximo, el peso a la pubertad es 2/3 del peso adulto. Si la alimentación es adecuada las terneras de raza lechera llegan a la pubertad entre 9 y 11 meses, y los terneros entre 11 y 12 meses. En las razas de carne el período es más largo.

**Producción de carne y tipos comerciales**

**Sistema de engorde intensivo**  
(pienso y paja -10 a 15% MS de la ración - ad libitum)

1. Inicio:

- Destetados Pv: 150 Kg
- Pasteros Pv: 180-200 Kg

2. Final:

- "**Ternera carne rosada**" (terneros sacrificados entre 8 y 10 meses; Pv: 350-400 Kg; Pcanal 240-250 Kg (son frisonas y frisona x raza carne y terneras raza carne) (precozes)
- "**Añojos**" "beceros de un año" (terneros sacrificados entre 11 y 12 meses; Pv: 450-500 Kg; Pcanal 280-300 Kg (son terneros raza carne, rústicas x razas carne, razas importación) (tardíos)

**Ejemplo ternera frisona**

Peso inicio: 55 Kg ⇨ Peso final: 390 Kg  
Ciclo: 270 días (9 meses)

- Fase cría: 2 meses (leche (10 Kg), pienso starter (80-70 Kg), forraje)
- Fase adaptación a engorde: 1 mes (pienso starter (80-100 Kg), paja)
- Fase engorde: 5 meses (pienso crecimiento (800 Kg), paja)
- Fase finalización: 2 meses (pienso finalización (480 Kg), paja)

**Ejemplo ternera frisón**

Peso inicio: 55 Kg ⇨ Peso final: 495 Kg  
Ciclo: 330 días (11 meses)

- Fase cría: 2 meses (leche (10 Kg), pienso starter (50-70 Kg), forraje)
- Fase adaptación a engorde: 1 mes (pienso starter (80-100 Kg), paja)
- Fase engorde: 7 meses (pienso crecimiento (1.200 Kg), paja)
- Fase finalización: 2 meses (pienso finalización (480 Kg), paja)

**Ejemplo pastero**

Peso inicio: 200 Kg ⇨ Peso final: 490 Kg  
Ciclo: 210 días (7 meses)

- Fase adaptación a engorde: 15 días a 1 mes (pienso adaptación (100 Kg), paja)
- Fase engorde: 4-5 meses (pienso crecimiento (900 Kg), paja)
- Fase finalización: 1-2 meses (pienso finalización (480 Kg), paja)

La entrada de datos se hará con cierto criterio para no obtener resultados poco acordes con el tipo de vacuno, ya que como hemos explicado las características de formación de la carne - proteína y grasa - son diferentes entre ellos.

La entrada es la siguiente:

Elegir tipo de bovino			
1- Terneros Engorde (finalización) gran formato tardíos (Charolés, p.e)			
<b>Datos orientativos</b>			
<b>Peso vivo inicial a partir de</b>		<b>300,00</b>	
<b>Peso vivo final hasta</b>		<b>800,00</b>	
Peso inicio	400	Para el peso inicial: GMD, kg/día	1,21
GMD, kg/día	1,03	Período racionamiento, tiempo en días	30,00
<i>GMD normal</i>		Possible peso final	430,9

Elegimos entre los 11 tipos de vacuno de referencia, y una vez elegido nos da el período de pesos entre el inicio y el final, y nosotros introduciremos el peso inicio sobre el que queremos calcular las necesidades. A la derecha de *Peso inicio* sale la ganancia media diaria alrededor de la cual es ideal el engorde o el crecimiento, por tanto la GMD que nosotros introduciremos debe ser un valor adecuado; si es así saldrá el aviso *GMD normal*, y si no lo es nos dirá si es *excesivo* o nos preguntará si realmente debe ser tan bajo. También pondremos el número de días que tenemos previsto dure el engorde o el crecimiento.

En el ejemplo,  $P_v = 400$  kg y  $GMD = 1,03$  kg/día, si el período es de 30 días el peso final posible será de 431 kg aproximadamente.

El cálculo de necesidades es por día, por lo tanto el peso vivo nos dará las necesidades de mantenimiento, y el GMD (1,03) serán las necesidades de engorde (en este ejemplo) o de crecimiento diario. Las necesidades calculadas salen debajo de esta entrada.

Hay un apartado donde pondremos la tolerancia en el cálculo de reencuentro entre las aportaciones de la ración y las necesidades de proteína y minerales (Ca y P). Y también está el límite inferior de incorporar forrajes, si es 50 significa que la MS forrajera de la ración como mínimo debe ser el 50% del total.

