

---

*Descripción del comportamiento alimentario en cuatro razas porcinas y estudio de su relación con la productividad, el gen del halotano y la jerarquía social*

Memoria presentada por Josep Fernández Capo  
para optar al grado de Doctor en Veterinaria

---



**“Give me that man that is not passion’s slave, and I  
will wear him in my heart’s core, ay, in  
my heart of heart”.**

*William Shakespeare (Hamlet)*

**A mi hermana Merche, por el ejemplo que nos da  
a todos en medio de las dificultades y a mis  
padres, a quienes nunca podré agradecer  
suficientemente todo lo que  
hacen por mí.**



## *Agradecimientos*

---

Al Dr. Xavier Manteca, mi director de tesis, por su habilidad para combinar aspectos difíciles de conciliar: exigencia, amistad, comprensión, empuje y libertad. La amistad que he forjado con él justifica, ella sola, todos estos años de trabajo esforzado.

Al Dr. Joan Tibau, al Sr. Joaquim Soler y al Sr. Xavier Puigvert, del CCP del IRTA que me facilitaron los datos y me atendieron en todas las consultas que les hice.

Al Dr. Jesús Piedrafita, mi tutor de tesis, que proporcionó el contacto inicial con el CCP, permitió que se iniciara el trabajo y me ayudó en el tratamiento estadístico de la información. Sus consejos exigentes me han ayudado a no conformarme con un trabajo realizado a medias.

Al Dr. José Luis Ruíz de la Torre que colaboró en la primera etapa de organización y análisis de la información y nunca dejó de animarme.

Al Dr. Antonio Velarde por la ayuda que me prestó en la filmación de los animales y en el posterior análisis del comportamiento social.

A mis familiares y amigos que con su aliento han conseguido motivarme constantemente.

Finalmente, aunque es a quien más debo, a Dios por la paciencia que me ha dado durante estos largos siete años. Verdaderamente puedo expresar con mis labios lo que un día escribió Santa Teresa de Jesús: “Nada te turbe, nada te espante, todo se pasa, Dios no se muda. La paciencia todo lo alcanza, quien a Dios tiene nada le falta, sólo Dios basta”.



## *Abreviaturas*

---

CAC	Consumo medio de alimento por comida (g)
CAD	Consumo medio de alimento diario (g/día)
CAT	Consumo de alimento total en el periodo de 50 días (g)
CAV	Consumo medio de alimento por visita (g)
GD	Espesor de la grasa dorsal (mm)
GMPD	Ganancia media de peso diaria (g/día)
GR	Espesor de la grasa renal (mm)
IC	Índice de conversión (g alimento/g peso vivo)
IRS <sub>A</sub>	Índice del rango social del animal A
IRSM <sub>A</sub>	Índice del rango social del animal A (considerando las montas)
NCD	Número de comidas diarias (nº/día)
NCT	Número de comidas totales en el periodo de 50 días (nº)
NDN	Número de días en los que se producen visitas de consumo nulo (nº)
NVD	Número de visitas diarias (nº/día)
NVND	Número de visitas de consumo nulo diarias (nº/día)
NVNT	Número de visitas de consumo nulo totales en el periodo de 50 días (nº)
NVT	Número de visitas totales en el periodo de 50 días (nº)
PI	Peso inicial (Kg)
SACA	Suministrador Automático de Consumo Alimentario
TDVN	Tiempo diario en visitas de consumo nulo (min/día)
TIC	Tiempo de ingestión por comida (min)
TID	Tiempo de ingestión diario (min/día)
TIT	Tiempo de ingestión total en el periodo de 50 días (min)
TIV	Tiempo de ingestión por visita (min)
TTVN	Tiempo total en visitas de consumo nulo en el periodo de 50 días (min)
TVN	Tiempo por visita de consumo nulo (min)
VID	Velocidad de ingestión diaria (g/min)



## ***CONTENIDOS***

---



<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Interés del comportamiento alimentario del cerdo .....</b>	<b>3</b>
1.1.1. La disminución del apetito en el cerdo .....	3
1.1.2. Los Suministradores Automáticos de Consumo Alimentario (SACA) .....	5
1.1.3. Un antes y un después en el estudio del comportamiento alimentario .....	10
<b>1.2. El estudio del comportamiento alimentario antes de la aparición del Suministrador Automático de Consumo Alimentario .....</b>	<b>11</b>
1.2.1. Regulación fisiológica del apetito.....	11
1.2.1.1. Control del apetito: la señal de saciedad.....	11
1.2.1.2. Dos tipos de control del apetito: a corto y a largo plazo.....	12
1.2.2. Factores que modifican el apetito .....	18
1.2.2.1. Factores ambientales.....	18
1.2.2.2. Factores nutricionales .....	20
1.2.2.3. Factores del animal .....	22
1.2.3. Estudio de otros parámetros alimentarios diferentes al apetito .....	24
<b>1.3. El estudio del comportamiento alimentario después de la aparición del Suministrador Automático de Consumo Alimentario .....</b>	<b>25</b>
1.3.1. Depuración e interpretación de la información del SACA .....	25
1.3.2. Descripción de la conducta alimentaria .....	27
1.3.2.1. Parámetros de conducta alimentaria .....	27
1.3.2.2. El criterio de comida.....	28
1.3.2.3. Evolución de los parámetros (ritmos circadianos).....	35
1.3.2.4. Ocupación del comedero.....	35
1.3.2.5. Relaciones internas entre los parámetros alimentarios .....	35
1.3.2.6. Genética de los parámetros alimentarios .....	36
1.3.3. Mecanismos de regulación del comportamiento alimentario .....	37
1.3.4. Influencia de los factores sociales.....	38
1.3.4.1. La conducta social.....	38
1.3.4.2. Influencia de la competencia social sobre el comportamiento alimentario .....	41

1.3.5. Relación entre la conducta alimentaria y la productividad.....	44
1.3.5.1. Parámetros productivos.....	44
1.3.5.2. Relación entre los parámetros alimentarios y los productivos.....	45
<b>1.4. Problemas sin resolver.....</b>	<b>46</b>
1.4.1. Aspectos metodológicos .....	46
1.4.1.1. Criterios de depuración.....	46
1.4.1.2. Criterio de comida.....	46
1.4.1.3. Consumos nulos .....	47
1.4.2. Descripción de la conducta alimentaria .....	48
1.4.2.1. Evolución a lo largo del tiempo y consistencia .....	48
1.4.2.2. Ritmo circadiano y ocupación .....	49
1.4.2.3. Flexibilidad de la conducta alimentaria .....	49
1.4.3. Efecto raza .....	50
1.4.4. Efecto halotano .....	52
1.4.4.1. El gen del halotano.....	52
1.4.4.2. Efecto halotano sobre la productividad y el apetito.....	54
1.4.5. Importancia de los factores sociales .....	54
1.4.6. Relación del comportamiento alimentario con la productividad .....	55
1.4.7. Las correlaciones prandiales .....	55
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>57</b>
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>63</b>
<b>3.1. Diseño experimental .....</b>	<b>65</b>
3.1.1. Animales .....	65
3.1.2. Condiciones ambientales y nutricionales.....	68
3.1.2.1. Alimentación.....	68
3.1.2.2. Instalación y ambiente .....	68
<b>3.2. Obtención y tratamiento de la información .....</b>	<b>69</b>
3.2.1. Registro de la información.....	69
3.2.2. Depuración de datos.....	71

---

3.2.3. El criterio de comida.....	74
3.2.3.1. Técnica utilizada.....	74
3.2.3.2. Estudio comparativo de los 4 métodos de cálculo del criterio de comida.....	77
3.2.3.3. Estudio comparativo de la aplicación de un criterio de comida global respecto a uno individual.....	77
<b>3.3. Obtención de parámetros.....</b>	<b>78</b>
3.3.1. Parámetros contruidos a partir de la información del SACA.....	78
3.3.1.1. Parámetros alimentarios.....	78
3.3.1.2. Parámetros de consumo nulo.....	80
3.3.2. Parámetros productivos.....	81
3.3.3. Parámetro de comportamiento social.....	82
3.3.3.1. Animales.....	82
3.3.3.2. Observación de los animales.....	82
3.3.3.3. Información obtenida.....	83
3.3.3.4. Parámetro escogido.....	83
3.3.3.5. Análisis de los datos.....	83
3.3.3.6. Estudio de la importancia de considerar la monta.....	84
3.3.4. Identificación del gen halotano.....	84
<b>3.4. Evolución de los parámetros alimentarios.....</b>	<b>85</b>
3.4.1. Evolución en el tiempo.....	85
3.4.2. Evolución con la edad.....	85
3.4.3. Evolución con el peso vivo.....	85
3.4.4. Evolución circadiana.....	86
<b>3.5. Consistencia de los parámetros alimentarios.....</b>	<b>87</b>
<b>3.6. Ocupación del comedero.....</b>	<b>87</b>
<b>3.7. Correlaciones prandiales.....</b>	<b>88</b>
<b>3.8. Estudio de las condiciones paramétricas.....</b>	<b>89</b>
3.8.1. Estudio de la Normalidad.....	89
3.8.2. Estudio de la igualdad de las varianzas.....	89

<b>3.9. Estudio de los efectos raza, estación, halotano y jerarquía.....</b>	<b>90</b>
3.9.1. Efecto raza y estación .....	90
3.9.2. Efecto halotano .....	91
3.9.3. Efecto jerarquía.....	91
<b>3.10. Estudio de las correlaciones entre parámetros .....</b>	<b>93</b>
<b>3.11. El comportamiento social y la ocupación del comedero .....</b>	<b>94</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>95</b>
<b>4.1. Aspectos metodológicos.....</b>	<b>97</b>
4.1.1. Criterios de depuración .....	97
4.1.2. El criterio de comida.....	98
4.1.2.1. Diferencias entre los 4 métodos de cálculo del criterio de comida.....	99
4.1.2.2. Diferencias entre la aplicación de un criterio de comida global o individualizado.....	99
4.1.3. Parámetros de consumo nulo .....	101
4.1.3.1. Importancia absoluta y relativa de los parámetros de consumo nulo ..	101
4.1.3.2. Evolución de los parámetros de consumo nulo en el tiempo.....	103
4.1.3.3. Relaciones internas entre los parámetros de consumo nulo.....	105
<b>4.2. Descripción de la conducta alimentaria.....</b>	<b>106</b>
4.2.1. Parámetros alimentarios.....	106
4.2.2. Evolución de los parámetros alimentarios .....	109
4.2.2.1. Evolución en el tiempo .....	109
4.2.2.2. Evolución con la edad.....	121
4.2.2.3. Evolución con el peso vivo .....	124
4.2.2.4. Evolución circadiana.....	133
4.2.3. Consistencia de los parámetros alimentarios .....	139
4.2.4. Ocupación del comedero.....	141
4.2.5. Relaciones internas de los parámetros alimentarios .....	143

<b>4.3. Efecto raza y estación .....</b>	<b>146</b>
4.3.1. Efecto raza y estación sobre el criterio de comida.....	146
4.3.2. Efecto raza sobre los parámetros de consumo nulo .....	146
4.3.3. Efecto raza y estación sobre los parámetros alimentarios .....	146
<b>4.4. El efecto halotano .....</b>	<b>149</b>
4.4.1. Incidencia del gen halotano por razas .....	149
4.4.2. Efecto halotano sobre los parámetros alimentarios .....	149
<b>4.5. Importancia de los factores sociales.....</b>	<b>151</b>
4.5.1. Efecto de considerar la monta.....	151
4.5.2. Efecto de la jerarquía sobre los parámetros de consumo nulo.....	151
4.5.3. Efecto de la jerarquía sobre los parámetros alimentarios .....	151
4.5.5. Relación entre la jerarquía y el ritmo circadiano de ocupación.....	154
<b>4.6. Relación entre la conducta alimentaria y la productividad.....</b>	<b>156</b>
4.6.1. Productividad .....	156
4.6.1.1. Parámetros productivos: efecto raza y estación .....	156
4.6.1.2. Efecto halotano sobre los parámetros productivos .....	157
4.6.1.3. Efecto de la jerarquía sobre los parámetros productivos .....	157
4.6.1.4. Relaciones internas de los parámetros productivos .....	160
4.6.2. Relación entre los parámetros alimentarios y los productivos.....	162
4.6.3. Relación de la conducta de consumos nulos con los parámetros alimentarios y los productivos .....	165
4.6.3.1. Relación entre los parámetros de consumo nulo y los alimentarios ....	165
4.6.3.2. Relación entre los parámetros de consumo nulo y los productivos .....	168
<b>4.7. Mecanismos de regulación del comportamiento alimentario: las correlaciones prandiales .....</b>	<b>170</b>
4.7.1. Tipología Prandial.....	170
4.7.2. Valores medios de las correlaciones prandiales.....	170
4.7.3. Diferencias entre razas .....	170

<b>5. DISCUSIÓN .....</b>	<b>173</b>
<b>5.1. Aspectos metodológicos.....</b>	<b>175</b>
5.1.1. Los criterios de depuración.....	177
5.1.2. El criterio de comida.....	180
5.1.3. Parámetros de consumo nulo .....	182
<b>5.2. Descripción del comportamiento alimentario en el cerdo.....</b>	<b>185</b>
5.2.1. Parámetros alimentarios.....	187
5.2.2. Evolución de los parámetros alimentarios .....	189
5.2.2.1. Evolución a lo largo del periodo de 50 días: con el tiempo, con la edad y con el peso vivo .....	189
5.2.2.2. Evolución circadiana.....	190
5.2.3. Consistencia de los parámetros alimentarios .....	194
5.2.4. Ocupación del comedero.....	196
5.2.5. Relaciones internas entre los parámetros alimentarios .....	198
5.2.6. Consideraciones sobre los parámetros alimentarios .....	201
<b>5.3. Influencia de algunos efectos sobre el comportamiento alimentario .....</b>	<b>205</b>
5.3.1 Efectos raza y estación.....	207
5.3.1.1. Sobre el criterio de comida .....	207
5.3.1.2. Sobre los parámetros de consumo nulo .....	207
5.3.1.3. Sobre los parámetros alimentarios y productivos .....	208
5.3.2. Efecto halotano sobre la conducta alimentaria y la productividad .....	214
5.3.2.1. Incidencia del gen halotano por razas.....	214
5.3.2.2. Influencia sobre los parámetros alimentarios y los productivos.....	214
5.3.3. Influencia de la jerarquía social sobre la conducta alimentaria y la productividad, en la raza Large White.....	215
5.3.3.1. Aspectos metodológicos .....	215
5.3.3.2. Efecto de la jerarquía sobre los consumos nulos y el ritmo circadiano.....	215
5.3.3.3. Efecto de la jerarquía sobre los parámetros alimentarios y los productivos.....	217

<b>5.4. Relación entre la conducta alimentaria y la productividad.....</b>	<b>221</b>
5.4.1. La productividad .....	223
5.4.2. Relación entre los parámetros productivos, los alimentarios y los de consumo nulo .....	224
<b>5.5. Mecanismos de regulación del comportamiento alimentario .....</b>	<b>229</b>
5.5.1. Las correlaciones prandiales .....	231
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>235</b>
<b>7. REFERENCIAS.....</b>	<b>241</b>



## ***1. INTRODUCCIÓN***

---



## **1.1. Interés del comportamiento alimentario del cerdo**

Recientemente, el estudio del comportamiento alimentario del cerdo se ha visto favorecido por una serie de acontecimientos. Por una parte, se ha constatado la disminución progresiva del apetito en el cerdo y, como consecuencia, muchos esfuerzos han sido dirigidos a defender este parámetro alimentario. Por otro lado, las nuevas tecnologías han propiciado la aparición del suministrador automático de consumo alimentario, que ha supuesto un punto de inflexión en el estudio de la ciencia del comportamiento alimentario del cerdo.

### ***1.1.1. La disminución del apetito en el cerdo***

El apetito de los cerdos –el deseo de nutrientes expresado en términos de consumo voluntario de alimento (Whittemore, 1993a)– ha sufrido un descenso considerable en los últimos años. La causa principal de la disminución del consumo voluntario en el cerdo se debe al mercado, que ha premiado las carnes con elevado porcentaje de magro y con poca grasa dorsal. Estas tendencias del mercado se tradujeron en una selección genética a favor del índice de conversión y del porcentaje de magro, sin prever el efecto negativo que tendría, a corto plazo, sobre el consumo voluntario de alimento y, a largo, sobre el crecimiento (Webb, 1989; Smith *et al.*, 1991). Posteriormente, se ha comprobado que esta reducción del apetito es congruente con las correlaciones negativas entre el consumo voluntario, por una parte, y el porcentaje de magro y la eficiencia de conversión, por otra (Wyllie *et al.*, 1979; Kanis, 1988; De Haer, 1992). Los cerdos con mayor consumo tienden a tener un peor índice de conversión y menor porcentaje de magro. La raíz de este descenso del apetito puede estar en que la selección tradicional haya disminuido la capacidad intestinal de los animales (Tybirk, 1989). En este sentido, Kanis (1990) comprobó que los cerdos con mayor capacidad de ingestión teórica (capacidad teórica de apetito) eran más grasos y tenían menor contenido de magro, tanto si eran alimentados *ad libitum* como con alimentación restringida.

En vista de estos resultados: los cerdos seleccionados tienen menor apetito y son más magros, la actual selección genética busca un equilibrio entre la reducción de la grasa y la defensa del apetito. Algunos ejemplos de nuevas propuestas de selección los encontramos en Webb (1989), Kanis (1990), Mrode y Kennedy (1993), Cameron (1998), Olliver (1998) y Eissen (2000).

La disminución del apetito provocada por la selección tradicional se ha visto agudizada en algunos sitios por el abandono de la práctica de la castración. Hace un tiempo, prácticamente la totalidad de los cerdos machos eran castrados para evitar el riesgo del olor sexual. Éste consiste en que la cocción de las carnes de cerdos que han alcanzado la madurez sexual puede desprender un olor desagradable, con predominio de olor a orina o fecal en función del compuesto responsable. La acumulación en la grasa de los animales de la androsterona sintetizada en los testículos (olor de tipo urinario) y del escatol derivado de la degradación del triptófano en el intestino delgado (olor de tipo fecal) es la responsable del olor sexual (Concellón, 1991).

La mejora en el crecimiento diario y la consiguiente reducción de la edad y maduración en el momento del sacrificio, ha posibilitado que muchos ganaderos utilicen machos enteros, con escasos riesgos de olor sexual. Como los machos enteros tienen un mejor índice de conversión que los castrados, poco a poco, han ido ocupando el mercado (Riley, 1989). La adopción de esta estrategia ha tenido consecuencias para el consumo voluntario de alimento pues se ha demostrado que los machos enteros consumen un 13 % menos que los machos castrados cuando son alimentados *ad libitum* en los periodos de cebo y acabado (Fowler *et al.*, 1987).