La elección de la modalidad del racionamiento incluye dos posibilidades: forraje y complementación, o pienso y paja. En el segundo caso no se tienen en cuenta las interacciones digestivas ni el cambio de la eficacia de uso de la proteína, y únicamente registrará el % mínimo de MS forrajera que el usuario imponga.

Datos para el racionamiento	
Elegir modalidad racionamiento	
Farratge i complementació	▼
Tolerancia cálculos (%)	12,5
Mínimo % MS Forraje	50

A la derecha de la hoja hay dos guías desplegables sobre las características de algunas razas, sacadas de diferentes hojas de extensión o de divulgación del Ministerio de Agricultura.

También hay algún cuadro sobre las fases de crecimiento y engorde que pueden servir de guía para elegir el tipo de animal de referencia.

## II Plantear Ración

Es la hoja de más dificultad. En primer lugar toda la aplicación debe estar habilitada para **macros**, y en esta hoja en DATOS debemos tener **SOLVER** activado.

La visión total de esta hoja requiere explicaciones:

Selección d'ingredientes, límites d'incorporación i preu							Hoja no protegida. Sólo se deben seleccionar los ingredientes, y para cada uno de ellos añadir las cantidades mínimas y máximas, que nunca deben ser negativas, y el precio de cada uno de ellos						
Iniciar cálculos kg fresco a 0	Límites		Cálculos			Precio ingrediente							
	kg mín	kg máx.	kg fresco	kg MS	% fresco ración	€/kg fresco							
FOLIO DE TRINIDAD	0,00	100,00	2,81	2,39	34,30	0,04	kg fresco total		8,20	86,51 %MS			
FOLIO DE TRINIDAD	0,00	5,00	1,31	1,16	16,02	0,03	kg forraje fresco total		4,13				
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	kg concentrat fresco total		4,07				
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Aportaciones totales UE		4,63	0,75 UE/kg MS			
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	kg MS total		7,09	8,50 -1,40 Diferencia MS real y calculada			
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	kg MS total forraje		3,55	Tolerancia cálculos (%) 12,5			
	0,00	4,00	0,22	0,19	2,67	0,21	kg MS total concentrado		3,55	Mínima % MS Forraje 50			
	0,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,30	% MS forraje en la ración		50,00				
	0,00	8,00	3,17	2,72	38,62	0,64	PCO		0,50	Axiliar cálculos A 0,34994823			
	0,00	2,00	0,42	0,37	5,16	0,15	Relación UF/UEB forraje		0,39	D 0,41646474			
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	Tasa de sustitución global		0,51	E 1,53588157			
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	VALOR FUNCIÓN OBJETIVO €/ración		2,351	K 4,87527953			
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	COSTE PARTE FORRAJERA		0,152	URc 0,66571101 0,510197564			
	0,00	0,20	0,20	0,20	2,44	0,14	COSTE PARTE CONCENTRADA		2,199	URf 1,30481025			
	0,00	0,30	0,06	0,05	0,68	0,44	Parámetros nutritivos, límites, valores finales						
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	Parámetros	Mínimo	Máximo	Valor	Valor/kg MS o %	En algunos ingredientes de la ración no constan los nutrientes...	
	0,00	1,00	0,01	0,01	0,11	0,29	MSI (kg/día)	0,00	999,00	7,09			
	0,00	1,00	0,00	0,00	0,01	0,07	%MS ración	0,00	999,00	86,51			
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	UEB	5,05	7,22	5,29		0,75	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	UFV	6,67	6,67	6,67		0,84	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	PDI	481,68	619,30	529,17		74,61	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	BPR	-2,00	-7,50	-14,19		-2,00	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	NI	1,78	4,78	4,77		1,77	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	Ca	35,85	20,38	20,38		2,87	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	P	34,85	19,09	19,09		2,69	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	UFV	6,35	9,10	11,70		1,17	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	PDI	586,56	37,86	48,68		5,26	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	NecPDI_Pluendo	124,80	Na	6,58	8,46	4,12	0,58
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	PDI - NecPDI_Pluendo	461,76	S	14,87	19,12	0,01	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	EPDI	0,64	Cl	9,10	11,70	0,05	0,01
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			Co	0,82	1,05	0,27	0,04
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			Cu	88,04	113,19	16,93	2,39
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			Mn	177,45	228,15	139,72	19,70
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			Zn	249,20	2,70	91,49	12,90
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			Iodo	2,10	2,70	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			Se	2,23	2,87	0,13	0,02
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			Vit A	38500,00	49500,00	177.765,16	25.063,50
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			Vit D	5600,00	7200,00	177,31	25,00
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			Vit E	910,00	1170,00	44,06	6,21
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			AG		356,06	50,20	AG
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			MNT PB		855,43	120,61	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			PDIA		216,72	30,56	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			dMO		0,67	0,70	0,67
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			MDD		4.511,08	836,02	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			EE		407,39	5,74	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			FB		1486,76	209,62	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			NDF		2930,63	413,20	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			ADF		1.608,31	226,76	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			Lignina		168,59	23,77	Lignina
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			cenizas		369,15	52,05	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			Mo		1,86	0,26	Mo
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			DT N		0,60	0,60	DT N
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			MOF		3.950,48	556,99	MOF
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			MO		5.929,85	836,06	
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01			PDI/UFV		80,83	103,93	79,34

La entrada de datos se hace en las casillas: 0,30

El resto son casillas de cálculos o casillas donde salen las necesidades previamente calculadas, y muchas de ellas son cálculos auxiliares para facilitar la comprensión de los procesos reiterativos dentro cada iteración.

Arriba a la izquierda una vez seleccionados los ingredientes que queremos que entren en la ración, o sencillamente los alimentos que participan en la formulación, debemos clicar Pulsar en la casilla de ingredientes



La selección de ingredientes tiene 6 posiciones para forrajes, columnas 4 a 9; 11 posiciones para concentrados, columnas 10 a 20; 6 posiciones para minerales, columnas 21 a 26. Para cada ingrediente podemos entrar dos valores, mínimo y máximo. Si el ingrediente está seleccionado y el mínimo es 0 y el máximo 0, no entrará en los cálculos.

Para el buen funcionamiento del *Solver* el primer ingrediente (forraje) debe estar activo, es decir seleccionado y el valor más alto, ya que es el alimento que manda el proceso de sustitución con los concentrados. Una vez generada la ración es cuando el usuario puede decidir si es demasiada cantidad o es poca; la idea es dar libertad al primer ingrediente.

Si a un ingrediente seleccionado queremos ponerle una cantidad fija, pondremos la misma cantidad mínimo y máximo. En la columna de *Precio ingrediente* introduciremos el precio en €/kg fresco o el coste de producción, ya que la programación de la ración es a coste mínimo.

En esencia la programación consiste en que el valor de la función objetivo sea mínimo.

VALOR FUNCIÓN OBJETIVO €/ración	2,351
---------------------------------	-------

Y la función objetivo es  $\sum_4^{26} X(i)x \text{ Precio}(i)$ ; o sea, la suma producto de las cantidades de cada ingrediente por su precio o coste debe ser mínima.

La dificultad es el cumplimiento de una serie de restricciones, que son las que se incluyen dentro del *Solver* propio de la aplicación.

Las restricciones normales, lógicas y sin problemas son las relativas a las cantidades de los posibles 23 ingredientes (forrajes, concentrados y minerales), la cantidad a determinar para cada uno de ellos debe ser superior a 0, superior a la cantidad mínima e inferior a la cantidad máxima, previamente introducidas.

Las otras restricciones son las relativas a los *parámetros nutritivos*, y que en las bases del racionamiento hemos explicado.

Parámetros nutritivos, límites, valores finales					
Parámetros	Mínimo	Máximo	Valor	Valor/kg MS o %	
MSI (kg/día)	0,00	999,00	7,09		En algunos ingredientes de la ración no constan los nutrientes ...
%MS ración	0,00	999,00	86,51		
UEB	5,05	7,22	5,29	0,75	
UFV	6,67	6,67	6,67	0,94	
PDI	481,68	619,30	529,17	74,61	
BPR	-2,00	-7,50	-14,19	-2,00	
NI	1,78	1,78	1,77	1,77	
Ca	15,85	20,38	20,38	2,87	
P	14,85	19,09	19,09	2,69	
Mg	9,10	11,70	8,29	1,17	Mg
K	37,86	48,68	37,31	5,26	K
Na	6,58	8,46	4,12	0,58	Na
S	14,87	19,12	0,01	0,00	S
Cl	9,10	11,70	0,05	0,01	Cl
Co	0,82	1,05	0,27	0,04	Co
Cu	88,04	113,19	16,93	2,39	
Mn	177,45	228,15	139,72	19,70	Mn
Zn	249,20	2,70	91,49	12,90	Zn
Iodo	2,10	2,70	0,00	0,00	Iodo
Se	2,23	2,87	0,13	0,02	Se
Vit A	38500,00	49500,00	177.765,16	25.063,50	Vit A
Vit D	5600,00	7200,00	177,31	25,00	Vit D
Vit E	910,00	1170,00	44,06	6,21	Vit E
AG			356,06	50,20	AG
MNT_PB			855,43	120,61	
PDIA			216,72	30,56	
dMO		0,67	0,70	0,67	
MOD			4.511,06	636,02	
EE			407,39	5,74	
FB			1486,76	209,62	
NDF			2930,63	413,20	
ADF			1.608,31	226,76	
Lignina			168,59	23,77	Lignina
cendres			369,15	52,05	
Mo			1,86	0,26	Mo
DT_N			0,60	0,60	DT_N
MOF			3.950,49	556,99	MOF
MO			5.929,85	836,06	
PDI/UFL	80,83	103,93	79,34	79,34	