Como el consumo voluntario (o apetito) es un parámetro alimentario, todos los esfuerzos encaminados a defenderlo no sólo han asegurado la productividad del cerdo sino que han facilitado el estudio del comportamiento alimentario bajo este parámetro.

### **1.1.2. Los Suministradores Automáticos de Consumo Alimentario (SACA)**

Otro motivo que, junto con la defensa del apetito, ha favorecido indirectamente el desarrollo del estudio del comportamiento alimentario ha sido la aparición del Suministrador Automático de Consumo Alimentario (SACA), que permite el control individual de la ingestión de alimento en animales alojados en grupo (en condiciones parecidas a la granja comercial). Este aparato está dotado de un comedero que cuelga libre sobre una báscula indicadora del contenido de la tolva y de una antena para leer los códigos de los cerdos. A cada animal se le coloca en la oreja un identificador electrónico el cual permite que el suministrador registre, para cada visita al comedero, la hora de entrada y de salida, el peso inicial y final del pienso de la tolva, el código del animal, el número de corral y la fecha. Toda esta información es transmitida y almacenada en un ordenador para ser analizada posteriormente.

El uso del SACA se ha debido al interés por evitar el riesgo de la interacción genotipo \_ ambiente provocada por el diferente sistema de alojamiento entre la granja comercial (alojamiento en grupo) y el centro de testaje de reproductores (alojamiento individual), y también porque se han querido abaratar los costes del control individual del consumo de alimento (De Haer *et al.*, 1992).

La interacción del genotipo con el ambiente se produce cuando un agente ambiental influye sobre un colectivo de animales provocando que la expresión del genotipo para un determinado carácter varíe de diferente forma en cada animal. Si la acción del agente ambiental limita a todos los animales por igual no hay problema y sí, en cambio, cuando unos animales se ven favorecidos mientras otros son perjudicados.

Hasta ahora, todos los centros de testaje de cerdos requerían el alojamiento individual de los animales para valorar el consumo individual. Este aspecto les diferenciaba de las granjas comerciales, donde los cerdos son alimentados en grupo. Existe el riesgo de que el ambiente (sistema de alojamiento: individual o en grupo) interaccione con el genotipo de los animales y provoque que el rango de los valores genéticos obtenidos sea diferente para cada sistema de alojamiento; posiblemente debido al efecto ambiental de la jerarquía social y de la carga infecciosa. Por ejemplo, un centro de testaje podría atribuir un valor genético elevado de consumo a un animal muy poco resistente a las enfermedades y sensible al contacto infeccioso directo con

otros animales. Este mismo animal, de haber sido testado en grupo, no habría podido expresar el mismo potencial genético para el consumo.

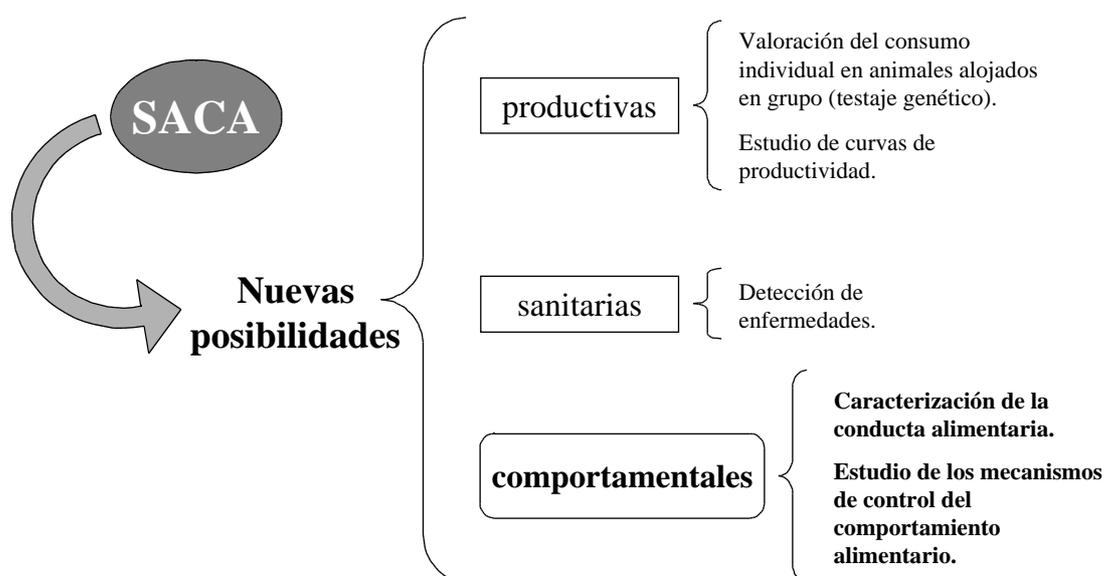
La interacción genotipo \_ ambiente, en el caso de que exista, comporta la disminución de la precisión de los sistemas de testaje basados en el alojamiento individual de los animales por no corresponderse con los resultados obtenidos en la granja comercial.

Ketelaars (1979) y Merks (1989) observaron discrepancia entre los resultados productivos obtenidos en las granjas comerciales y los obtenidos en los centros de control genético. Sin embargo, Crump *et al.* (1990) no encontraron evidencias de la interacción genotipo \_ ambiente. En su tesis doctoral, De Haer (1992) se propuso como uno de sus objetivos prioritarios el estudio de dicha interacción, que realizó por medio de la comparación entre animales alojados en grupo y animales alojados individualmente. Su conclusión fue que hay razones teóricas para que la interacción genotipo \_ ambiente exista, pero que no ha sido demostrado significativamente. Por tanto, siguió concluyendo, esta interacción es probablemente de menor importancia: es posible que los cerdos se adapten a los diferentes sistemas de alojamiento de la misma manera, sin que se produzca gran influencia sobre el rango genético de los cerdos.

El SACA ha supuesto la reducción de los costes económicos –de tiempo y de mano de obra– derivados de la forma tradicional de medir el consumo voluntario del cerdo. Antes, para valorar el consumo diario de cada animal se tenía que alojar a los cerdos en corrales individuales y observar, en cada uno, el sobrante de pienso (peso), y así poder calcular el consumo por diferencia con lo inicial (Le Magnem, 1985). El tiempo empleado con la forma tradicional de medir el consumo individual es muy alto pues tan sólo la distribución manual del pienso en una granja de 100 cerdos puede llevar de 2,30 a 3,30 horas.

El suministrador automático de consumo de alimento, además de posibilitar el control individual del consumo de alimento en animales alojados en grupo, ha abierto nuevas posibilidades de estudio (Figura 1.1), que son de ámbito diverso: productivo, sanitario y comportamental. Desde el punto de vista productivo los datos del SACA han facilitado el estudio de las curvas de productividad. Respecto a la sanidad, Remaekers (1996) apreció que con los suministradores automáticos los cerdos que padecían influenza eran detectados uno o dos días antes que con la observación visual. También se puede saber a diario –por medio de un listado que extrae el programa informático que llevan los suministradores automáticos– los animales que padecen un descenso

considerable en su consumo medio diario y, de esta manera, se detectan las enfermedades antes. Lo más interesante para este trabajo, pues se trata de una tesis de comportamiento animal, es lo que ha supuesto el SACA para el estudio del comportamiento alimentario del cerdo. Los suministradores automáticos han hecho posible la caracterización de la conducta alimentaria y han facilitado el estudio de los mecanismos de control del comportamiento alimentario (correlaciones prandiales). Aunque las causas de la aparición del SACA (interacción genotipo \_ ambiente y reducción de costes) no son de tipo etológico, el resultado ha sido la aparición de una nueva herramienta para medir el comportamiento alimentario que ha enriquecido el desarrollo de esta ciencia en los últimos años.



**Figura 1.1.** Nuevas posibilidades de estudio que ha abierto el Suministrador Automático de Consumo Alimentario (SACA).

La aparición del SACA viene a ser el último estadio de una cadena de avances tecnológicos puestos al servicio del estudio del comportamiento alimentario de los animales.

Tradicionalmente, el estudio del comportamiento alimentario se hacía por medio de la observación directa, con las horas de paciencia de un investigador que anotaba en su libreta los momentos e intervalos de comida de cada uno de los animales. Con la

ayuda de las vídeograbaciones se consiguió hacer un poco más llevadero este trabajo, pero seguía requiriendo mucho tiempo y, sobre todo, no se conseguía saber el peso de la comida ingerida.

El empleo del rayo de luz con célula fotoeléctrica para medir la duración de las comidas y el intervalo entre ellas supuso un paso hacia adelante. Wangsness *et al.* (1976) y Chase *et al.* (1976) utilizaron este método para estudiar la conducta alimentaria en ovejas y vacas, respectivamente. Con la técnica del rayo fotoeléctrico<sup>1</sup> se evitaba la observación visual pero quedaba todavía por saber el peso de la comida ingerida en cada visita.

Algunos intentos de valorar el peso de cada ingestión fueron realizados por Suzuki *et al.* (1969) y Baldwin *et al.* (1983), los cuales conectaron la tolva a una báscula automática o electrónica. Savory (1976) conectó la báscula a un papel de registro continuo para detectar, sin necesidad de observación visual, todos los movimientos de cambio de peso. Sin embargo, los registros del papel eran difíciles de valorar con precisión.

La utilización de computadoras conectadas a las básculas permitió perfeccionar el registro continuo de los cambios de peso de la tolva (por ejemplo Jones y Forbes, 1984). Todos los avances descritos hasta ahora permitían controlar a los animales alojados individualmente, pero no en grupo. Con la aparición del reconocimiento electrónico fue posible identificar la conducta alimentaria individual de animales alojados en grupo (por ejemplo, para vacas Forbes *et al.*, 1987).

Estos avances han cristalizado en los actuales sistemas automáticos de consumo de alimento. Actualmente, en el cerdo, se utilizan tres tipos diferentes de suministradores automáticos de comida, según el tipo de protección que tiene el animal en el comedero. El de menor protección es el IVOG-station que sólo protege la cabeza del animal, para prevenir que dos cerdos coman al mismo tiempo. Ha sido empleada en los trabajos de De Haer *et al.* (1992), Ramaekers (1996) y Hugas (1999). Los comederos FIRE, usados, entre otros, por Nielsen y Lawrence (1993) y por Hyun *et al.* (1997), poseen una valla lateral que protege todo el cuerpo del cerdo mientras come. Por último, está el suministrador ACEMA-48, de alta protección, utilizado por Labroue *et*

---

<sup>1</sup> En las modernas instalaciones de SACA el rayo fotoeléctrico ha sido sustituido por la señal de radiofrecuencia: la antena del suministrador emite constantemente una señal de radiofrecuencia que es captada por los identificadores que llevan los cerdos en la oreja. Cada vez que el identificador de un animal capta la señal, se excita y emite una nueva señal que será recogida por la antena.

al. (1994), dotado de una valla lateral más larga y con una puerta que se cierra detrás del animal para impedir que otro cerdo le moleste mientras come.

Recientemente, Ramaekers (1996) ha dado un paso hacia adelante con la utilización conjunta de un suministrador automático de comida y de una báscula para medir, de forma automática, el peso vivo del animal. Dicha báscula registra el peso de las patas delanteras en cada visita del cerdo al comedero. A partir de este peso, y con sólo un error del 2,5 %, se puede saber la evolución del peso vivo, día a día. Con este añadido se evitan todos los problemas derivados de pesar manualmente: costes de mano de obra, disturbios provocados por la intervención del hombre en el momento del pesado –ausentes en la granja comercial– y el peligro de cometer errores pues como observó Ramaekers, según el momento del día, el peso vivo del animal varía dentro de un rango del 1,5 % debido al llenado del digestivo y de la vejiga de la orina.

Esta nueva metodología del control del consumo voluntario todavía presenta una limitación respecto a las condiciones ambientales de la granja comercial: el comedero automático permite la entrada de un solo animal mientras que en los comederos de la granja comercial pueden comer varios animales simultáneamente. Esta particularidad del SACA intensifica la competencia social (Botermans *et al.*, 1997) que, unida a la sincronización y facilitación social descritas por Hasia y Wood-Gush (1983) –cuando un animal come, incita a que los demás hagan lo mismo–, pueden provocar una ligera interacción genotipo \_ ambiente; esta vez debida al diferente sistema de alimentación. Podría ocurrir que el buen crecimiento obtenido por un animal se debiera más a su carácter agresivo –que le permite gozar de buena alimentación en situación de competencia– que no a su aptitud genética para el crecimiento. De darse el caso, estaríamos seleccionando indirectamente un carácter que no buscábamos y que puede ser perjudicial: la agresividad. No obstante, Nielsen *et al.* (1995b) no hallaron correlaciones significativas de la jerarquía social (índice del rango social) con ningún parámetro de conformación ni de consumo.

Este problema podría evitarse con el diseño de estaciones automáticas de comida con varias entradas para los animales. Lógicamente, esta medida incrementaría los costes y disminuiría el espacio dentro del corral. También, en un futuro, podrían diseñarse estaciones SACA de tipo portátil que permitieran el registro de la información en la propia granja comercial, con la consiguiente disminución de costes y el incremento en precisión de selección.

### ***1.1.3. Un antes y un después en el estudio del comportamiento alimentario***

Volviendo al principio del capítulo, y como corolario, se puede decir que la defensa de un parámetro alimentario (apetito) y la aparición del SACA han enriquecido el estudio del comportamiento alimentario del cerdo en los últimos años. Hasta tal punto que se puede distinguir entre un *antes* y un *después* en lo que se refiere a esta disciplina; principalmente por dos motivos: a) antes del SACA el estudio del comportamiento alimentario quedaba frecuentemente limitado al ámbito del apetito (consumo voluntario) mientras que ahora se pueden medir muchos otros parámetros alimentarios con cierta facilidad. b) desde la aparición del SACA los estudios de comportamiento alimentario no deben hacerse al margen de los productivos (por ejemplo, Petrie y Gonyou, 1988; Morrow y Walker, 1994), sino que con la misma información se puede estudiar en paralelo tanto la genética, como la productividad, como el comportamiento alimentario.

## **1.2. El estudio del comportamiento alimentario antes de la aparición del Suministrador Automático de Consumo Alimentario**

Antes de la aparición del SACA el estudio del comportamiento alimentario quedaba prácticamente reducido al ámbito del apetito, que era el único parámetro alimentario fácilmente medible. Por tanto, en este apartado se tratará principalmente de algunos aspectos relacionados con el apetito; concretamente se hablará del control fisiológico del consumo voluntario y de los factores que influyen sobre él. Al final, se comentará brevemente la metodología anterior al SACA para la medición de otros parámetros alimentarios diferentes al apetito.

### ***1.2.1. Regulación fisiológica del apetito***

#### **1.2.1.1. Control del apetito: la señal de saciedad**

Clásicamente se han asociado dos áreas del cerebro al control del apetito: el hipotálamo ventromedial (VMH) como centro de la saciedad y, el área lateral hipotalámica (LHA) como centro del hambre (Auffray, 1969; Khalaf y Robinson, 1972). Posteriormente, se evidenció el papel estimulante sobre el consumo de alimento que tenía el núcleo paraventricular (PVN) (Davis y Keeseey, 1971; Leibowitz, 1980). Hoy es aceptado que el control del consumo de alimentos está organizado en circuitos y redes neuronales más que en centros localizados (Forbes, 1995a). Aunque todavía faltan evidencias, es probable que sólo exista una señal para la regulación de apetito: *la señal de saciedad*: los animales tienden espontáneamente al estado de hambre a no ser que se interponga una o varias señales inhibitorias<sup>2</sup> (señal de saciedad).

Para estudiar los diversos factores que constituyen “la señal de saciedad” se puede actuar sobre el hipotálamo o en la periferia. Los métodos más comunes utilizados sobre el hipotalámico consisten en observar los cambios en el comportamiento alimentario después de provocar la lesión física, o la estimulación química –inoculación local de metabolitos antagonistas de los neurotransmisores y hormonas– o la estimulación eléctrica. La técnica de la lesión fue la primera en utilizarse pero se está

---

<sup>2</sup> La señales inhibitorias son conocidas en la literatura por señales *feedback* negativas.

abandonando porque es poco precisa y muy cruenta. La más empleada en los últimos años es la estimulación química, pero presenta el problema de que es difícil discernir si los efectos provocados por las sustancias inoculadas son fisiológicos o no. Efectivamente, la gran mayoría de las hormonas y metabolitos inoculados en el hipotálamo provocan algún efecto sobre el apetito, y es discutible que las dosis administradas sean las fisiológicas (Le Magnem, 1992).

En la periferia se emplea la técnica de la anestesia de las principales vías nerviosas para comprobar si un efecto deja de actuar con la interrupción de la transmisión nerviosa. Por ejemplo, para saber el efecto de un determinado metabolito en el hígado, se administra en la vena porta, se observa su efecto en la conducta alimentaria y, posteriormente, se anestesia el nervio vago para evidenciar si la conducta inducida desaparece.

Otra manera de estudiar los efectos de los metabolitos en sangre sobre el apetito consiste en utilizar animales *parabióticos*: pares de animales unidos por la piel y que, por tanto, intercambian su sangre. Modificando o alterando algún factor de uno de los animales se puede observar las consecuencias en el otro (por ejemplo, Hervey; 1959).

#### 1.2.1.2. Dos tipos de control del apetito: a corto y a largo plazo

En los últimos 50 años se han construido varias teorías que intentan explicar el de una manera sencilla el fundamento del control del apetito. En un principio aparecieron teorías que relacionaban el control del consumo voluntario con un solo factor: *teoría termostática*: los animales comen para conservar el calor y dejan de comer para evitar la hipertermia (Brobeck, 1948); *teoría glucostática*: la ingestión es controlada por los niveles de glucosa en sangre a través de su influencia en el hipotálamo, dónde existen receptores específicos para la glucosa (Mayer, 1953); *teoría lipostática*: la ingestión es regulada por las células grasas que envían señal al cerebro en función de la cantidad de reservas de tejido graso (Kennedy, 1953); *teoría de la distensión y del flujo abdominal*: el tracto digestivo está dotado de receptores de distensión que informan al hipotálamo del grado de repleción intestinal (Wangness y Soroka, 1978). La velocidad en el vaciado del estómago juega un papel importante en la determinación del tamaño de la comida (Gregory y Rayner, 1987).