Por ejemplo la fila UEB:

UEB	5,05	7,22	5,29	0,75
-----	------	------	------	------

La casilla mínimo (en este caso 5,05) está ligada a la hoja I\_Necesidades y obtiene el valor de la capacidad de ingestión, valor que en esta casilla lo multiplicamos por 0,7 para no ser tan estrictos y facilitar el margen de cálculos. La casilla máximo (en este caso 7,22) de la UEB es el cálculo de la capacidad de ingestión.

La casilla *Valor* (en este caso 5,29) de la fila UEB es la de mayor dificultad. Son las aportaciones de UEB que se calculando, pero no sólo por suma producto de cantidades de ingredientes por el contenido UEB de cada uno de ellos, sino por la variación que supone en el total de UEB la incorporación de concentrados (tasa de sustitución, casilla K14; proporción concentrado casilla K12).

La casilla Valor/kg MS es la concentración por kg MS de la ración calculada.

La restricción del *Solver* es que el valor, en este caso 5,29, esté entre los límites. Y así con el resto de casillas (UFL o UFV, PDI, BPR, Ca y P).

La formación de la restricción UFV:

UFV	6,67	6,67	6,67	0,94
-----	------	------	------	------

Si el animal está en crecimiento UFV será UFL, y el cálculo de las aportaciones se hará según los valores UFL los forrajes y concentrados seleccionados.

Al igual que con las casillas de la UEB, el mínimo se forma a partir de las necesidades calculadas en la hoja I\_Necesidades, pero a diferencia de antes el máximo es igual que el mínimo, ya que la restricción de la energía es que el valor final sea igual a las necesidades afectadas por la depresión de la digestibilidad. Y esta depresión de la digestibilidad en la hoja se calcula en las casillas que están a la izquierda de la hoja bajo la selección de ingredientes, y que como ya hemos explicado son la depresión o cambio debido al nivel de ingestión, el cambio debido la proporción de concentrados y, por último, el cambio debido al balance proteico en el rumen:

<b>Efecto NI</b>	
Nlref	1,78
NI % PV	1,77
dMOm	71,1415758
<b>Δ dMO_NI</b>	0,000223335
<b>Efecto %Co (PCO)</b>	
PCO	0,50
<b>Δ dMO_CO</b>	-0,05
<b>Efecto balance proteico rumen</b>	
MNT ingerida	120,61
MOrD o MOF	556,99
<b>MNrD_rumen (MNF) fermentadas rumen</b>	72,87
<b>MN alim_duodeno (PIA) no ferm en rumen</b>	47,74
MN microbiana intestino ( 41,7 + 71,9 x 10 <sup>-3</sup> x MOrD_rumen + 8,40 x PCO	84,95
MN endógena	14,20
BPR ración	-26,28
<b>BPR ref</b>	-2,00
<b>Δ dMO_BPR</b>	0,015
<b>Σ dMO x PMO</b>	0,70
<b>Efecto total interacciones</b>	0,67

En las dos últimas casillas podemos ver los resultados: en el ejemplo, la suma producto de las cantidades de cada ingrediente seleccionado y que, definitivamente, entra en la ración es la dMO teórica (0,70), y la dMO<sub>c</sub>, corregida es la que suma los efectos (NI, PCO y BPR) igual, en este caso, a 0,67. Esto sería lo que sale al final de las iteraciones en caso de encontrar una solución. Pero mientras tanto no la encuentra, o la va buscando, el valor UFV o UFL que en las casillas mínimo y máximo es igual a las necesidades calculadas multiplicadas por la relación entre dMO, la que se ha estimado por suma producto y la que se va generando debido a las iteraciones sucesivas: (valor de  $\Sigma DMO \times PMO$  - casilla B47 - / valor *Efecto total interacciones* - casilla B48 -). Por lo tanto, a las necesidades UFV o UFL multiplicamos el cálculo de necesidades con la relación  $dMO_{calculada}/dMO_{corregida}$ .

La formación de la casilla PDI:

Es, posiblemente, la que más dificultades genera, ya que INRA-2018 incluye los cambios generados en la eficiencia PDI, tanto en las actividades productivas como en las no productivas, lo que hace que los cálculos de las necesidades en PDI se tengan que hacer sobre la marcha.

PDI	481,68	619,30	529,17	74,61
-----	--------	--------	--------	-------

Los valores del mínimo y máximo están afectados por el margen que hemos dado el cálculo de necesidades (Límites de tolerancia (%)) en el cumplimiento necesidades proteicas, y las necesidades se

generan de la siguiente forma, siguiendo el ejemplo, a la izquierda del apartado de los parámetros hemos incluido los valores que se han obtenido del cálculo de necesidades inicial:

Datos orientativos	
CI	7,22
UFV	6,35
PDI	586,56
NecPDI_PUendo	124,80
PDI - NecPDI_PUendo	461,76
EfPDI	0,64

PDI, en el cuadro de parámetros, son el total de necesidades, que incluye las relativas a NecPDI<sub>PEF</sub> proteínas endógenas fecales, de manera provisional, ya que no conocemos la MSI final, y en este caso ponemos MSI calculada, que para una eficacia, EfPDI = 0,64.

La MSI calculada según la fórmula:  $95 \times Pv^{0,75} / 1000$

Ya en el proceso de calcular la ración  $NecPDI_{PEF} = MSI \times (5 \times (0,57 + 0,0074 \times MOND)) / EfPDI$ , que se incluyen ahora en el mínimo y máximo, con los valores de materia seca ingerida que van generando en cada iteración, y el valor de la materia orgánica no digestible ya afectada por la variación de la dMO, y la eficacia variable en cada iteración *EfPDI*.

De las necesidades que salen del cálculo de la hoja I\_Necesidades, en el ejemplo (586,56) le restamos las NecPDI<sub>PUendo</sub> (124,80) que son las únicas que no están afectadas por la *EfPDI*, y las necesidades que sí están afectadas por la *EfPDI*, en este ejemplo tienen el valor de 461,76.

Por lo tanto en las casillas mínimo y máximo, el valor 461,76 irá multiplicado por la relación de eficiencias ( $0,64 / EfPDI$ ), y, como ya hemos dicho, se sumará el valor NecPDI<sub>PEF</sub> afectado por *EfPDI*, en función de la desviación entre MSI y MSI<sub>calculada</sub> que se va generando.

A la izquierda, debajo de las casillas relativas al cambio en la dMO hay una serie de casillas que nos llevan a la *EfPDI*:

MODc_rumen (MOF corregida)	530,24
PANDI	9,21
dr	0,81
PDIA	38,52
MN microbianas_duodeno (corregida)	85,12
PDI = PDIA + MN microbianas_duodeno x 0,8 x 0,8	93,00
<b>flux de N duodenal endógeno (Actualización)</b>	
MOND = MO - MODc_rumen	305,82
N duodenal endo, g MNT/kg MSI = 14,2 x MSI	100,71
<b>PÉRDIDAS FECALES ENDÓGENAS (PEF) i (NEC_PDI Actualización)</b>	
MNND = 0,163 x MN alim_duodeno + 0,20 x MN mic_duodeno + 5,7 + 0,074 x MOND	53,14
PEF (proteínas endógenas fecales) = 5,7 + 0,074 x MOND	28,33
Nec_PDI_PEF = MSI x [0,5 x (5,7 + 0,074 x MOND)]/EfPDI	155,03
<b>PÉRDIDAS ENDÓGENAS URINARIAS Y (NEC_PDI Actualización)</b>	
log10 NU (N urinario g/día)   log10 NU = - 1,17 + 1,00 x log10 Pv	1,43
NU	27,04
NUNP microbiano/NU = 0,3325/(1 + (NU/0,203))	0,00
NU endo	20,00
<b>Nec_PDI_NU endo</b>	124,80
<b>PÉRDIDAS NITROGENADAS POR LA EPIDERMIS Y (Nec_PDI Actualización)</b>	
P epidérmicas (0,2 g PDI/kg Pv0,60)	7,28
<b>Nec_PDI_P epidérmicas = 0,2 x Pv0,60/EfPDI</b>	11,24
<b>Nec_PDI no productivas</b>	291,07
<b>Eficacia de la síntesis proteica en lactación</b>	
PDI disponible = PDI ingerida - Nec_PDI_NU endógenas	404,37
EfPDI = $\sum$ usos prot/PDI disponible = 0,67xEXP(-0,007x(PDI-100))	0,80
Bal EN	0,32
bal Proteína	-57,39
Incremento o ganancia Proteína	283,84
<b>EfPDI = (PEF + P epid + MP + bal Prote)/PDI disponible</b>	0,65