Con la aparición de nuevos factores se comprendió que el fenómeno de la regulación del apetito era más complejo de lo que parecía en un inicio y se desarrollaron

teorías integradoras de más de un factor: se producía saciedad cuando el conjunto de esos factores alcanzaba un nivel umbral determinado. Algunos ejemplos fueron:

- *Teoría de la maximización de la eficiencia*: el consumo de alimento es controlado para optimizar la relación entre la energía neta obtenida del alimento y el oxígeno consumido (necesario para obtener la energía neta por oxidación) (Ketelaars y Tolkamp, 1992).
- *Teoría de la integración de múltiples feedbacks*: la regulación del apetito es producida por las características sensoriales del alimento, la distensión abdominal, la concentración de la glucosa u otros metabolitos en sangre, etc. Estas señales se combinan de forma aditiva en sus efectos sobre el consumo (Forbes, 1995c).
- *Teoría de la maximización del confort*: los animales comen o dejan de comer con el fin de asegurar un confort estable. Por ejemplo, evitan la ingestión de un veneno o el exceso de un nutriente porque les produciría desconfort, e ingieren alimento para evitar la sensación desconfortable provocada por la insuficiencia de nutrientes. La integración de todas estas señales positivas y negativas de confort determina el consumo del animal en cada momento (Forbes, 1995c).
- *Modelos matemáticos*: por medio de estos modelos se integran de manera cuantitativa los factores que cada autor considera más importantes. Estos modelos serán más o menos útiles en la medida en que los conceptos y datos utilizados para su construcción jueguen un papel vital en el control del apetito. En cualquier caso, son una ayuda para comprender la importancia relativa de los diferentes factores que afectan el control de la ingestión (ver por ejemplo, Booth, 1978; Booth y Mather, 1978; Forbes, 1980).

Hoy en día se prefiere hablar de factores que intervienen a corto plazo y factores que lo hacen a largo plazo, sin pretender dar una explicación acabada del complejo mecanismo de la regulación del apetito.

A) Control del apetito a corto plazo:

1) **orofaríngeo**: el movimiento de los músculos de la mandíbula asociados a la masticación puede actuar como señal de saciedad. Sin embargo, este efecto debe ser leve o inexistente (Forbes, 1995e).

2) **gástrico**: la distensión del estómago, percibida por medio de mecanoreceptores, es un potente inhibidor de la ingestión (Wangness y Soroka, 1978). El flujo del alimento a través del píloro también puede ser considerado como un mecanismo de regulación a corto plazo. También a corto plazo actúan los numerosos mecanoreceptores, quimio-receptores y osmo-receptores que, distribuidos por todo el digestivo, informan al hipotálamo del contenido en nutrientes del aparato digestivo. Con los experimentos realizados no se puede dilucidar con exactitud cuándo actúan unos receptores y cuándo otros; por ejemplo, tanto la presencia de glucosa como de una solución salina en el duodeno provoca saciedad, y no se sabe si en los dos casos actúan osmo-receptores o es que también existen receptores específicos de la glucosa (Stephens, 1980 y Houpt *et al.*, 1983).

3) **intestinal**: la regulación del apetito a este nivel se consigue principalmente por la acción de la hormona polipeptídica CCK (colecistokinina). Se produce principalmente en el duodeno cuando se detecta la presencia de alimentos. Pekas y Trout (1993), comprobaron que los cerdos inmunizados contra la CCK aumentaban su consumo un 8,2 % y un 10,6 % su crecimiento. Se piensa que esta hormona provoca en el cerdo la constricción del píloro, la reducción del vaciamiento del estómago y el incremento de la sensibilidad de los receptores vago aferentes (Forbes, 1995d). La CCK también se encuentra en el cerebro y reduce la ingestión cuando se administra intraventricularmente (Forbes, 1995a). Baile *et al.* (1986) discutieron la posibilidad de que esta hormona actuara como neurotransmisor del control del apetito. Parrot y Baldwin (1981) inyectaron dosis fisiológicas de CCK en el ventrículo lateral de cerdos y observaron una reducción del apetito dosis-dependiente. También inyectaron grandes dosis por vía intravenosa y no observaron ningún efecto; esto les sugirió que el efecto de la CCK era directo sobre los mecanismos centrales.

4) **hepático**: el hígado está bien situado para valorar el nivel de nutrientes en sangre que provienen del intestino; por este motivo, parece lógico que tenga un papel regulador del consumo voluntario. Russek (1963) observó que la infusión de glucosa en el interior de la vena porta provocaba la disminución del apetito en los perros mientras que la misma infusión dentro de la vena yugular no tenía efecto. También observó que

una infusión salina dentro de la vena porta no provocaba el efecto inhibitor de la glucosa. Unos años más tarde, Novin (1976) observó que el potente efecto inhibitor de la glucosa en la vena porta se reducía por la denervación del vago y esto mostró que el sistema nervioso estaba implicado. Recientemente, Berthoud *et al.* (1992) han demostrado la existencia de varias terminaciones nerviosas en la pared de la vena porta.

En cerdos, por el momento, no se ha detectado el efecto de la infusión de la glucosa (o aminoácidos) en el interior de las venas porta o yugular (Stephens y Baldwin, 1974; Stephens, 1980). Estos resultados contrastan con los encontrados en otros mamíferos y en algunas aves pero no hay una razón *a priori* que justifique que el cerdo sea diferente de otros mamíferos puesto que el su metabolismo hepático es similar al de las ratas (Forbes, 1995e).

#### B) Control del apetito a largo plazo:

Como ya se ha comentado, en 1953 se plantearon dos grandes teorías del control a largo plazo del apetito: la teoría glucostática (Mayer, 1953) y la teoría lipostática (Kennedy, 1953). Mayer (1953) afirmó que la clave del control del apetito estaba en la concentración de glucosa en sangre mientras que Kennedy (1953) supuso que era el tejido graso el responsable de mantener el apetito adecuado. De acuerdo con esto último, Scharrer y Langhans (1990) afirmaron que el hipotálamo era sensible a los metabolitos en sangre provenientes del *turnover* de los tejidos grasos. Los estudios más recientes ponen de relieve el protagonismo de la teoría lipostática.

Efectivamente, la regulación del apetito a largo plazo está estrechamente vinculada al tejido adiposo, que tiende a mantenerse constante. Dos hormonas, la insulina y la leptina, son las encargadas de asegurar un nivel constante de depósitos grasos. A continuación, veremos el papel de cada una de estas hormonas por separado.

1) **Insulina:** según Steffens (1990), el hipotálamo controla el peso corporal: la regulación del consumo voluntario y del metabolismo deriva de la defensa del peso corporal. La insulina liberada por las células B de los islotes de Langerhans del páncreas juega un papel clave en esta regulación. Parece ser que la insulina actúa como señal de adiposidad y limita la ingestión de alimento a través de su acción en el cerebro (Woods *et al.*, 1990). Por otro lado, la concentración de insulina en sangre es proporcional a la cantidad de tejido graso (Wood *et al.*, 1976).

2) **Leptina**: En 1953, Kennedy intuyó que las células grasas enviaban una señal al cerebro (hipotálamo) en función del grado de reservas de tejido graso. Más tarde, Hervey (1959) lesionó el hipotálamo ventromedial de una de dos ratas parabióticas y observó que mientras ésta ganaba peso su compañera, sin lesión, perdía peso de forma dramática. Postuló que los factores de saciedad en sangre producidos en exceso por el animal obeso no pudieron ser detectados por su cerebro lesionado pero sí por el cerebro intacto de su compañera, la cual sufrió la inhibición de su apetito. Este experimento fue repetido por Coleman (1973) con ratones. A partir de estos datos, durante muchos años se ha buscado una sustancia que explique la relación entre el tejido graso y el control hipotalámico del apetito. Recientemente, Zhang *et al.*(1994) y Friedman (1997) han descubierto el “gen ob” (gen de la obesidad) que da explicación a todos los hallazgos anteriores.

El “gen ob” es expresado por los adipocitos del tejido graso blanco. El resultado de esta expresión es la hormona polipeptídica llamada *leptina*. Se sabe que la concentración en sangre de la leptina es proporcional al grado de reservas de tejido graso (Zhang *et al.*, 1994; Considine *et al.*, 1996) y esto la convierte en una señal, en sangre, del contenido graso corporal. Se han hallado receptores específicos de leptina tanto en el hipotálamo (Friedman, 1997) como repartidos por varios tejidos (De Matteis *et al.*, 1998). La función de la leptina no se reduce a la de ser señal de saciedad (inhibe el hambre e incrementa el gasto de energía (Friedman, 1997)) sino que cada vez son más diversas las acciones que se le atribuyen: función reproductiva (Hoggard *et al.*, 1998), función de regulación de la glucosa por su acción sobre el páncreas (Cawthorne *et al.*, 1998), función de regulación del metabolismo periférico (Poter y Andrews, 1998), función hematopoyética (Bennett *et al.*, 1996) y función sobre el estrés (Bornstein *et al.*, 1997). El sistema nervioso simpático (SNS) juega un papel regulador dominante en la producción de leptina por el el tejido graso blanco, principalmente a través de los  $\beta$ 3-adrenoreceptores (Trayhurn *et al.*, 1998).

El descubrimiento de la leptina ha cambiado la concepción que se tenía hasta ahora del tejido graso. Éste, ha pasado de ser un simple reservorio de energía a ser considerado como un órgano productor de una hormona clave para una gran variedad de procesos fisiológicos, entre ellos el control del apetito.

En un principio se pensó que la leptina podría ser la solución al problema de la obesidad. Pronto se demostró que las personas obesas tenían niveles de leptina en sangre proporcionales a la cantidad de tejido graso y que, por tanto, el problema de la

obesidad no dependía de la concentración en sangre de leptina sino de la insensibilidad del hipotálamo a la señal de saciedad (Blum, 1998).

Las dos hormonas implicadas en el control del apetito a largo plazo están muy relacionadas entre sí: Trayhurn *et al.* (1998) comprobó que la insulina influía sobre la expresión del “gen ob”. Además, estas dos hormonas contribuyen en la regulación de la concentración de glucosa en sangre que es, junto con la cantidad de tejido graso, un buen inhibidor del apetito.

### **1.2.2. Factores que modifican el apetito**

Los factores modificadores del apetito pueden ser de tres tipos: ambientales, nutricionales y propios de cada animal. Generalmente estos factores inciden sobre el bienestar del animal provocando cambios en el apetito: no se debe olvidar que el buen apetito es reflejo de salud y de bienestar.

#### 1.2.2.1. Factores ambientales

##### A) Físicos:

1) **Temperatura efectiva**: el término temperatura efectiva engloba todos aquellos factores que provocan un cambio en la sensación de calor o de frío del animal. Entre estos factores tenemos: la temperatura del aire, el movimiento del aire y la humedad relativa.

Los cerdos tienen un intervalo de temperatura óptima –llamado *rango termoneutral*– dentro del cual la energía proveniente de los alimentos se retiene en el organismo con mayor eficacia (Pond, 1975; Le Dividich *et al.*, 1998). En el rango termoneutral, el calor de mantenimiento y de producción bastan para mantener constante la temperatura corporal. Dentro de este rango, el animal no experimenta cambios metabólicos apreciables y se mantiene homeotermo mediante modificaciones de su comportamiento (cambios posturales, agrupamiento, etc.), por medio de cambios en su disposición del pelo (piloerección) o en la circulación sanguínea periférica; o bien, mediante la respiración y el jadeo.

Son tres los caminos que puede seguir la energía de los alimentos: retención en el organismo, pérdida por las excretas y disipación en forma de calor. Si la temperatura ambiental desciende por debajo del límite inferior de la zona termoneutral, llamado *temperatura crítica inferior*, el animal necesita producir más calor para mantener constante la temperatura corporal (Pond, 1975; Le Dividich *et al.*, 1998). Para ello, ingiere mayor cantidad de alimento. En estas condiciones, los animales comen más pero su crecimiento se ralentiza, lo que supone un empeoramiento del índice de conversión.

Cuando la temperatura ambiental está por encima del límite superior de la zona termoneutral –llamado *temperatura crítica superior*– el animal activa los mecanismos de termorregulación encaminados a disminuir la temperatura corporal. Estos mecanismos son: elevación del ritmo cardiaco y vasodilatación periférica, aumento del ritmo respiratorio, cambios posturales y, por último –y es el que ahora interesa resaltar–, disminución del consumo de alimento, con el fin de ahorrar el incremento térmico asociado a la masticación.

El rango de temperatura óptima en cerdos jóvenes está entre 20°C y 25°C, mientras que para animales adultos es de 10-20°C. Dentro de este rango existe otro más estrecho conocido como *zona de termoconfort* (Morales, 1991; Whittemore, 1993d). En este rango los animales son capaces de desarrollar todo su potencial genético y se encuentran lo suficientemente cómodos para no tener preferencia por ninguna disposición espacial de su cuerpo, estando, por tanto, en perfecta armonía con el entorno.

Para cerdos en crecimiento, el consumo diario se reduce en 21 g por cada 1°C incrementado en temperaturas entre 5°C y 20°C. Esto representa una disminución de consumo del 0,8 % para cada cambio en 1°C. Entre 20°C y 25°C, el ritmo de disminución del consumo es sólo de 7,2 g por cada 1°C variado, que equivale a 0,3 % del consumo (Verstegen *et al.*, 1978). Los lechones parecen ser una excepción pues a temperaturas bajas consumen menos calostro (Le Dividich y Noblet, 1981).

El movimiento del aire modifica el consumo voluntario de alimento debido a que incrementa las pérdidas de calor. Tiene un efecto refrescante: incrementa el nivel crítico superior de la temperatura óptima. Por ejemplo, se ha visto que cada aumento de 1 cm/s en velocidad de aire, a 20 °C, equivale a un incremento de 4 g de consumo de alimento, que son 52 KJ de ME por día (Bond *et al.*, 1965).

Con el aumento de humedad relativa se hacen más difíciles las pérdidas de calor por la piel. En condiciones de temperatura elevada los incrementos en humedad relativa provocarán dificultades de termorregulación que ocasionarán una disminución del consumo voluntario. Morrison *et al.* (1969) sometió cerdos de 68 Kg a varias combinaciones de temperatura y humedad relativa, y evidenció que el consumo disminuía con el incremento de la temperatura y de la humedad relativa.

2) **Contaminación ambiental:** El amoníaco ambiental (NH<sub>3</sub>), que proviene fundamentalmente de la fermentación del estiércol líquido, reduce la ingestión en 3 g

por cada 1 p.p.m. que supere las 145 (Stombaugh *et al.*, 1969). El gas sulfídrico (H<sub>2</sub>S) también reduce el apetito, incluso a niveles tan bajos como 10 p.p.m. (Whittemore, 1993a). El polvo ambiental derivado de las harinas reduce el bienestar de los animales –afecta a los bronquios y actúa como vehiculador de bacterias– y, por tanto, disminuye el apetito. Tanto el amoníaco como el sulfídrico irritan las mucosas del animal.

#### B) Sociales:

1) **Densidad de animales y tamaño de grupo**: el espacio libre óptimo por cerdo en crecimiento es de 0,6 m<sup>2</sup>. Cada reducción en 0,1 m<sup>2</sup> provoca una reducción en consumo voluntario de 50 g/día. Nielsen, *et al.* (1995b) estudiaron el impacto del diferente tamaño de grupo (grupos de 5, 10, 15 y 20; con densidad constante de animales) sobre el apetito y concluyeron que no había efecto significativo, siempre y cuando la alimentación fuera *ad libitum*. De manera similar, Hyun *et al.* (1998) comprobaron que los cambios en densidad de animales no modificaba el apetito en sistemas de alimentación *ad libitum*.

2) **Jerarquía**: la jerarquía, expresada en relaciones de competencia, puede limitar el consumo voluntario de algunos animales. Todos aquellos factores que incrementen la competencia presentarán el riesgo de limitar el apetito. Por ejemplo, De Haer y De Vries (1993b) y Hugas (1999) compararon el consumo de cerdos alojados en grupo con el de cerdos alojados individualmente y observaron que era mayor en éstos últimos, aunque no significativamente. Además del sistema de alojamiento también puede incrementar la competencia el distinto número de comederos por corral (pág. 9 y 54).

#### 1.2.2.2. Factores nutricionales

a) **Características organolépticas**: Armitage *et al.* (1983) observaron que las ratas que eran alimentadas con comidas de mayor palatabilidad consumían hasta un 30 % más que otras ratas similares alimentadas con comida estándar. En el caso del cerdo, los alimentos que más le gustan y que más favorecen el consumo diario son el dulce, los cereales laminados, los aceites y la leche fresca o en polvo; mientras que los alimentos que provocan una disminución del apetito son la carne con hueso, algunos pescados, la semilla de uva y la semilla de algodón. Los cerdos también muestran aversión a los taninos, lecitinas, micotoxinas, glucosinolados, saponinas, sinapines y algunos factores

nutricionales. La correcta elección de ingredientes es fundamental para maximizar el apetito. El uso de saborizantes enmascara los ingredientes de mala palatabilidad y, como consecuencia, favorece el apetito. (Whittemore, 1993a).

b) El pH: El pH óptimo del estómago de un cerdo está entre 2 y 4, el del intestino pequeño entre 5 y 6, y el del intestino grueso es de 7. Cuando se produce la alteración de estos pH el apetito disminuye. Para evitar problemas, se pueden incluir en la dieta ácidos orgánicos –propiónico, fórmico, cítrico, láctico y fumárico– y microorganismos –*Lactobacillus* o *Streptococcus* (*Enterococcus*)– que favorecen el mantenimiento del pH óptimo. Además, los microorganismos, por la competencia y los efectos antagónicos que suponen, evitan el crecimiento de cepas patógenas, tales como *Escherichia coli*, *Salmonella* y *Staphylococcus*. En este sentido, la adición de antibióticos en la dieta para controlar la flora patógena puede mejorar el apetito entre un 5 % y un 10 % en cerdos jóvenes en crecimiento (Whittemore, 1993a).

c) Desequilibrios en la dieta: Una dieta desequilibrada por exceso en un nutriente puede disminuir el apetito. Por ejemplo, una dieta con exceso de minerales provoca que el cerdo coma menos para evitar tal exceso. Cuando el desequilibrio consiste en la falta de un nutriente esencial o en el bajo contenido en energía –dieta diluida–, el cerdo incrementa el consumo para compensar las deficiencias del alimento. El efecto de un exceso o carencia de lisina (Hyun *et al.*, 1997) o triptófano (Montgomery *et al.*, 1978) sobre el apetito es muy evidente. La presencia de venenos en la dieta, cuando éstos son detectados por el animal, reduce drásticamente el apetito.

d) Hormonas: La inclusión en la dieta de hormonas estimulantes del crecimiento puede afectar al apetito. Por ejemplo, la somatotropina, que incrementa un 10 % el crecimiento y 5 % el contenido de magro y un 25 % el contenido graso, tiene un efecto negativo sobre el apetito (Whittemore, 1993b). El empleo de drogas tranquilizantes en ovejas, cuando se dan junto con la dieta, incrementa el apetito (Dinius y Baile, 1977).

e) Enzimas: La adición de enzimas rompedores de carbohidratos mejora la digestibilidad. Existen productos comerciales que contienen mezclas de amilasas, betaglucanasas, pentosanasas, celulasas, lipasas y proteasas que se pueden administrar junto con la dieta seca para cerdos (Whittemore, 1993a).

f) Relación grasa-fibra: la grasa es más refrescante que los hidratos de carbono y, por supuesto, que la fibra. En condiciones de temperatura ambiental elevada, la

adición de grasa en la dieta favorece el consumo. Al contrario, cuando predominan las temperaturas frías, la fibra facilita la termorregulación y favorece el consumo.

g) Presentación de los alimentos: La forma de presentación de los alimentos –en comprimidos (gránulos), en migajas o en harinas– también afecta al apetito. Las harinas presentan varias desventajas, que la hacen menos apetecible y menos conveniente que las migajas o los comprimidos. Las harinas finas, en combinación con la gran cantidad de saliva producida por el cerdo, forman una pasta en la boca y en el estómago que reduce la palatabilidad y el flujo del alimento a través de intestino. Esto también está relacionado con las ulceraciones gástricas. Las harinas producen polvo en las instalaciones, lo cual reduce el bienestar animal y ocasiona riesgo de neumonías. Las harinas son más costosas de transportar, por ser menos densas, y tienen mayor riesgo de ser desparramadas por el cerdo cuando se consumen. Los comprimidos son más caros de producir.