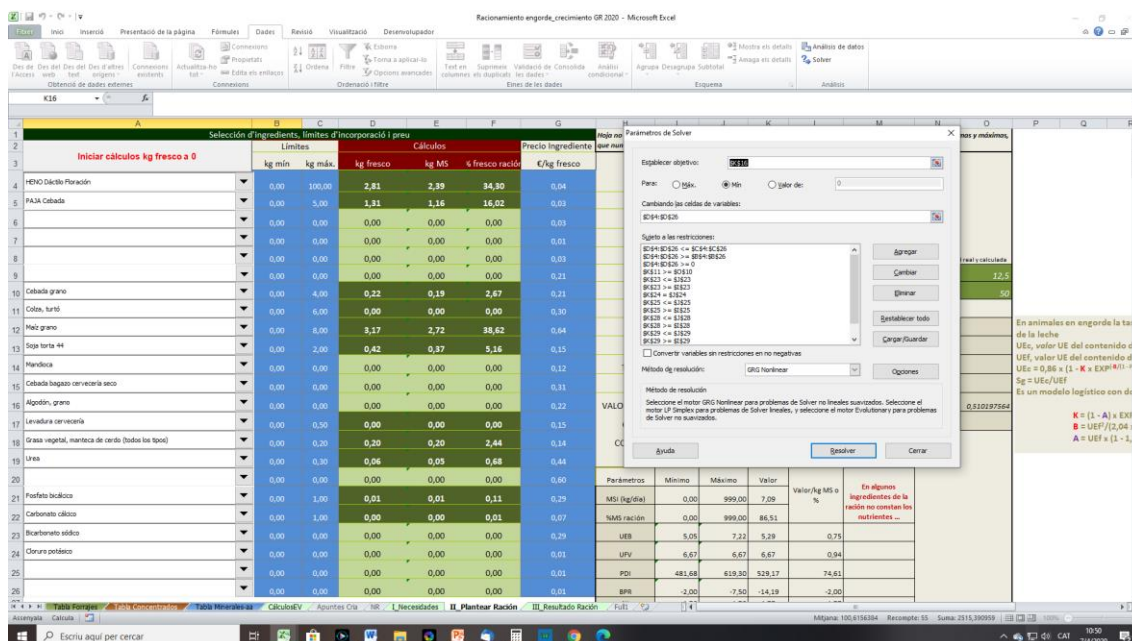
La formación de estas casillas se ha explicado en el apartado de necesidades de proteínas.

Las necesidades en Ca, P y otros minerales se han calculado con la MSI prevista y en las iteraciones (caso de Ca y P) y en los resultados finales para el resto se han ajustado a la MSI final.

En definitiva, las restricciones para la programación, a parte de las propias de las cantidades de cada posible ingrediente que seleccionamos, son las siguientes:

UEB, UFV o UFL, PDI, BPR, Ca y P. El problema está en que todas estas restricciones están influidas por la dMO, EfPDI y la MSI, y éstas lo están por el nivel de ingestión, la proporción de concentrado en la ración y el balance proteico en el rumen (lo que en ediciones anteriores era el equilibrio entre PDIN y PDIE), y la MSI final está determinada por la tasa de sustitución.

En la siguiente imagen podemos ver a la derecha y arriba de todo *Análisis de datos, Solver* que sale porque nos hemos situado en la pestaña *Datos*. Y sobre la hoja *II\_Plantear Ración* sale el cuadro *Parámetros de Solver*, donde se indica la casilla objetivo, que se calculará al mínimo, cambiando los valores de las casillas D4 a D26 que son donde están las cantidades de cada ingrediente previamente seleccionado. Y esto se debe conseguir con una serie de restricciones que están dentro del cuadro central, que ya hemos explicado. A la derecha hay diferentes mandos que sirven para añadir, cambiar o eliminar restricciones. El método que utilizamos es el GRG no lineal. Al clicar *Resolver* se activa el proceso de cálculo.



Al haber tantas restricciones y muchas de ellas ligadas reiterativamente, iteración tras iteración, obtener una solución resulta complicado, pero aquí interviene que el usuario sabe con qué material trabaja, y, muy a menudo, si fijamos un ingrediente forrajero (no el primero de la lista) en una cantidad mínima y máxima, podemos generar que sea más fácil obtener la ración. También es importante hacer el seguimiento de las casillas de los parámetros nutritivos para ver cuáles de ellas no cumplen los límites:

Parámetros nutritivos, límites, valores finales				
Parámetros	Mínimo	Máximo	Valor	Valor/kg MS o %
MSi (kg/día)	0,00	999,00	7,09	Valor/kg MS o %
%MS ración	0,00	999,00	86,51	
UEB	5,05	7,22	5,29	0,75
UFV	6,67	6,67	6,67	0,94
PDI	481,68	619,30	529,17	74,61
BPR	-2,00	-7,50	-14,19	-2,00
NI	1,78	1,78	1,77	1,77
Ca	15,85	20,38	20,38	2,87
P	14,85	19,09	19,09	2,69

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ACKER, D, CUNNINGHOAM, M. 1991. Animal Science and Industry. Fourth Edition. Prentice Hall. USA.
- ANDRIEU J, BARRIERE Y, DEMARQUILLY C. 1999. Digestibilité et valeur énergétique des ensilages de maïs: le point sur les méthodes de prévision au laboratoire. INRA Prod Anim; 12 (5): 391-396.
- AUFRÈRE J, GRAVIOU D, DEMARQUILLY C, VERITE R, MICHALET-DOREAU B, CHAPOUTOT P. 1989. Aliments concentrés pour ruminants: prévision de la valeur azotée PDI à partir d'une méthode enzymatique standardisée. INRA Prod Anim; 2 (4): 249-254.
- BAUMONT R, CHAMPCIAUX P, AGABRIEL J, ANDRIEU J, AUFRÈRE J, MICHALET-DOUREAU B, DEMARQUILLY C. 1999. Une démarche intégrée pour prévoir la valeur des aliments pour les ruminants: PrévAlim pour INRAtion. INRA Prod Anim; 12 (3): 183-194.

- BERG, RT, BUTTERFIELD, RM. 1978. Nuevos conceptos sobre desarrollo de ganado vacuno. Edit. Acribia, Zaragoza, España.
- Calvo, CA. 1978. Ovinos
- COPPOCK, CE. 1987. Supplying the energy and fiber needs of dairy cows from alternate feed sources. J Dairy Sci; 70: 1110-1119.
- DEMARQUILLY C, ANDRIEU J. 1992. Composition chimique, digestibilité et ingestibilité des fourrages européens exploités en vert. INRA Prod Anim; 5 (3): 213-221.
- DEMARQUILLY C. 1994. Facteurs de variation de la valeur nutritive du maïs ensilage INRA Prod Anim; 7 (3): 177-189.
- DI MARCO, O.N. 1998. Crecimiento de vacunos para carne. Editado por O.N. Di Marco. Balcarce, Bs.As.
- DI MARCO, ON. 1993. Crecimiento y respuesta animal. Ed. por Asoc. Arg. de Prod. Animal. Balcarce, Bs.As.
- DOWKER, JD. 1989. Improved energy prediction equations for dairy cattle rations. J Dairy Sci; 72: 2942-2948.
- ENGLISH, PR, FOWLER, VR, BAXTER, S, SMITH, B. 1996. The Growing and Finishing Pig. Edit. By Farming Press.
- FEDNA. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (2ª edición) C. de Blas, G.G. Mateos y P.Gª. Rebollar. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 2003. Madrid, España. 423. (<http://www.etsia.upm.es/fedna/tablas.htm>)
- FOWLER, VR. 1968. Body development and some problems of its evaluation in Growth and Development of Mammals. Butterworth, London.
- GARCÍA SACRISTÁN, A, CASTEJÓN MONTIJANO, F, DE LA CRUZ PALOMINO, LF, GONZÁLEZ GALLEGU, J, MURILLO, LÓPEZ DE SILANES, MD, SALIDO RUIZ, G. 1998. Fisiología Veterinaria. Ed. McGraw-Hill. Interamericana. España.
- GIGER-REVERDIN S, AUFRERE J, SAUVANT D, DEMARQUILLY C, VERMOREL M, POCHET S. 1990. Prédiction de la valeur énergétique des aliments composés pour ruminants. INRA Prod Anim; 3(3): 181-188.
- GÜRTLER, H, KETZ, HA, KOLB, E, SCHRÖDER, L, SEIDEL, H. 1971. Fisiología Veterinaria. Ed. Acribia. Zaragoza. España.
- HAMMOND, J. 1960. Farm animals. Edward Arnold Publishers Ltd., 3ª ed, London, VIII, 322 p.
- HELMAN, Mauricio B. 1977. Ganadería tropical. El Ateneo, Bs.As., 155-170.
- IAMZ. 1981. Tableaux de la valeur alimentaire pour les ruminants des fourrages et sous-produits d'origine méditerranéenne. Paris: Serie etudes, Options méditerranéennes.
- IAMZ. 1990. Tableaux de la valeur alimentaire pour les ruminants des fourrages et sous-produits d'origine méditerranéenne. Paris: Serie B, Etudes et recherches, 4, Options méditerranéennes.
- **INRA. 1978.** Alimentation des Ruminants. Paris: INRA.
- **INRA. 1981.** Prédiction de la valeur nutritive des aliments des ruminants. Tables de prédiction de la valeur alimentaires des fourrages. Theix: INRA.
- INRA. 1983. Luzerne. Paris: Centre de Recherches de Lusignan.
- INRA. 1987. Alimentation des Ruminants: Révision des systèmes et des tables de l'INRA. Bull Tech CRZV, Theix INRA; n° 70.
- **INRA. 1988.** Alimentation des Bovins Ovins et Caprins. Paris: INRA.
- **INRA. 2007.** Alimentation des Bovins Ovins et Caprins. Besoins des animaux-Valeurs des aliments. Tables INRA. Versailles: Quae.
- **INRA. 2018. Alimentation des ruminants. Éditions Quae.**
- INRAP. 1984. Alimentation des Bovins. Paris: ITEB.
- ITEB-EDE. 1989. Pratique de l'alimentation des bovins. Tables de l'INRA 1998. Paris: ITEB.
- JOHNSON L, HARRISSON JH, HUNT C, SHINNERS K, DOGGETT CG, SAPIENZA D. 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: a contemporary review. J Dairy Sci; 82: 2813-2825.
- LEROY A. 1968. La vaca lechera. Barcelona: Editorial GEA.
- MICHALET-DOREAU B, NOZIÈRE P. 1999. Intérêts et limites de l'utilisation de la technique des sachets pour l'étude de la digestion ruminale. INRA Prod Anim; 12 (3): 195-206.