Los comprimidos o gránulos y las migajas se producen mediante un tratamiento térmico que mejora la digestibilidad, lo cual produce un ligero descenso del índice de conversión.

La presentación húmeda del alimento, en cualquiera de sus formas, favorece la ingestión voluntaria (Botermans *et al.*, 1997). La presencia de agua fresca junto al comedero es esencial para asegurar un buen consumo (Whittemore, 1993a).

### 1.2.2.3. Factores del animal

a) Genotipo: En última instancia, el apetito viene determinado por el genotipo individual de cada animal. Se considera que la heredabilidad del consumo voluntario de alimento (apetito) está entre el 0,3-0,4 (por ejemplo, Mrode y Kennedy, 1993; Labroue *et al.* 1997).

b) Estado reproductivo: Durante el estro las cerdas reducen su ingestión (Friend, 1973) mientras que las hembras gestantes incrementan considerablemente su consumo voluntario corriendo el riesgo de engordarse demasiado (Forbes, 1995d). El estado de lactación también suele provocar un incremento masivo en requerimientos de energía, proteínas y otros nutrientes que generalmente se traduce en un aumento del consumo voluntario (Forbes, 1995b). El apetito de las cerdas lactantes depende mucho del

consumo que ha habido durante la gestación y de la cantidad de reservas de tejido graso (Mullan y Williams, 1989).

c) Ejercicio: el ejercicio forzado reduce el consumo voluntario (Morrison *et al.*, 1968), posiblemente debido a la fatiga y al estrés.

d) Enfermedades: la reducción del apetito es uno de los primeros signos de muchas enfermedades, incluso en aquellas que no aparece el síntoma de la fiebre (Forbes, 1995d).

e) Estrés: la disminución del apetito acompaña frecuentemente la respuesta de estrés en los mamíferos (Stacie *et al.*, 1999). El eje hipotálamo-hipófisis-adrenal juega un papel importante en la regulación del metabolismo de energía durante el estrés, tanto en la movilización de las reservas energéticas como en la regulación del consumo voluntario (Dallman *et al.*, 1993). Varias evidencias inducen a pensar que la hormona liberadora de corticotropina (CRH) es la principal responsable hipotalámica de la anorexia que acompaña los estados de estrés. En efecto, la CRH es un potente anoréxico cuando se inyecta intracerebroventricularmente (icv) (Britton *et al.*, 1982; Morley y Levine, 1982; Glowa y Gold, 1991). Además, el antagonista de la CRH, alfa-helicoidal CRH (9-14), bloquea no sólo la disminución del apetito asociada a la administración de CRH, sino que también atenúa la caída del apetito en estados de estrés (Krahn *et al.*, 1986).

### ***1.2.3. Estudio de otros parámetros alimentarios diferentes al apetito***

Antes del uso de los suministradores automáticos, la valoración de otros parámetros alimentarios diferentes al consumo voluntario obligaba al investigador a acudir a la técnica de la videograbación. La metodología consistía en escoger un periodo determinado de tiempo, grabarlo en vídeo y, después, analizar algunos lapsos de tiempo para valorar aquellos aspectos del comportamiento que se pretendía conocer. Los resultados obtenidos en estos lapsos de tiempo eran extrapolados para todo el periodo analizado (por ejemplo, Petrie y Gonyou, 1988 y Morrow y Walker, 1994). Esta técnica era similar a la que hoy se sigue utilizando para el estudio del comportamiento social (pág. 40).

Esta metodología presentaba ciertas limitaciones. En primer lugar, requería mucho tiempo para observar las videograbaciones y, por tanto, la duración del periodo de estudio escogido no podía ser muy larga (por ejemplo, 48 horas en Petrie y Gonyou, 1988 y 2 semanas en Morrow y Walker, 1994). Por otro lado, resultaba muy costoso determinar el comportamiento alimentario individual de los animales. Morrow y Walker (1994) simplificaron el problema y tomaron el corral como unidad de observación, y Petrie y Gonyou (1988) se fijaron en cada animal pero tuvieron que trabajar con muy pocos cerdos. Finalmente, los aspectos de comportamiento alimentario que podían describirse con la técnica de las videograbaciones no superaban el ámbito de la frecuencia de visitas, la duración de las visitas y el tiempo total empleado en visitas o la ocupación total del comedero. En cambio, aspectos como el consumo de cada visita o la velocidad de ingestión no podían ser estudiados con esta técnica.

### **1.3. El estudio del comportamiento alimentario después de la aparición del Suministrador Automático de Consumo Alimentario**

Los estudios de comportamiento alimentario del cerdo anteriores a la aparición del SACA eran realizados al margen del estudio de la productividad, a excepción del apetito que podía valorarse al mismo tiempo que se testaba a los animales en alojamientos individuales. El SACA ha permitido calcular muchos parámetros alimentarios –hasta ahora desconocidos–, sin necesidad de diseñar los experimentos al margen del testaje de los animales.

Algunos de los nuevos campos de estudio abiertos por el SACA –y que han sido trabajados en la última década– son: la descripción de los parámetros de conducta alimentaria, el estudio de los mecanismos de control del comportamiento alimentario (correlaciones prandiales), el análisis de la influencia de los factores sociales sobre el comportamiento alimentario y el estudio de la relación entre conducta alimentaria y productividad. Para conseguir un óptimo aprovechamiento de la información generada por el SACA es necesario someterla a un correcto proceso de depuración e interpretación, y de esto se tratará a continuación.

#### ***1.3.1. Depuración e interpretación de la información del SACA***

El suministrador automático de consumo alimentario genera registros erróneos con cierta frecuencia (Knap y Van der Steen, 1994; De Haer *et al.*, 1992; Nielsen, 1995; Ramaekers, 1996; Eissen, 2000). Es necesario corregir estos errores para que los resultados no sean sesgados. Eissen (2000), comprobó que el 6 % de las visitas registradas por el SACA contenían errores.

Conviene conocer cuáles son las causas que generan los diferentes errores para poder aplicar una acertada corrección. Existen dos causas principales de los errores registrados por el SACA: fallos en el identificador electrónico del animal y registros de tiempo y de peso mal grabados por el suministrador. Los tipos de errores más frecuentes son: visitas no identificadas (no se registra ningún identificador electrónico), registros de peso demasiado elevados o negativos, y registros de tiempo anormales (Eissen, 2000).

Habitualmente los errores son analizados manualmente después de que el SACA los registre (por ejemplo, De Haer *et al.*, 1992). Recientemente, Eissen (2000) ha propuesto elaborar una serie de algoritmos que permitan confeccionar un *software* que depure los errores al tiempo que se registran. De esta manera, se ahorraría tiempo y el proceso de depuración sería más objetivo.

Resulta difícil corregir y asignar correctamente los registros identificados como incorrectos. Por otra parte, las causas de las visitas incorrectas pueden variar, haciendo imposible el uso de soluciones estándar para ajustar y asignar los datos. Por tanto, conviene asegurar un número bajo de errores (Knap y Van der Steen, 1994; Eissen, 2000).

Más que de criterios de asignación o de ajuste se debe hablar de criterios de depuración o eliminación. Los registros detectados como errores suponen siempre una pérdida de información. En vista de esto, Eissen (2000) aconsejó que el SACA fuera sometido a un mantenimiento periódico para reducir el número de registros incorrectos.

### ***1.3.2. Descripción de la conducta alimentaria***

#### **1.3.2.1. Parámetros de conducta alimentaria**

a) Parámetros alimentarios: A partir de los datos que suministra el comedero automático: hora de entrada y salida, y peso del contenido de la tolva antes y después de la visita, se pueden conocer los parámetros *consumo por visita* –también llamado tamaño de la visita–, *consumo por día*, *tiempo por visita* –o duración de la visita–, *tiempo por día*, *número de visitas diarias* –o frecuencia de visitas diarias–, *velocidad por visita* (cociente entre el consumo por visita y el tiempo por visita) y *velocidad diaria* (cociente entre el consumo diario y el tiempo diario) (por ejemplo, De Haer y Merks, 1992; Labroue *et al.*, 1994; Hyun *et al.*, 1997). Cuando el periodo de tiempo analizado es el mismo para todos los animales también se pueden calcular parámetros de medias totales: *consumo total*, *tiempo total* y *frecuencia total* (Young y Lawrence, 1994). Un poco más abajo se tratará del criterio de comida y de los parámetros alimentarios derivados del mismo.

b) Parámetros de consumo nulo: Un considerable porcentaje de visitas al comedero son registradas con un consumo igual a cero (nulo). El significado etológico de estas visitas puede ser variado: desplazamientos del comedero, visitas exploratorias sin consumo, interrupciones de la señal de radiofrecuencia por movimientos bruscos de la cabeza, etc. Estos parámetros –como se verá más adelante al tratar la influencia de la competencia social sobre el comportamiento alimentario (pág. 41)– puede ser un indicador de la competencia social (Young y Lawrence, 1994). A partir de las visitas de consumo nulo se pueden obtener los siguientes parámetros: tiempo por visita de consumo nulo, tiempo diario en visitas de consumo nulo, número de visitas de consumo nulo diarias y número de días del periodo en los que un animal presenta visitas de consumo nulo.

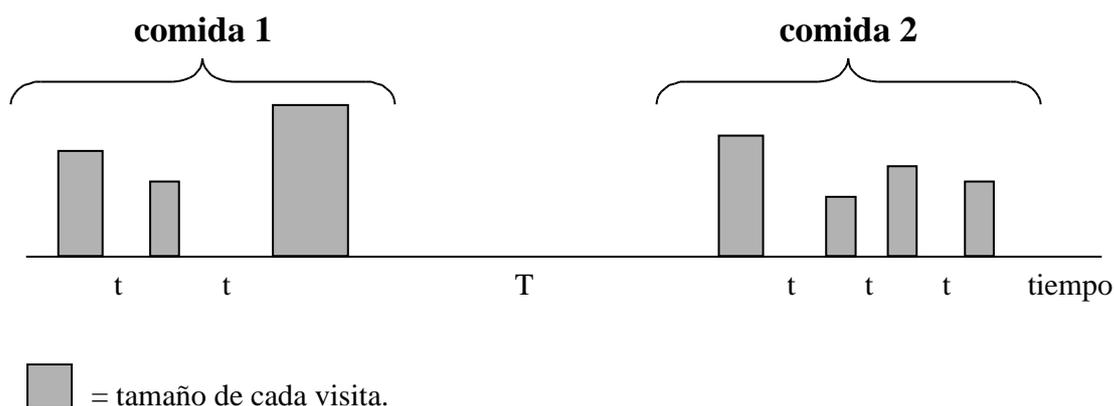
c) Parámetros derivados del índice Linda: El índice Linda utilizado en economía (De Jong, 1985) también sirve para determinar el número de comidas que tienen una mejor contribución para el consumo diario y el número de comidas que tienen menor importancia. Con este índice se pueden calcular tres nuevos parámetros: número de comidas de mayor importancia, consumo diario en las comidas de mayor importancia y tiempo diario en las comidas de mayor importancia (De Haer y Merks, 1992).

### 1.3.2.2. El criterio de comida

Algunos autores consideran que las comidas están constituidas por un conjunto de visitas (por ejemplo, Wiepkema, 1968; Slater, 1974; Petrie y Gonyou, 1987; De Haer y Merks, 1992; Labroue *et al.*, 1994; Hyun *et al.*, 1997). Cuando se observa la conducta alimentaria de un pájaro se ve claramente que cada ingestión consiste en una serie de picotazos. Sería un error considerar cada picotazo como una comida; tanto más cuando muchas veces el consumo de un picotazo aislado es casi insignificante. La imagen del pájaro comiendo puede ser aplicable a otras muchas especies, incluyendo el cerdo.

Así pues, se puede considerar que en el cerdo las comidas están formadas por un conjunto de visitas separadas por intervalos cortos, llamados “intervalos intra-comidas”. Las comidas se distinguen entre sí por otros intervalos más largos llamados “intervalos entre-comidas” (**Figura 1.2**). *El criterio de comida* es el máximo tamaño de intervalo a partir del cual las visitas se distinguen en dos comidas diferentes. Dicho de otra forma, es el criterio de tiempo que distingue los intervalos intra-comidas (menores al criterio) de los intervalos entre-comidas (mayores o iguales al criterio). Por ejemplo, dado un criterio de comida de 1 minuto todas las visitas separadas entre sí menos de un minuto serán agrupadas dentro de la misma comida. Las que sobrepasen o igualen este límite formarán parte de comidas diferentes.

## concepto de comida



**Figura 1.2.** Esquema que muestra la agrupación de las visitas dentro de comidas.  $t$  = tiempo inferior al criterio de comida: intervalo “intra-comidas”;  $T$  = tiempo igual o superior al criterio de comida: intervalo “entre-comidas”.

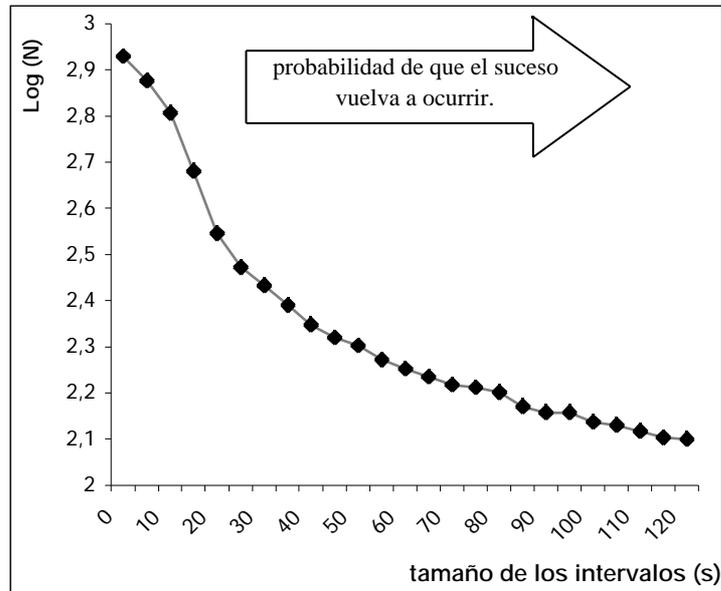
Aparte de los motivos biológicos que aconsejan agrupar las visitas dentro de comidas, están las circunstancias técnicas derivadas de los suministradores automáticos. Puede ocurrir que un cerdo, con un movimiento brusco de cabeza, interrumpa momentáneamente la señal del identificador electrónico y, un instante después, vuelva a contabilizarse otro registro como si se tratara de una nueva visita al comedero. Evidentemente, estas dos “visitas” forman parte de la misma comida. También es frecuente que un cerdo sea agredido o molestado por otro mientras está comiendo, y salga para defenderse. Si, inmediatamente después vuelve a entrar en el comedero se debe considerar esta nueva visita como parte de la primera, que fue interrumpida. Por tanto, el criterio de comida subsanará estos fraccionamientos de las comidas, ocasionadas por las limitaciones del SACA.

Cuando los intervalos “intra” y “entre” no se distribuyen de una forma discreta –como es el caso del cerdo– se hace necesario utilizar criterios estadísticos para determinar el criterio de comida. En ocasiones no resulta fácil determinar el criterio de comida, aunque se utilicen técnicas matemáticas. Por ejemplo, Young y Lawrence

(1994) no fueron capaces de interpretar objetivamente sus resultados –según ellos, debido a la gran variabilidad provocada por la competencia social entre los animales– y optaron por no hacer uso del criterio de comida. Hasta el momento, los dos métodos más utilizados para calcular el criterio de comida han sido la función logarítmica de supervivencia y el histograma.

1) *La función logarítmica de supervivencia* consiste en examinar los intervalos entre sucesos –en nuestro caso los sucesos son las visitas del cerdo al comedero– y representar la frecuencia acumulada de estos intervalos en forma de función logarítmica. El intervalo es el tiempo transcurrido entre dos visitas de un mismo animal. Labroue *et al.* (1994) y Remaekers (1996) sólo agruparon las visitas *correlativas* de los animales, es decir, aquellas que no eran separadas por la visita de otro animal. De Haer y Merks (1992) compararon los criterios de comida obtenidos a partir de todas las visitas con los obtenidos utilizando sólo las visitas correlativas y observaron que las diferencias eran pequeñas, pero que los criterios de comida obtenidos de visitas correlativas tenían menor exactitud (poseían una varianza residual mayor).

Cuando se representa la frecuencia acumulada de los intervalos (en escala logarítmica) frente al tamaño de los intervalos (en escala lineal) aparece la clásica función de supervivencia (**Figura 1.3**). La pendiente de la función de supervivencia es proporcional a la probabilidad de que el suceso (visita al comedero) vuelva a ocurrir dentro del correspondiente intervalo, es decir, en función del tiempo transcurrido desde la última visita (Slater, 1974).

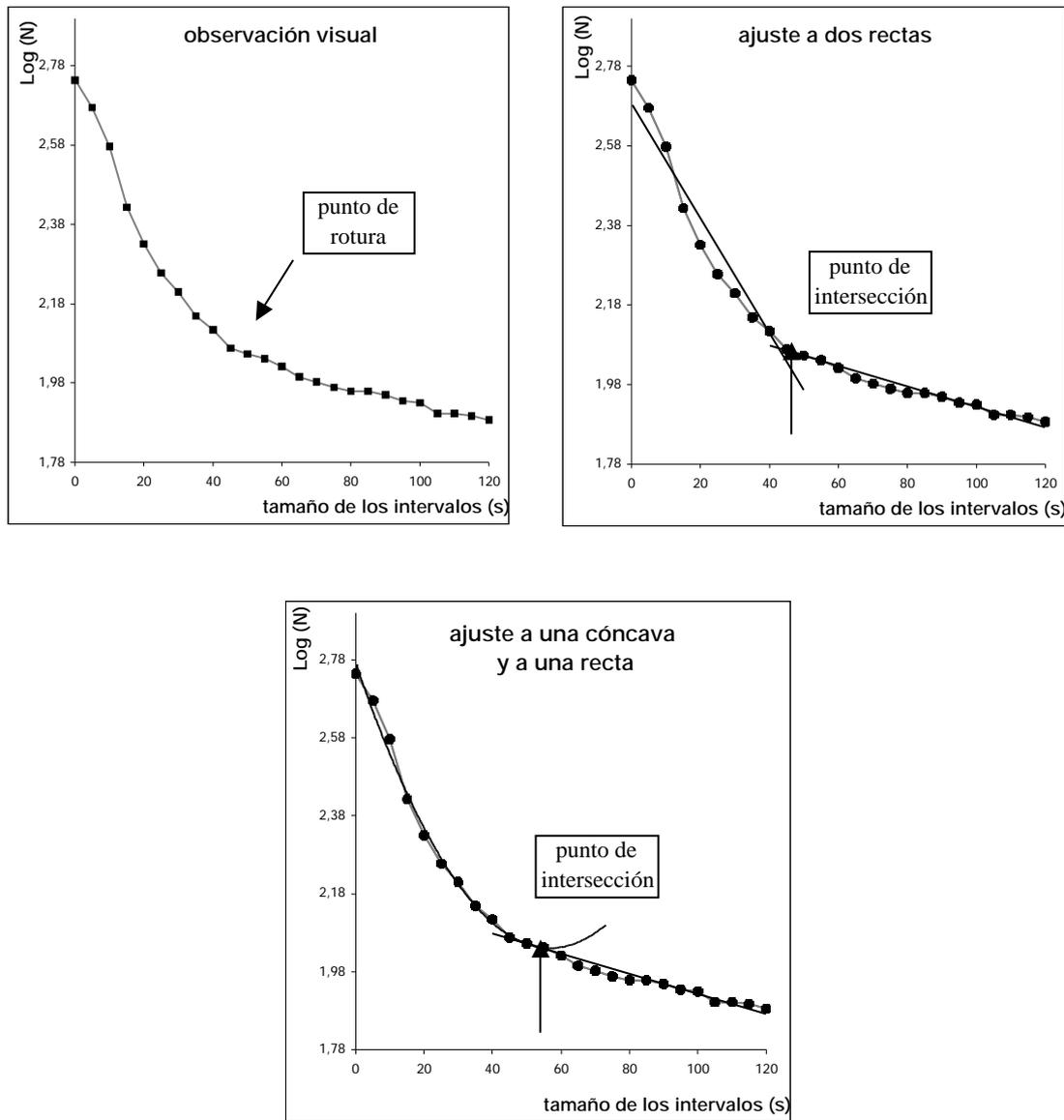


**Figura 1.3.** Función logarítmica de supervivencia.  $\text{Log}(N)$  = logaritmo de la frecuencia acumulada de intervalos entre visitas (suceso) superiores a un determinado tiempo.

Se asume que los intervalos intra-comidas y los entre-comidas son generados por dos procesos de azar diferentes, dando cortos intervalos intra-comidas y largos intervalos entre-comidas. Estos dos procesos de azar diferentes se identifican gráficamente con la función de supervivencia: la parte izquierda de la función es una cóncava de elevada pendiente (la probabilidad cambia bruscamente y es elevada: representa los numerosos y cortos intervalos intra-comidas) y la parte derecha es una recta con pendiente más suavizada (la probabilidad cambia de forma uniforme y es baja: representa los pocos y largos intervalos entre-comidas) (Slater y Lester, 1982). Que los intervalos entre visitas se puedan representar siguiendo una función de supervivencia es un argumento matemático en favor del fundamento biológico del criterio de comida.

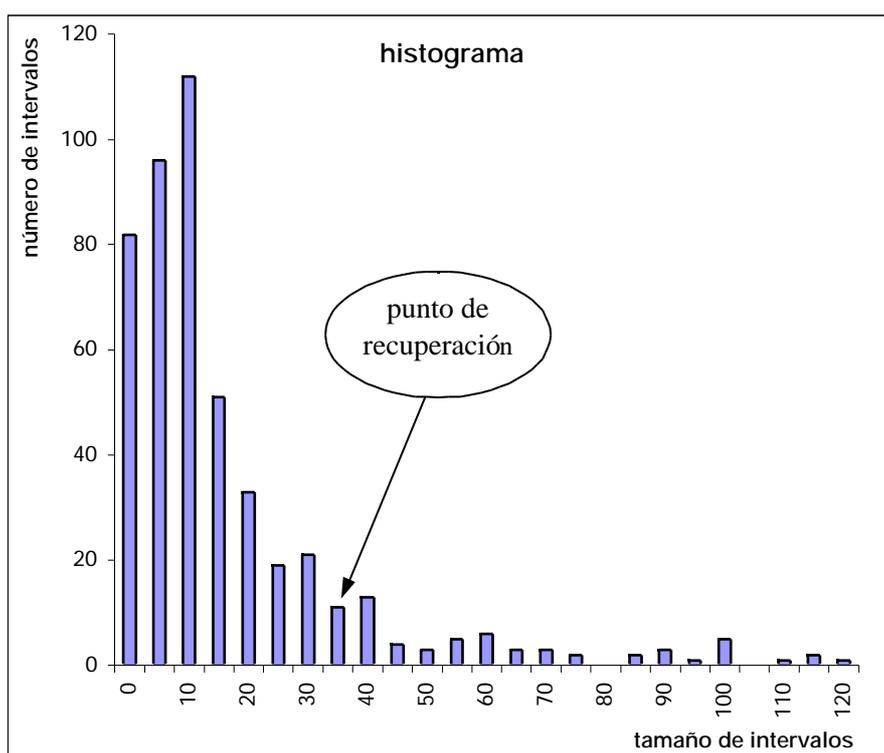
El criterio de comida será el punto dónde se da el cambio brusco de probabilidades: dónde la cóncava se convierte en recta. Este punto se puede determinar de varias maneras (**Figura 1.4**):

- a) Por medio de la observación visual (por ejemplo, Slater, 1974).
- b) Con el ajuste matemático de las dos partes de la función a dos rectas (una de mayor pendiente que la otra). Posteriormente, se resuelve el sistema de ecuaciones que se ha formado con las dos funciones rectas y se halla el punto de intersección, que es el criterio de comida (Slater y Lester, 1982).
- c) Ajustando matemáticamente la parte izquierda de la curva a una función cóncava y, la parte derecha, a una recta. La resolución del sistema de ecuaciones dará la solución del criterio de comida. De Haer y Merks (1992) ajustaron la parte cóncava a un polinomio de orden 3 porque, con un análisis preliminar, observaron que los coeficiente de la variable de grado 3 eran altamente significativos. Labroue *et al.* (1994) utilizaron un polinomio de grado 2 para ajustar la parte cóncava.



**Figura 1.4.** Tres maneras diferentes de determinar el punto en el que la función de supervivencia cambia de cóncava a recta.

2) *El histograma*: consiste en representar el número de intervalos de tiempo entre sucesos (visitas del cerdo al comedero) dentro de unos rangos preestablecidos (intervalos de clase). El área de la columna (frecuencia) de cada intervalo de clase representa la probabilidad de que se produzca una nueva visita después de haber transcurrido ese intervalo de tiempo. Es decir, si un intervalo de tiempo entre dos visitas es muy numeroso está indicando que la probabilidad de que ocurra una visita, pasado ese tiempo, es elevada. La frecuencia de distribución de los intervalos va disminuyendo progresivamente hasta que se vuelve a recuperar. El intervalo de clase previo a la recuperación es el considerado como criterio de comida (Petrie y Gonyou, 1988; Le Magnem, 1992) (ver **Figura 1.5**).



**Figura 1.5.** Cálculo del criterio de comida mediante la representación del histograma de los intervalos.

Con la aplicación del criterio de comida surgen nuevos parámetros de comportamiento alimentario: tiempo o duración de la comida, consumo o tamaño de la comida y frecuencia o número de comidas.

### 1.3.2.3. Evolución de los parámetros (ritmos circadianos)

Los parámetros descritos en los apartados anteriores (parámetros alimentarios, parámetros Linda, parámetros extraídos del criterio de comida y parámetros de consumo nulo) evolucionan –aumentan o disminuyen– con el tiempo (Labroue *et al.*, 1994), con la edad, y con el crecimiento (peso vivo) del animal (Hyun *et al.*, 1997). También se puede describir la evolución circadiana de éstos parámetros, caracterizada por una serie de picos (máximos) diurnos (De Haer y Merks, 1992; Young y Lawrence, 1994; Hyun *et al.*, 1997). Toda esta información puede ayudar a entender la adaptación del cerdo a las condiciones ambientales y las diferentes estrategias alimentarias que adoptan los animales según sus necesidades.

### 1.3.2.4. Ocupación del comedero

A partir de la evolución circadiana del tiempo de consumo se puede valorar el grado de saturación del único comedero que contiene cada corral. Esta información ayuda a determinar el tamaño de grupo máximo sin que se dé saturación del comedero.

### 1.3.2.5. Relaciones internas entre los parámetros alimentarios

De Haer (1992) observó que el consumo se relacionaba de forma importante con el tiempo diario de ingestión ( $r = 0,55$ ) y con la frecuencia de visitas ( $r = 0,38$ ). Hyun *et al.* (1997) vieron que las correlaciones de la velocidad de ingestión con el consumo diario ( $r = 0,31$ ), y con el tiempo diario ( $r = -0,79$ ) eran importantes. El conocimiento de las relaciones entre los diferentes parámetros alimentarios puede ser útil para predecir unos a partir de otros.

### 1.3.2.6. Genética de los parámetros alimentarios

Las heredabilidades de los parámetros de conducta alimentaria fueron estudiados por De Haer y De Vries (1993a). En general, hallaron heredabilidades de moderadas a bajas y con errores estándar muy elevados. Las heredabilidades de los parámetros de frecuencia ( $h^2 = 0,38-0,49$ ) y de tamaño de comidas ( $h^2 = 0,35-0,47$ ) fueron las más elevadas. Estudios recientes de Labroue *et al.* (1997) muestran que las heredabilidades de los parámetros alimentarios: apetito, tamaño y duración de las comidas y velocidad son elevadas (entre 0,45 y 0,54). La repetibilidad de los parámetros alimentarios ha sido estudiada por varios autores (por ejemplo, Hyun *et al.*, 1997).

La mayoría de los índices de selección utilizados en la especie porcina se centran en objetivos de crecimiento (crecimiento diario e índice de conversión: heredabilidades entre 0,25-0,35), objetivos de calidad de la canal (porcentaje de magro y espesor de la grasa dorsal: heredabilidades mayores que 0,5) y objetivos de calidad de la carne (heredabilidades entre 0,10-0,3); sin olvidar nunca los criterios de coste económico y de progreso genético. Hasta hace muy poco tiempo era extraño introducir el apetito dentro de los objetivos de selección porcina. De Haer (1992) concluyó en su tesis doctoral que si a un índice de selección que contenga crecimiento diario y grasa dorsal se le añade el consumo diario el progreso genético del programa de selección será del 20 al 36 % mayor. Cuando el consumo diario no se valora y en su lugar utilizamos la frecuencia de visitas y el tiempo diario entonces el progreso genético será del 11 al 15 % mayor. Estos resultados sólo serán válidos cuando todos los genotipos sean testados en grupo y los parámetros de ingestión sean registrados para todos los cerdos.

### ***1.3.3. Mecanismos de regulación del comportamiento alimentario***

Los suministradores automáticos de consumo alimentario posibilitan el cálculo de las correlaciones prandiales, que son la base para el estudio del control comportamental que los animales ejercen sobre su consumo, en situaciones en las que la competencia interfiere con el acceso a la comida (Young y Lawrence, 1994).

Las correlaciones prandiales expresan la relación entre el tamaño de las comidas (consumo) y los tiempos anteriores o posteriores a las mismas. Son de dos tipos: pre-prandiales, si existe correlación entre el tiempo que precede a una comida y el consumo que se produce en esa comida; y post-prandiales, si hay correlación entre el consumo de una comida y el tiempo transcurrido hasta la siguiente comida. Según Savory (1981), los animales con correlación pre-prandial significativa regulan su consumo de alimento por medio de mecanismos de saciedad, mientras que aquellos animales que tienen correlación post-prandial significativa lo hacen por medio de mecanismos de hambre.

Young y Lawrence (1994) hallaron los dos tipos de correlaciones prandiales en el cerdo. En su estudio, no hicieron distinción entre el día y la noche y tuvieron que trabajar con visitas en lugar de comidas. Otros autores prefieren distinguir entre el día y la noche a la hora de estudiar las correlaciones prandiales. Por ejemplo, Le Magnem (1992) observó que las correlaciones post-prandiales de la rata variaban significativamente entre el día y la noche.

Las correlaciones prandiales dividen a los animales en cuatro tipos: animales sólo post-prandiales, animales sólo pre-prandiales, animales con ambas correlaciones, y animales sin ninguna correlación prandial. Más adelante se verá (pág. 42) que el tipo de correlación prandial puede ser indicador de la posición jerárquica que ocupa un determinado animal.

### ***1.3.4. Influencia de los factores sociales***

Entre las posibilidades nuevas que ahora ofrece el SACA está la de valorar el efecto de la competencia social sobre el comportamiento alimentario. Una vez ampliado el estudio y la descripción de la conducta alimentaria resulta más sencillo observar las alteraciones que sobre ella infringe la conducta social. Pero antes de entrar en detalles sobre estas alteraciones conviene aclarar y recordar algunos conceptos relativos a la conducta social.

#### **1.3.4.1. La conducta social**

Los cerdos forman grupos con una marcada jerarquía social<sup>3</sup>. Cada animal sabe el lugar que ocupa dentro del conjunto, y sabe reconocer qué animales están por encima de él (le son dominantes) y qué otros por debajo (le son sumisos). La jerarquía distingue a los animales en dominantes y sumisos. Un animal dominante tiene prioridad sobre el sumiso respecto a los recursos comida, bebida, lugar de descanso y apareamiento (Banks, 1979). Según Jonsson (1985), la heredabilidad de la dominancia social es del 0,47.

Las relaciones de dominancia entre los animales se caracterizan por tres propiedades: estabilidad, transitividad y linealidad. La estabilidad significa que la relación de dominancia de un animal A respecto a otro animal B se mantiene constante en el tiempo: en todos los encuentros antagonistas entre A y B siempre sale ganando el primero. Lo contrario a la estabilidad se denomina ambigüedad: algunas veces A domina sobre B y otras ocurre lo contrario. Las relaciones de dominancia entre tres animales A, B y C serán transitivas cuando se cumpla que A domina sobre B, B domina sobre C, y A también domina sobre C ( $A > B > C < A$ ). Las relaciones tríadas de dominancia que no son transitivas se denominan circulares ( $A > B > C > A$ ). Por último, cuando las relaciones tríadas son siempre transitivas dentro de un grupo se dice que existe jerarquía lineal entre los individuos de ese grupo (Coombs *et al.*, 1970; Chase, 1980).

Se han desarrollado índices de linealidad de las jerarquías que permiten describir matemáticamente cuándo una jerarquía es lineal y cuándo es circular (Landau, 1951;

---

<sup>3</sup> El término jerarquía social también se conoce por el nombre de jerarquía de dominancia.

Kendall, 1962; Appleby, 1983). Estos índices calculan si la proporción de las tríadas en las que la relación de dominancia es circular es menor a la que cabría esperar por casualidad (Appleby, 1983).

En 1973, Meese y Ewbank estudiaron con profundidad el establecimiento de la jerarquía en la especie porcina. Cuando introdujeron ocho animales –desconocidos entre ellos– en el corral observaron que, de inmediato, se producían intensas peleas entre pares de animales. Éstas fueron muy características: los cerdos enfrentados intentaban morderse en la cabeza y en las orejas. Con frecuencia se colocaban uno al lado del otro y con la cabeza invertida para tratar de morder al contrincante en los flancos y en las patas traseras. En algunas ocasiones, uno de los cerdos caía y esto permitía al otro reanudar sus ataques a la cabeza. Esporádicamente, uno de los animales huía y era perseguido por el contrincante el cual le iba mordiendo desde la retaguardia. Este último tipo de agresión fue característico de los animales que más tarde fueron identificados como dominantes, pero no fue exclusivo de ellos.

Durante la primera hora posterior al encuentro del grupo los animales más activos fueron los que más tarde llegarían a ser dominantes. A las dos horas y media la actividad del corral se reduce bruscamente y los animales descansan durante un rato. A las tres horas vuelve la actividad, esta vez protagonizada por los cerdos que ocuparán una posición intermedia en la escala jerárquica, y alcanza su punto máximo a las cuatro horas y media. A las veinticuatro horas de la agrupación las peleas intensas hubieron prácticamente desaparecido y a las cuarenta y ocho horas el rango social quedó perfectamente establecido. Durante todo este periodo se observaron algunas conductas de monta, tanto en machos como en hembras, pero no parecían tener una naturaleza sexual.

La actitud de sumisión o subordinación, contrariamente a la de dominancia, es más difícil de apreciar. En ocasiones puede observarse que los animales sumisos retroceden o huyen ante las amenazas, arquean el cuerpo, disponen de forma caída las orejas y la cola, y adquieren una postura que minimiza los mordiscos en las orejas (Meese y Ewbank, 1973; Morrow-Tesch *et al.*, 1994). Los animales sumisos desarrollan menor actividad que los dominantes (Meese y Ewbank, 1973).