- MICHALET-DOREAU B. 1992. Aliments concentrés pour ruminants: dégradabilité in situ dans le rumen. INRA Prod Anim; 5(5): 371-377.
- NRC. 1988. Nutrient Requirement of Dairy Cattle. 6ª edició revisada. Washington: National Academy Press.
- NRC. 1989. Nutrient requirements of dairy cattle. 6a. edició. Washington: National Academy Press.
- NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7a edició. [en línia] disponible a <http://books.nap.edu/books/0309069971>.
- PRESCOTT, J.H.D. 1982. Crecimiento y Desarrollo de los Corderos, En: Manejo y Enfermedades de las Ovejas. Edit. Acibia. Zaragoza. España.
- SAUVANT D, PÉREZ JM, GILLES T. 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. París: INRA.
- SEGUÍ A, SERRA P. 2000. Programa informàtic d'alimentació de vaques. Nº Registre Propietat Intel·lectual B-40754.. Lleida: Servei de Biblioteca, dossiers electrònics, ETSEA-UdL.
- SEGUÍ A. 1978. Tablas alimenticias y racionamiento en Catalunya. Reus: SEA.
- SEGUÍ A. 1979. Ejemplo teórico para equilibrar una ración de maíz. Reus: SEA. FIT 4/ 79.
- SEGUÍ A. 1982. Alimentació de vaques de llet. Alimentació de bovins de carn. Barcelona: DARP, SEA.
- SEGUÍ A. 1983. Alimentació de vaques de llet; equilibri de racions de volum: aliments concentrats. Pinsos per a produir llet. Reus: SEA. FIT 22/83.
- SEGUÍ A. 1983. Estudi de racions alimentàries per a vaques de llet a la comarca del Gironès. Reus: SEA. FIT 23/83.
- SEGUÍ A. 1988. Racionament alimentari de vaques de llet. Barcelona: Caixa de Catalunya, Departament d'Agricultura Ramaderia y Pesca de la Generalitat de Catalunya.
- SEGUÍ A. 1989. Matèria seca, farratgera, concentrada... i la fibra?. Barcelona: SEA. Full de Divulgació 33/89.
- SEGUÍ A. 2005.- La necesidad de extensión agraria en vacuno lechero. Sanz E. (director) [Tesis doctoral]. Universitat de Lleida.
- SEGUÍ PARPAL, A. 2009. L'explotació de vaques de llet. Factors de producció i bases de la comunicació per a la innovació. Coedició DAR UdL.
- VAN SOEST PJ. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. New York: OB Books, Inc.
- VAN SOEST PJ. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2a edició. New York: OB Books, Inc.
- VERDE, L. (1974). Estado actual de los conocimientos sobre crecimiento compensatorio. AAPA Prod.
- ZIMMER N, CORDESSE R. 1996. Influence des tanins sur la valeur nutritive des aliments des ruminants. INRA Prod Anim; 9 (3): 167-179.