Las relaciones de dominancia que estructuran la jerarquía de un grupo se caracterizan por ser estables (constantes en el tiempo). La jerarquía se mantiene, en ocasiones, por medio de señales sutiles (Banks, 1979). Ewbank y Meese (1974), sugirieron que la vista no era necesaria para el mantenimiento de la jerarquía.

La organización social jerárquica del cerdo presenta la ventaja de que permite a los cerdos funcionar sin necesidad de luchar en cada ocasión en la que se encuentran dos miembros del grupo (Beilharz y Cox, 1967).

Cuando los recursos son escasos, aparece la competencia social, la cual pone de manifiesto, de forma agresiva, las relaciones de dominancia. Por ejemplo, Vargas *et al.* (1987) observaron que, en un sistema de alimentación restringida, los cerdos dominantes eran los primeros en visitar el comedero a primera hora del día, desplazaban a sus compañeros, tenían menos tiempo de espera antes de acceder al comedero y presentaban una mayor frecuencia de visitas y un mayor crecimiento. Las manifestaciones más típicas de competencia son las agresiones (mordiscos, amenazas, golpes de cabeza, empujones, luchas, persecuciones, etc.), las montas y los desplazamientos del comedero.

La forma más común de medir la jerarquía social consta de cinco pasos (Lee *et al.*, 1982). No se debe olvidar que la determinación de la jerarquía siempre tiene un componente subjetivo (Meese y Ewbank, 1973):

- a) Definir las conductas e interacciones asociadas a la dominancia en las que nos fijaremos.
- b) Observar a los animales. Se puede hacer mediante la observación visual directa o por medio de videgrabaciones. Debe determinarse qué franjas horarias son las más convenientes para realizar el estudio.
- c) Contabilizar el resultado de los encuentros antagonistas entre pares de animales. Cada encuentro puede ser de ganador o de vencido.
- d) Construir una tabla o matriz de incidencias entre todos los animales a fin de determinar cuál es el dominante de cada par de animales. Cuando las relaciones no son lineales sino bidireccionales (unas veces  $A > B$  y otras  $B > A$ ) el dominante será el que gana más veces.
- e) Obtener, a partir de la matriz de incidencias y de un índice matemático de rango, la posición social de cada animal dentro de su grupo: *índice de rango social*.

La asignación de un rango ordinal puede presentar problemas cuando las relaciones entre animales no son lineales, transitivas y estables. Para estos casos, Boyd y Silk (1983) presentaron un método basado en rangos cardinales de dominancia que, además de la posición de cada animal dentro del grupo, indican la intensidad de su dominancia respecto a los otros. Por ejemplo, si un animal A gana 10 veces a un animal B en los 10 encuentros antagonistas que han sufrido, mientras que B sólo gana a C dos veces en 3 encuentros, se puede afirmar que el grado de dominancia de A sobre B es mucho mayor que el de B sobre C. Un rango ordinal no puede reflejar este aspecto, en cambio, los rangos cardinales, que expresan la cantidad más que el orden de la dominancia, sí que lo hacen.

Otros parámetros relacionados con el comportamiento social del cerdo son *nivel de agresiones*: número de agresiones que ha realizado un animal durante la observación (el nivel de agresiones aplicado a todo el corral puede ser un buen indicador del grado de competencia que existe), *rango de dominancia*: número de individuos que domina un determinado animal, e *índice de dominancia*: número de individuos dominados por un animal dividido por el número total de interacciones antagonistas observadas en dicho animal (Brouns y Edwards, 1994).

#### 1.3.4.2. Influencia de la competencia social sobre el comportamiento alimentario

Algunas evidencias de la acción de la competencia social sobre el comportamiento alimentario podrían encontrarse en:

1) Aparición de consumos nulos: Csermely y Wood-Gush (1990) apreciaron que los animales con mayor rango jerárquico dedicaban más tiempo a desplazar a los cerdos que se acercaban al comedero que a comer. Young y Lawrence (1994) y Nielsen, *et al.* (1995b) sugirieron que los consumos nulos podrían estar causados tanto por los animales dominantes que protegen el comedero como por los animales sumisos que ven continuamente interrumpida su comida debido a los desplazamientos recibidos por parte de otros cerdos más dominantes.

2) Modificación de algunos parámetros alimentarios: Monrow y Walker (1994) y Nielsen *et al.* (1995a) estudiaron el efecto de la protección en el comedero –como sistema de reducción de la competencia– sobre la conducta alimentaria y observaron

que se producía una reducción del número de visitas, un aumento del tamaño de cada visita y una disminución de la velocidad de consumo. Brouns y Edwards (1993) supusieron que las cerdas madres se adaptaban a la competencia incrementando su velocidad de consumo. En este sentido, De Haer y Merks (1992) demostraron que los cerdos alojados individualmente –y, por tanto, privados de competencia– presentaban, respecto a los animales alojados en grupo, una velocidad de ingestión inferior, una frecuencia de visitas superior, y un tamaño y duración de visitas menor. Nielsen *et al.* (1995b) valoraron los cambios de conducta alimentaria en función del número de animales por corral y evidenciaron que los grupos de 20 animales presentaban visitas con menor frecuencia pero con mayor tamaño, duración y velocidad, que los grupo de 5, 10 y 15 animales. Vargas *et al.* (1987) observaron, con alimentación restringida, que los cerdos menos dominantes disminuían la frecuencia de visitas y aumentaban el tiempo de espera antes de acceder al comedero.

3) Cambios en el ciclo circadiano de los parámetros alimentarios: Walker (1991) encontró que algunos de los animales alojados en grupos de 30 desplazaban su ciclo circadiano de comidas hacia la noche para poder acceder al alimento en horas de menor competencia y saturación. Botermans *et al.* (1997) observaron que los cerdos alimentados con comederos tradicionales o con 4 tolvas sólo comían durante el día mientras que los que eran alimentados con una única tolva presentaban actividad alimentaria durante las 24 horas del día. Podría ocurrir que los animales más sumisos desplazaran sus comidas a horas de menor competencia y presentaran unos ciclos circadianos de ocupación del comedero diferentes a los de los animales dominantes.

4) Las correlaciones prandiales: El tipo de correlación prandial puede servir para distinguir a los animales en dominantes y sumisos (Young y Lawrence, 1994). Una explicación de la influencia de la competencia social sobre las correlaciones prandiales podría ser la siguiente: los cerdos menos dominantes comen cuando pueden –cuando no son molestados por los otros animales más dominantes– y, como no saben cuando podrán volver a comer, ingieren todo lo que pueden: hasta que los mecanismos de saciedad actúan para inhibir el consumo de alimento. Estos animales presentan correlaciones pre-prandiales: el tamaño de la siguiente ingestión dependerá del tiempo que haya tenido que esperar para poder acceder al alimento. Es diferente la situación del cerdo dominante, que come cuando le apetece –cuando tiene hambre–. No le importa comer mucho o poco porque sabe que tendrá acceso al comedero cuando lo desee: cuando los mecanismos de hambre empiecen a actuar. Estos animales más dominantes presentan correlaciones post-prandiales: el tiempo hasta la siguiente comida depende de lo que haya querido ingerir para paliar el hambre. Young y Lawrence (1994) sugirieron

que las correlaciones prandiales podían ser una medida del control que tiene un cerdo sobre su comportamiento alimentario, en lugares donde la competencia interfiere con el acceso a la comida.

### ***1.3.5. Relación entre la conducta alimentaria y la productividad***

Bajo el término productividad se pueden englobar diversos parámetros que hacen referencia, más o menos directa, al beneficio económico del cerdo. Por tanto, antes de ver la relación entre la conducta alimentaria y la productividad, conviene describir brevemente los parámetros productivos en el cerdo y la técnica de medición de algunos de ellos.

#### **1.3.5.1. Parámetros productivos**

Existen varias clasificaciones de estos parámetros y una de ellas puede ser la siguiente:

a) parámetros estrictamente productivos: *ganancia media de peso diaria* o crecimiento (**GMPD**) y eficiencia o *índice de conversión* (**IC**). Algunos autores prefieren trabajar con el parámetro *ingestión residual* (definido como ingestión diaria menos ingestión diaria predicha) en lugar del IC (por ejemplo, De Haer *et al.*, 1993; Mrode y Kennedy, 1993).

b) parámetros de calidad de la canal: *espesor de la grasa dorsal* (**GD**), *espesor de la grasa renal* (**GR**), *porcentaje de magro* (**PM**) y *porcentaje de grasa* (**PG**). Según Whittemore (1993c) la grasa dorsal es el principal criterio para determinar la calidad de las canales porcinas.

c) parámetros de calidad de la carne: grasa intramuscular, color, olor, textura, humedad, pH, etc.

Los parámetros productivos más utilizados por la literatura son GMPD, IC, GD (y/o GR) y PM. El crecimiento diario se calcula pesando a los animales cada cierto tiempo (por ejemplo, cada semana) y dividiendo el incremento de peso entre el número de días transcurridos. El índice de conversión se obtiene del cociente entre el incremento de peso y el incremento de consumo de alimento (algunos autores prefieren invertir los términos de este cociente).

El espesor de la grasa dorsal y de la grasa renal se pueden medir “ante-mortem” o “post-mortem”. En el primero de los casos se consigue por medio de la técnica del ultrasonido, basada en la diferente resistencia a la penetración de ondas acústicas entre el tejido adiposo y el graso. En el límite entre los dos tejidos se produce un eco característico que permite valorar el espesor subcutáneo de la grasa. Suele utilizarse el aparato de ultrasonidos “Renco Lean Meter”. El espesor de la grasa renal se valora en la última costilla, a 4-8 cm de la línea dorsal media, sobre el músculo *longissimus*. La grasa renal se mide de la misma manera pero en la última vértebra lumbar. Cuando la medición se hace post-mortem se utiliza la sonda “Fat o meter” para medir el espesor de la grasa en la canal.

El porcentaje de magro se calcula directamente a partir de los espesores de la grasa y del músculo en la región media del dorso, por medio de unas fórmulas estándar.

Los parámetros productivos están muy relacionados entre sí. El crecimiento se relaciona negativamente con el índice de conversión y positivamente con el espesor de la grasa. El índice de conversión presenta relación positiva con el grado de engrasamiento del animal. El porcentaje de magro y el espesor de la grasa están relacionados positivamente puesto que el primero se obtiene a partir del segundo. Algunos valores de estas correlaciones fueron recogidos por Mrode y Kennedy (1993).

#### 1.3.5.2. Relación entre los parámetros alimentarios y los productivos

Hasta hace pocos años la relación entre los parámetros productivos y los alimentarios se refería sólo al consumo voluntario, que tiene una correlación positiva con el crecimiento, con el índice de conversión y con el espesor de la grasa dorsal y renal. En el último decenio se han empezado a conocer las relaciones de otros parámetros alimentarios con los parámetros productivos: De Haer (1992) encontró correlaciones positivas de la velocidad de ingestión con el crecimiento diario ( $r = 0,50$ ) y con la grasa dorsal ( $r = 0,35$ ). El tamaño de la comida también presentaba correlaciones positivas con el crecimiento diario ( $r = 0,49$ ) y con la grasa dorsal ( $r = 0,36$ ). Ramaekers (1996) apreció que la correlación del porcentaje de magro con el tiempo de ingestión diario ( $r = -0,40$ ) y con la frecuencia de visitas ( $r = 0,56$ ) podía ser utilizada para distinguir los cerdos formadores de magro de los formadores de grasa, y para restringir éstos últimos. Hyun *et al.* (1997) observaron correlación positiva de la velocidad de ingestión con el crecimiento medio diario ( $r = 0,32$ ).

## 1.4. Problemas sin resolver

El capítulo anterior muestra varios temas de comportamiento alimentario susceptibles de ser estudiados a partir de la información generada por el suministrador automático de consumo alimentario. Este nuevo panorama ha enriquecido y desarrollado la ciencia del comportamiento alimentario del cerdo en los últimos diez años. Sin embargo, todavía quedan aspectos poco estudiados y otros son algo confusos. A continuación se describen algunos de estos aspectos.

### 1.4.1. Aspectos metodológicos

#### 1.4.1.1. Criterios de depuración

Eissen (2000) fue el primero en proponer la elaboración de unos algoritmos que permitan depurar la información de manera automática y fiable. En su estudio, propuso 9 algoritmos. Parece adecuado *preguntarse si estos criterios de depuración (algoritmos) pueden generalizarse para todos los estudios que trabajen con el SACA*. Por tanto, todos los esfuerzos que se pongan en analizar las causas que generan los errores y en estudiar la incidencia de éstos ayudarán a fijar criterios generales de depuración.

#### 1.4.1.2. Criterio de comida

Trabajar con el criterio de comida supone un esfuerzo considerable. Primero debe calcularse el criterio de cada animal y, posteriormente, han de procesarse todos los datos para agrupar las visitas dentro de comidas. Por tanto, resulta lógico aclarar una serie de aspectos:

En su tesis doctoral, Ramaekers (1996) utilizó el criterio de comida obtenido por De Haer (1992). Interesa *averiguar si es conveniente extrapolar los criterios de comida entre diferentes trabajos*. Si fuera posible, ahorraría mucho tiempo a los investigadores.

De Haer y Merks (1992), Labroue *et al.* (1994) y Hyun *et al.* (1997) aplicaron un criterio de comida único (media global) para todos los cerdos. Por el contrario, aunque

se trataba de pájaros, Slater (1974) descubrió diferencias sustanciales entre los diferentes criterios de comida de cada animal, y sugirió la conveniencia de aplicar un criterio individualizado para cada uno de ellos. Es interesante *estudiar la diferencia entre la aplicación de un criterio global y uno individualizado para cada animal.*

Por último, cabe plantearse si los parámetros basados en comidas anulan a los derivados de visitas o si, por el contrario, no añaden mucho a la información global obtenida sólo a partir de visitas. Dicho en otras palabras, dado el esfuerzo que supone el hallar los parámetros basados en comidas, *¿es necesario utilizar el criterio de comida?.* Desde el punto de vista de los mecanismos de control del consumo voluntario queda justificado el cálculo del criterio de comida puesto que las correlaciones prandiales deben calcularse a partir de visitas agrupadas dentro de comidas.

#### 1.4.1.3. Consumos nulos

Young y Lawrence (1994) observaron que el 11 % de las visitas se producían con consumo igual a cero. Supusieron que eran provocadas por desplazamientos entre los animales. Parece conveniente *profundizar en el tipo de causa que provoca tal cantidad de registros de consumo nulo.*

Habitualmente, las visitas de consumo nulo no son consideradas tróficas (De Haer y Merks, 1992; Young y Lawrence, 1994) pero otros autores (por ejemplo, Ramaekers, 1996) las incluyen dentro de los parámetros alimentarios. Está por *demostrar si la inclusión de los consumos nulos provoca variaciones significativas en los parámetros de conducta alimentaria.*

### **1.4.2. Descripción de la conducta alimentaria**

#### **1.4.2.1. Evolución a lo largo del tiempo y consistencia**

Labroue *et al.* (1994) describió la tendencia en el tiempo de los parámetros “número de visitas diarias”, “número de comidas diarias”, “consumo de alimento diario”, “tiempo de ingestión diario” y “velocidad de ingestión”. Hyun *et al.* (1997) predijo la evolución con el peso vivo de los parámetros “consumo de alimento diario”, “tiempo de ingestión diario”, “velocidad de ingestión”, “número de comidas diarias”, “tiempo de ingestión por comida” y “consumo de alimentos por comida”. Conviene seguir profundizando en la tendencia que siguen los parámetros alimentarios y *comprobar qué procedimiento es mejor: evolución con en el tiempo, con la edad o con el peso vivo.*

Según los dos grupos de autores anteriores, la mayoría de los parámetros de comportamiento alimentario varían a lo largo del periodo de cebo, por tanto, interesa saber si esta variación afecta a todos los animales de la misma manera. Un modo de averiguarlo es por medio del *estudio de la consistencia*, en el tiempo, de cada parámetro. Un parámetro será consistente en un grupo de animales cuando el rango de éstos respecto al parámetro se mantiene constante en el tiempo. Es decir, el parámetro evoluciona en todos los animales pero el orden entre ellos tiende a conservarse. La consistencia es importante cuando se trabaja con medias globales<sup>4</sup> de todo un periodo. Puede pasar que dos animales tengan medias muy parecidas para un determinado parámetro pero que las curvas que describen en el tiempo –para ese parámetros– sean muy diferentes; de tal manera que, según el intervalo del periodo que observemos, la relación entre los parámetros de los dos animales varía.

---

<sup>4</sup> Una media global sería, por ejemplo, el *tiempo diario* de un individuo calculado como el promedio de las medias diarias de tiempo de los *n* días que dura el periodo analizado.

#### 1.4.2.2. Ritmo circadiano y ocupación

El perfil circadiano del consumo en el cerdo se caracteriza por manifestar una serie de picos. De Haer y Merks (1992) obtuvieron dos picos mientras que Hyun *et al.* (1997) sólo hallaron uno. Estos últimos sugirieron que el diferente régimen de iluminación (ellos emplearon luz constante durante las 24 horas y los otros siguieron el régimen de luz natural) podía ser la causa de la modificación del ciclo circadiano. Además, Feddes *et al.* (1989) afirmaron que los dos picos de consumo son una respuesta a la alternancia entre luz y oscuridad. Con todo esto, *el estudio del efecto de la luz sobre la conducta alimentaria del cerdo* resulta de gran interés.

Los parámetros alimentarios frecuencia, velocidad y tiempo suelen considerarse indicadores del grado de competencia (por ejemplo, De Haer y Merks, 1992; Hyun *et al.*, 1997; Botermans *et al.*, 1997). De igual manera, convendría *estudiar si el grado de ocupación del comedero es un buen indicador del grado de competencia.*

#### 1.4.2.3. Flexibilidad de la conducta alimentaria

Decir que la conducta alimentaria del cerdo es flexible equivale a decir que los parámetros alimentarios se adaptan a las diferentes condiciones ambientales para asegurar un nivel óptimo de consumo, esto es, para mantener el apetito constante. A este respecto, De Haer y De Vries (1993b) advirtieron que los cerdos alojados en grupo aumentaban la velocidad y disminuían la frecuencia, el tamaño y la duración, respecto a los alojados individualmente; no obstante, el consumo diario era el mismo. Por otro lado, Morrow y Walker (1994) y Nielsen *et al.* (1995a) comprobaron que la mayor protección del comedero se traducía en una disminución de la frecuencia y de la velocidad y en un aumento del tamaño y la duración; sin embargo, el consumo diario se mantenía constante.

Conviene *seguir estudiando esta propiedad de la conducta alimentaria (flexibilidad)* y enriquecerla con nuevas evidencias experimentales.

### 1.4.3. Efecto raza

Es abundante la literatura que describe las razas atendiendo a las características morfológicas, productivas, reproductivas, etc. En cambio, sobre las características de comportamiento alimentario se ha dicho muy poco. Todavía está por *comprobar si los datos de comportamiento alimentario que proporciona el SACA sirven para caracterizar y distinguir la conducta alimentaria (patrón alimentario) de cada raza o si, por el contrario, no es posible establecer diferencias nítidas entre ellas. De darse lo primero, sería lógico que las razas también se describieran atendiendo a su patrón alimentario.*

En este trabajo se han utilizado cuatro razas diferentes: Duroc, Landrace, Large White y Piétrain. A continuación, se describen brevemente algunas de las características de estas cuatro razas, con la esperanza de que algún día estas descripciones puedan ser enriquecidas con aspectos de comportamiento alimentario:

a) Raza Duroc: Es de capa de color pardo rojizo uniforme y de orejas que caen. Es original de Estados Unidos y se ha extendido por un gran número de países desde finales de los años 60. Debe su éxito a su rusticidad, a sus excelentes resultados de crecimiento –aunque inferiores a los de las poblaciones de Large White de Europa– y a un contenido en grasa intramuscular de la carne netamente superior, y comparable al de las razas chinas. Los rendimientos reproductivos son el punto débil de esta raza: son sensiblemente inferiores a los de la raza Large White y Landrace. Esta raza interviene en los planes de cruzamiento bien como línea hembra (materna) o como línea macho (paterna) (ITP, 1997).

b) Raza Landrace: Animal de capa blanca sin pelos de color y sin pigmentación. La cabeza se caracteriza por las orejas caídas. El cuerpo es largo con una tendencia fusiforme. Está reconocida por sus cualidades maternas: las cerdas son tranquilas y buenas lecheras. La prolificidad es de un excelente nivel y el ritmo productivo es elevado. La precocidad sexual de las cerdas jóvenes es buena y mejor que la de la hembra Large White. Los resultados en crecimiento son excelentes, pero ligeramente peores que los de la raza Large White (alrededor de 4 días más para alcanzar los 100 Kg y + 0,10 puntos para el índice de conversión). El contenido en músculo es intermedio (-1,5 % en relación con la raza Large White). Por el contrario, la calidad de la carne de la raza Landrace supera a la raza Large White por el pH final de la carne y por las características de color y humedad (ITP, 1997).

c) Raza Large White: Cerdo de capa blanca uniforme. Tiene las orejas erguidas y abiertas por delante. Su forma del cuerpo paralelepípedica le confiere una buena repartición de las masas musculares y un buen equilibrio corporal. Los jóvenes alcanzan la pubertad hacia los 190-210 días. Las hembras tienen una media de 14 mamas. Presenta excelentes facultades de adaptación, buenos rendimientos reproductivos, resultados de crecimiento (ganancia media de peso diaria e índice de conversión) óptimos y buenas referencias para la calidad de la carne. Obtiene resultados destacables con respecto a los rendimientos de canal. Esta raza se utiliza ampliamente en los programas de crecimiento como componente de la vía materna y, con bastante frecuencia, como componente de la vía macho en asociación con una raza paterna especializada (ITP, 1997).

d) Raza Piétrain: Cerdo blanco, manchado en negro y a veces en rojo. Es original de Bélgica donde fue observado por primera vez alrededor del año 1920. Raza dotada de un contenido muscular excepcional (alrededor de + 6 % a + 8 % con respecto a las razas Large White y Landrace). Su crecimiento es lento (alrededor de tres semanas más para alcanzar los 100 Kg), pero su índice de conversión resulta competitivo. La calidad de la carne es netamente inferior a las otras tres razas descritas arriba. Esta raza es utilizada sobre todo como macho terminal o finalizador en raza pura o en cruzamiento con otra raza (ITP, 1997).

Es conocido que esta raza es muy diferente a las otras tres descritas por lo que respecta a las características de crecimiento y conformación. *Sería interesante estudiar si estas diferencias también se dan en el comportamiento alimentario.* En este sentido, Webb (1989) describió que el apetito de la raza Piétrain estaba cercano al 87 % de la raza Large White y Labroue *et al.* (1999) observaron que la mayoría de los parámetros alimentarios de la raza Piétrain presentaban diferencias significativas con los obtenidos en la raza Large White.

#### **1.4.4. Efecto halotano**

El efecto del gen halotano sobre los parámetros productivos ha sido demostrado por varios autores (por ejemplo, Webb, 1981). También se sabe que afecta al parámetro alimentario “apetito” (Webb *et al.*, 1982). Sin embargo, no sabemos nada sobre la influencia del gen halotano sobre los otros parámetros alimentarios. Antes de describir el efecto conocido del gen halotano sobre la productividad y el apetito conviene recordar algunas cuestiones relativas a dicho gen.

##### **1.4.4.1. El gen del halotano**

El gen del halotano es un gen recesivo Hal<sup>n</sup> que se encuentra en el cromosoma 6 del cerdo. Los animales halotano positivo son homocigóticos recesivos (Hal<sup>n</sup>/Hal<sup>n</sup>) y están predispuestos al síndrome del estrés porcino o hipertermia maligna. Esta patología, además de provocar mayor frecuencia de muertes en el cerdo (sensibiliza contra el estrés físico o ambiental) y de dificultar el manejo del animal, es la causa principal de las carnes PSE (pálidas, blandas y exudativas).

La fisiopatología del síndrome del estrés porcino (PSS) es el resultado de un repentino y continuado incremento de la concentración de calcio en el citoplasma del músculo de los animales afectados, que origina rigidez muscular, hipertermia y acidosis metabólica y respiratoria, al activar el calcio el metabolismo aerobio y anaerobio. La mutación de la proteína formadora del canal de liberación del calcio del retículo sarcoplasmático, por donde sale el calcio para comenzar la contracción, sería la causa íntima que originaría el conjunto de desequilibrios señalados (Heffron, 1987; Fuji *et al.*, 1991).

Las carnes PSE aparecen cuando, después del sacrificio, coexisten en el músculo temperaturas superiores a 38°C y una caída del pH más rápida de lo normal (pH 45<6)<sup>5</sup>. Ambos fenómenos –que siempre aparecen en los animales afectados de hipertermia maligna– incrementan el grado de desnaturalización de las proteínas miofibrilares y sarcoplasmáticas del tejido muscular, originándose una ostensible disminución de la capacidad de retención de agua muscular y una decoloración de la carne. Se ha

---

<sup>5</sup>pH 45 es un indicador de la calidad de la carne post-mortem: indica el pH de la carne medido a los 45 minutos después del sacrificio.

demostrado que un mal manejo pre-sacrificio también podría provocar carnes PSE en animales resistentes al estrés porcino.

En principio, los genotipos  $Hal^N/Hal^N$  y  $Hal^N/Hal^n$  han de tener la misma incidencia de carnes PSE, pero algunas condiciones del matadero –buenas condiciones– hacen que los animales  $Hal^N/Hal^N$  tengan menor incidencia. Recientes experimentos han evidenciado que los individuos heterocigóticos presentan mayor frecuencia de canales PSE (Diestre, 1995). Las carnes  $Hal^N/Hal^n$  tienden a tener una calidad intermedia entre  $Hal^n/Hal^n$  y  $Hal^N/Hal^N$  (Webb *et al.*, 1982; Sellier, 1987).

En la actualidad, contamos con tres técnicas para la detección e identificación del gen halotano. La primera se desarrolló en la década de los setenta y es la *prueba del halotano*, que permite predecir los animales sensibles al estrés porcino (Eikelenboom y Minkema, 1974). En los cerdos sensibles una mezcla de oxígeno y halotano al 3 %, administrada después de ocho semanas de edad, origina, un minuto después de su aplicación, rigidez de extremidades, aumento del ritmo respiratorio y manchas violáceas en la piel de modo que, si no se retira la anestesia unos segundos después del inicio de tales reacciones, se provoca el síndrome de hipertermia maligna que puede conducir a la muerte de los animales. Los cerdos que reaccionan con esta técnica son los homocigóticos recesivos  $Hal^n/Hal^n$ .

El gen del halotano también se puede detectar mediante la identificación de marcadores sanguíneos del gen  $Hal^n$ . Se trata de variantes electroforéticas de dos proteínas del glóbulo rojo (la PHI y la PDG) que son gobernadas por loci próximos al de la sensibilidad al halotano. Una simple toma de sangre, seguida de una identificación de tales genes marcadores, permite detectar individuos no portadores del gen  $Hal^n$  con una precisión aceptable (Andresen, 1987). Esta técnica presenta la ventaja, respecto a la anterior, de no ser agresiva para los animales.

En 1991, investigadores canadienses desarrollaron un test bioquímico molecular muy preciso (test del DNA) que detecta la mutación genética que causa el síndrome del estrés porcino (mutación del gen “ryanodine”). Esta técnica de diagnóstico genético permite identificar animales halotano positivo, halotano negativos y portadores, aspecto que no lograban las otras dos técnicas (Fuji *et al.*, 1991; Sellier y Monin, 1994).

La raza Piétrain tiene gran incidencia de animales halotano positivo, mientras que la raza Duroc apenas presenta casos de PSE. Las razas Large White y Landrace se encuentran en una situación intermedia entre Piétrain y Duroc. En los últimos años,

gracias a la técnica del test del DNA, se ha podido reducir considerablemente la incidencia del gen Hal, especialmente en las razas Landrace y Large White (Wood, 1989).

#### 1.4.4.2. Efecto halotano sobre la productividad y el apetito

Los cerdos halotano positivo comen y crecen menos, tienen mejor índice de conversión, acumulan menos grasa, presentan mayor porcentaje de magro y tienen un mayor rendimiento de la canal. Es decir, tienen mejores características de la canal, peor crecimiento e inferior calidad de la carne (Webb, 1981; Webb *et al.*, 1982; Oliver *et al.*, 1993; Fisher *et al.*, 2000).

Sería interesante *averiguar si los animales homocigotos recesivos presentan alguna diferencia con respecto a otros parámetros alimentarios diferentes al apetito.*

#### **1.4.5. Importancia de los factores sociales**

Parece ser que el comportamiento social sólo afecta al apetito y a la productividad en sistemas de alimentación restringida. Algunos autores afirman que, en condiciones de alimentación *ad libitum*, el animal modifica la conducta alimentaria para asegurar el consumo y mantener estable su crecimiento (Vargas *et al.*, 1987; Brons y Edwards, 1993; Nielsen *et al.*, 1995b).

De todas formas, resulta interesante comprobar este aspecto pues, como ya se comentó (pág. 9), los suministradores automáticos de consumo alimentario han agravado el problema de la competencia, debido a que sólo existe un comedero por corral y se produce sincronización y facilitación social (Hasia y Wood-Gush, 1983). Al inicio de la Introducción (pág. 3), se ha definido el apetito como el deseo de nutrientes expresado en términos de consumo voluntario de alimento (Whittemore, 1993a). Es de suponer que en sistemas de alimentación *ad libitum* el consumo obtenido responde efectivamente al verdadero apetito del animal. Pero puede también ocurrir que, aunque el suministro de alimento sea abundante para todos los individuos, el comportamiento social influya sobre el consumo provocando que éste no represente correctamente el apetito de los animales. Cabe preguntarse si algunos animales, aun disponiendo de todo el alimento que desean, ven limitado su consumo por la influencia de la jerarquía social.

En definitiva, se trata de *averiguar si el comportamiento social puede actuar como limitante del consumo voluntario en animales alimentados ad libitum*. Si se comprobara esto último correríamos el riesgo de estar seleccionando, sin querer, cerdos agresivos.

Desde la aparición del SACA, algunos autores han pretendido valorar el efecto de la competencia, no sólo a través de la observación visual directa de las agresiones, las montas y los desplazamientos, sino también de manera indirecta, a través de las perturbaciones que provoca sobre el comportamiento alimentario; por ejemplo, Nielsen (1999) propone que los cambios en velocidad de ingestión de los animales alojados en grupo pueden ser reflejo de cambios en el ambiente social y, por tanto, pueden ser usados como un indicador de la competencia social. Convendría *estudiar si es posible deducir el rango social de los animales a partir de las modificaciones alimentarias registradas por el SACA*, sin necesidad de la observación directa de las agresiones entre pares de animales.

#### ***1.4.6. Relación del comportamiento alimentario con la productividad***

Desde el punto de vista económico, la relación con la productividad es, probablemente, el aspecto más interesante del comportamiento alimentario. Con el uso del SACA muchos autores han comprobado que esta relación existe y es importante (por ejemplo, De Haer, 1992; Ramaekers, 1996; Hyun, 1997). No obstante, algunos resultados encontrados parecen contradecirse. Por tanto, no está de más *seguir profundizando en este tema hasta llegar a establecer relaciones generales*.

#### ***1.4.7. Las correlaciones prandiales***

Las correlaciones prandiales del cerdo han sido muy poco estudiadas. En otras especies la literatura es más abundante (por ejemplo, Le Magnem y Devos, 1980; Kaufman y Collier, 1983; Savory, 1989). Este tema sigue presentando actualidad, más si se tiene en cuenta que el único estudio de correlaciones prandiales realizado con SACA en cerdos (Young y Lawrence, 1994) no pudo trabajar con el criterio de comida y tuvo que hacerlo con visitas. Tanto Savory (1989) como Young y Lawrence (1994) sugieren que las correlaciones prandiales indican el mecanismo de control que el animal ejerce sobre su comportamiento alimentario, y este control responde al rango social de los animales alojados en grupo. Así pues, resulta apropiado *estudiar las correlaciones*

*prandiales del cerdo a partir de visitas agrupadas en comidas y verificar si sirven para explicar el control sobre el comportamiento alimentario.*

\*\*\*\*\*

Los objetivos de este trabajo fueron planteados de acuerdo con los apartados anteriores y hacen referencia a algunas cuestiones del comportamiento alimentario del cerdo todavía no resueltas *después* de la aparición del SACA. En el próximo capítulo serán descritos con detalle.

## ***2. OBJETIVOS***

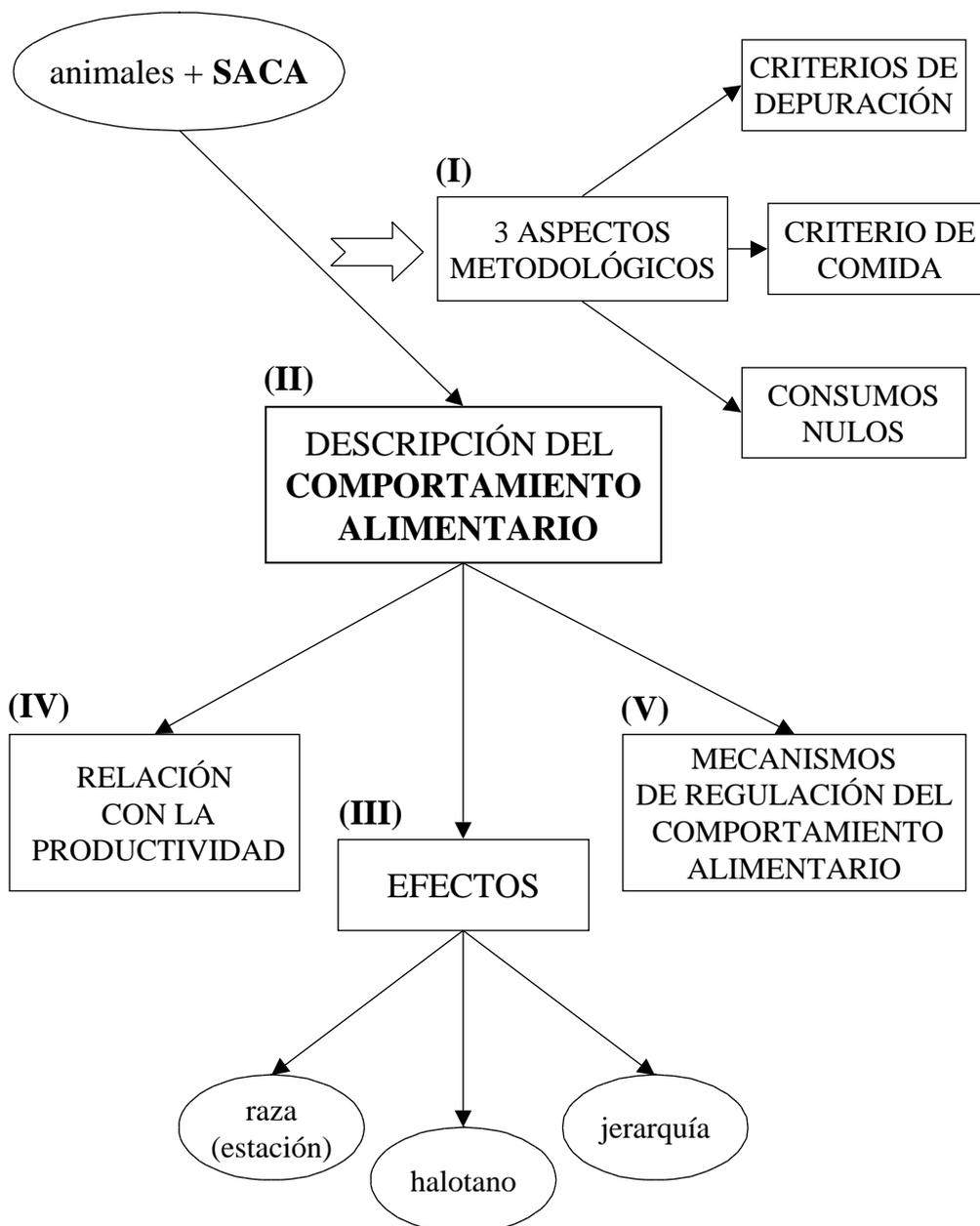
---



Los temas principales estudiados en este trabajo pueden clasificarse en 5 apartados (**Esquema 2.1**): a) abordar aspectos metodológicos relacionados con la obtención de los parámetros alimentarios; b) describir el comportamiento alimentario del cerdo a partir de los datos registrados por el SACA; c) analizar la influencia de algunos efectos (raza, estación, halotano y competencia social) sobre el comportamiento alimentario; d) estudiar la relación entre el comportamiento alimentario y la productividad; e) profundizar en los mecanismos de regulación del comportamiento alimentario por medio del cálculo de las correlaciones prandiales. El estudio pormenorizado de cada uno de estos apartados permite concretar los **7 objetivos** de esta tesis doctoral que, a su vez, pueden detallarse en cuestiones concretas:

1. Abordar 3 aspectos metodológicos: criterios de depuración, criterio de comida y consumos nulos.
  - 1.1. *¿Los criterios de depuración pueden ser generalizados para todos los estudios realizados con el SACA?*
  - 1.2. *¿Conviene extrapolar el criterio de comida entre diferentes trabajos?*
  - 1.3. *¿Es preferible utilizar un criterio de comida individualizado para cada animal a uno global?*
  - 1.4. *¿Es necesario trabajar con el criterio de comida en los estudios de comportamiento alimentario del cerdo?*
  - 1.5. *¿Cuál es la causa que provoca la aparición de los consumos nulos?*
  - 1.6. *¿Los consumos nulos forman parte de los parámetros alimentarios?*
  
2. Describir el comportamiento alimentario del cerdo aprovechando las nuevas posibilidades del SACA: definir y calcular los parámetros alimentarios, describir la evolución, la consistencia y las relaciones internas de estos parámetros; y valorar el grado de ocupación del comedero automático.
  - 2.1. *¿Cuál es la metodología más apropiada para el estudio de las tendencias de los parámetros alimentarios?*
  - 2.2. *¿Los parámetros alimentarios son consistentes?*
  - 2.3. *¿Cuál es el papel de la luz en la conducta alimentaria del cerdo?*
  - 2.4. *¿Existe relación entre el grado de ocupación del comedero y la competencia?*

- 2.5. *¿Se pueden establecer relaciones entre los parámetros alimentarios que sean comunes a la 4 razas estudiadas?*
    - 2.6. *¿La conducta alimentaria es flexible?*
  3. Comparar la conducta alimentaria de las cuatro razas estudiadas (efecto raza).
    - 3.1. *¿Es posible establecer patrones alimentarios característicos de cada raza?*
  4. Analizar el efecto halotano sobre la conducta alimentaria.
    - 4.1. *¿El genotipo sensible al estrés modifica el comportamiento alimentario?*
  5. Estudiar la influencia de la jerarquía social sobre la conducta alimentaria.
    - 5.1. *¿La competencia social puede limitar el consumo voluntario en un sistema de alimentación ad libitum?*
    - 5.2. *¿Resulta posible deducir el rango social de un animal a partir de las modificaciones alimentarias registradas por el SACA?*
  6. Estudiar la relación entre la conducta alimentaria y la productividad.
    - 6.1. *¿Se pueden establecer relaciones generales –comunes a las 4 razas– entre los parámetros alimentarios y los productivos?*
  7. Profundizar en los mecanismos de regulación del comportamiento alimentario en el cerdo.
    - 7.1. *¿Las correlaciones prandiales explican el tipo de control que ejerce el cerdo sobre su comportamiento alimentario?*



Esquema 2.1. Cinco apartados (I, II, III, IV, V) en los que se dividen los objetivos.



### ***3. MATERIAL Y MÉTODOS***

---



### 3.1. Diseño experimental

#### 3.1.1. Animales

En el *Centre de Control Porcí de Monells* (IRTA) se realizó un proyecto de investigación con dos lotes de animales y un total de 205 animales analizados. La **Tabla 3.1** muestra la distribución de los animales en cada uno de los dos lotes.

El primer lote fue analizado durante el otoño de 1995, entre el 6 de noviembre de 1995 y el 5 de enero de 1996, y fueron estudiados 116 machos enteros de cuatro razas: 34 Large White, 36 Landrace, 24 Duroc y 22 Piétrain. Fueron repartidos en 10 corrales con 12 cerdos cada uno. En cada corral sólo había una raza. Todos los animales entraron el mismo día con un peso medio de 27,60 Kg (rango: 24,36-30,84) y una edad media de 65,97 días. El intervalo de nacimientos fue de una semana: entre el 28 de agosto y el 4 de septiembre.

El segundo lote fue analizado durante la primavera de 1996, entre el 11 de marzo y el 10 de mayo, y fueron estudiados 89 cerdos machos enteros de cuatro razas: 35 Large White, 24 Landrace, 23 Duroc y 7 Piétrain. Fueron repartidos en 8 corrales formados por grupos de entre 12 y 14 animales cada uno. En cada corral sólo había una raza. Todos los animales entraron el mismo día con un peso medio de 31,63 Kg (rango: 27,73–35,53) y una edad media de 73,23 días. El intervalo de nacimiento fue de 16 días, entre el 22 de diciembre de 1995 y el 6 de enero de 1996.

Los animales procedieron de 14 empresas de selección de varias zonas de España (Lleida, Barcelona, Teruel, Madrid, Girona, Burgos).

Los primeros once días fueron considerados como un tiempo de adaptación de los animales al suministrador automático de consumo de alimento<sup>6</sup>. A partir del día once se analizaron, en los dos lotes, los siguientes 50 días. Este número de días vino determinado por la salida a matadero del primer cerdo del lote de otoño. Interesaba que todos los cerdos fueran analizados durante el mismo periodo de días para poder comparar parámetros. Así, en el lote 1, los intervalos de peso y de edad analizados fueron de 33-75 Kg y 75-125 días; mientras que en el lote 2 los intervalos fueron de

---

<sup>6</sup> Otros autores también dejan un tiempo de adaptación de los animales al comedero. Por ejemplo, Nielsen *et al.* (1995a y b) y Hyun *et al.* (1997) permitieron 14 días y 7 días de adaptación, respectivamente.

36,9-76 Kg y 84-134 días. En ambos lotes, los grupos de cerdos (corrales) fueron formados con parejas de medios hermanos.

La **Tabla 3.1** muestra la relación el número de animales iniciales y el número de animales analizados. No se produjeron nuevas incorporaciones de animales en ningún momento del periodo. Sólo las pérdidas por enfermedad causaron retirada de animales: 4 cerdos en el lote 1 y 14 en el lote 2. Estos animales no fueron analizados. El segundo lote estuvo sometido a mayor carga infecciosa y las irregularidades (patologías, bajas, pérdidas de información) fueron más frecuentes.

El diseño experimental de los dos lotes fue muy parecido. Sólo cabe destacar que en el lote de primavera el intervalo de nacimientos fue mayor, y por tanto, también el peso y la edad inicial; y que los animales padecieron mayor número de enfermedades y bajas. Los corrales 5 y 7 del lote de primavera no entraron en el análisis debido a que los animales de estos corrales se incorporaron más tarde a la granja.

Tabla 3.1. Distribución de los animales en los diversos corrales y lotes.

		animales		
		nº inicial	nº eliminados	nº analizados
<b>Duroc</b>				
Lote 1	corral 6	12	0	12
	corral 8	12	0	12
	<i>total</i>	24	0	24
Lote 2	corral 2	12	1	11
	corral 4	13	1	12
	<i>total</i>	25	2	23
<b>total (2 lotes)</b>		49	2	<b>47</b>
<b>Landrace</b>				
Lote 1	corral 1	12	0	12
	corral 4	12	0	12
	corral 10	12	0	12
	<i>total</i>	36	0	36
Lote 2	corral 6	14	1	13
	corral 7	xxx	xxx	xxx
	corral 9	14	3	11
	<i>total</i>	28	4	24
<b>total (2 lotes)</b>		64	4	<b>60</b>
<b>Large White</b>				
Lote 1	corral 3	12	0	12
	corral 7	12	1	11
	corral 9	12	1	11
	<i>total</i>	36	2	34
Lote 2	corral 1	12	0	12
	corral 3	14	2	12
	corral 10	12	1	11
	<i>total</i>	38	3	35
<b>total (2 lotes)</b>		74	5	<b>69</b>
<b>Piértrain</b>				
Lote 1	corral 2	12	1	11
	corral 5	12	1	11
	<i>total</i>	24	2	22
Lote 2	corral 5	xxx	xxx	xxx
	corral 8	12	5	7
	<i>total</i>	12	5	7
<b>total (2 lotes)</b>		36	7	<b>29</b>
<b>Total (4 razas)</b>		<b>223</b>	<b>18</b>	<b>205</b>

### **3.1.2. Condiciones ambientales y nutricionales**

#### **3.1.2.1. Alimentación**

La alimentación de los cerdos fue *ad libitum*, con un pienso granulado de engorde que contenía 17,48 % de proteína bruta y 3188 Kcal/Kg de EM cerdos. Los animales disponían de agua *ad libitum*; en cada corral había un bebedero.

#### **3.1.2.2. Instalación y ambiente**

Los corrales tenían una superficie de 12,85 m<sup>2</sup>, con un suelo de tipo slat parcial. El espacio medio libre por cerdo fue de 1 m<sup>2</sup>. El ciclo de iluminación fue el natural. El ambiente estuvo relativamente controlado: la temperatura se mantuvo dentro del intervalo entre 18 y 30°C. Dos extractores de aire, que funcionaban continuamente con un movimiento mínimo, aumentaban su potencia de giro cuando una sonda de temperatura ambiental informaba del incremento de temperatura. En invierno, se colocaban estufas que se activaban cuando la temperatura descendía por debajo de los 18°C y durante los meses de julio y agosto se introducían paneles humidificadores que conseguían disminuir la temperatura en 4°C.

## 3.2. Obtención y tratamiento de la información

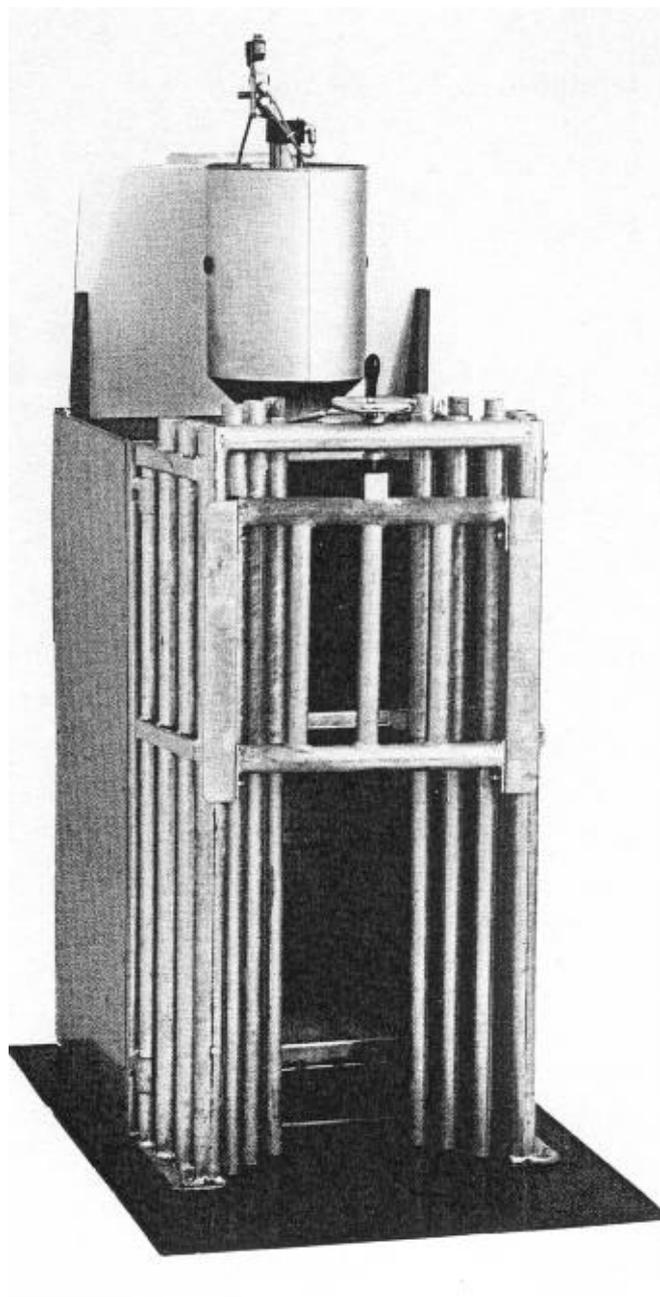
### 3.2.1. Registro de la información

El registro de la información se hizo por medio de los suministradores automáticos de consumo alimentario IVOG<sup>®</sup>-station (ver **Figura 3.1**). Estas estaciones de alimento están dotadas de un comedero que cuelga libre sobre una báscula que indica constantemente el peso del contenido. El comedero tiene una reserva máxima de 30 Kg de pienso y posee una antena que lee los códigos de identificación que llevan los cerdos en una de sus orejas.

Cada corral disponía de un único suministrador, cuyo diseño permitía que los cerdos fueran desplazados con facilidad por otros cerdos, en el momento de su visita al comedero. Este aspecto distinguió las estaciones utilizadas en este estudio de otras dotadas de mayor protección frente la competencia; por ejemplo, las empleadas por Labroue *et al.* (1994), Nielsen *et al.* (1995a y b) y Hyun *et al.* (1997). Para evitar que dos animales entraran en la estación al mismo tiempo, la entrada de la estación podía ser ajustada entre 20 y 35 cm, en función del tamaño de los cerdos.

Las estaciones IVOG<sup>®</sup> fueron calibradas por medio de la comparación de los registros de peso de 640 muestras de pienso –de un peso medio de 200 g–, obtenidos a partir del suministrador automático, con los obtenidos con una balanza de laboratorio. La desviación típica de las diferencias entre los dos sistemas no superó los 10 g en ninguna de las estaciones y el error medio fue de 0,5 g. Dicha precisión es similar a la obtenida en otros estudios (ITP, 1989).

Al final de cada visita, la estación registraba en el ordenador los siguientes datos: el número del corral, las horas de entrada y de salida, el peso inicial y el final de la tolva, el número de identificación del animal y la fecha de la visita.



**Figura 3.1.** Suministrador Automático de Consumo Alimentario IVOG®-station.

### 3.2.2. Depuración de datos

Junto con la información útil, el suministrador automático también generó una serie de registros erróneos que debían ser correctamente interpretados y depurados. En el lote 2 se estudió la incidencia de cada tipo de error. La información obtenida del SACA fue depurada y reestructurada con la ayuda del programa Excel 6.0 (Microsoft Corporation). Los tipos de errores detectados y analizados fueron:

a) Visitas fantasma: este nombre era aplicado a aquellos registros en los que la máquina apreciaba variación en el peso del pienso pero no detectaba ningún identificador electrónico. Podían ser originadas por:

- ratones: se introducían en el pienso y provocaban la oscilación de la báscula.
- pérdidas momentáneas de señal provocadas por movimientos bruscos de cabeza o por fallos de identificación: baja emisión del identificador o pérdida de sensibilidad en el receptor del SACA.
- identificador estropeado o perdido: hasta que no se detectaba el problema todas las visitas que efectuaba ese animal eran registradas como visitas fantasmas. Un total de 16 cerdos tuvieron problemas con el identificador. Interesaba recuperar toda esta información perdida pero presentaba el inconveniente de que las visitas fantasma eran difíciles de asignar a un animal en concreto. Se podían recuperar de dos maneras: 1) averiguando el momento exacto en el que el animal presentaba el problema y asignándole el consumo, el tiempo y el número de visitas correspondiente a las visitas fantasma de ese día; 2) interpolando el consumo, el tiempo y la frecuencia de visitas a partir de la información obtenida en el día anterior y posterior. Esta segunda manera –que era más práctica y requería menos tiempo– fue la que se empleó.

b) Registros de llenado: cada vez que se reponía el contenido de la tolva la máquina registraba este cambio de peso con el nombre de “llenado”. Eran anotados

como registros negativos de entre  $-0,3$  y  $-0,5$  Kg. El peso mínimo de la tolva en el que se producía el llenado era de 10 Kg. Todos estos registros –que no son propiamente errores– debían ser eliminados.

c) Consumos y tiempos exagerados (consumos  $> 1,5$  Kg ó  $< -0,03$ , y tiempos  $> 35$  min): estos consumos elevados podían ser tanto positivos como negativos (por ejemplo, 9 Kg;  $-7,5$  Kg). Se producían cuando un animal apoyaba la pata en la báscula y hacía subir artificialmente el peso del pienso. Ocurrió con más frecuencia en los primeros días, cuando los animales todavía eran muy pequeños y podían introducir sus patas en el comedero. Si el apoyo se producía al entrar, el registro de consumo era muy alto; si se producía al final, aparecía un consumo negativo elevado.

Fueron observados visualmente, uno a uno, todos los registros con consumo mayor de 1,5 Kg o con tiempos superiores a los 35 min para verificar que fueran correctos. Por ejemplo, si era detectado un consumo de 1,7 Kg realizado en menos de un minuto se descartaba por imposible. Los consumos menores a  $-0,03$  Kg se eliminaron sin observación previa.

d) Consumos nulos: estas visitas de consumo igual a cero podían ser provocadas por varias causas, como ya se dijo en la Introducción (pág. 27). Debido a su alta frecuencia de aparición (13 %) y al desconocimiento de la causa que los originaba, convenía estudiarlos aparte.

Con el fin de averiguar si la inclusión de los registros de consumo nulo hacían variar los parámetros se realizó (en el lote 1) un estudio preliminar en el que se calcularon los mismos parámetros dos veces: sin eliminar los consumos nulos y eliminándolos. Los ficheros resultantes se compararon por medio de la prueba *Test-t* para datos apareados (SPSS, vs 7.5.2S).

e) Consumos negativos pequeños ( $-0,04 < \text{consumo} < 0,00$  Kg): se producían cuando un animal entraba en el comedero y no ingería alimento. Como la báscula tenía un error de  $\pm 10$  g, sucedía en ocasiones que las visitas se contabilizaban como registros negativos. Debían desecharse de la construcción de los parámetros de comportamiento alimentario puesto que no suponían visitas tróficas.

f) Tiempos nulos: no se sabe la causa que originó estos registros de tiempo cero. Se observó que solían coincidir con registros de consumo nulo o de 10 g. Es de suponer que fueron ocasionados por errores de la máquina.

Según lo descrito arriba, se establecieron los siguientes criterios:

- Visitas fantasma: eliminadas. Los registros de los animales con averías en sus identificadores electrónicos fueron corregidos manualmente por interpolación.
- Registros de llenado: eliminados.
- Consumos y tiempos exagerados: eliminados (observación visual previa).
- Consumos nulos: analizados aparte.
- Consumos negativos: eliminados.
- Tiempos nulos: eliminados.

### 3.2.3. El criterio de comida

#### 3.2.3.1. Técnica utilizada

Para determinar el criterio de comida de cada animal se utilizó la técnica de la función logarítmica de supervivencia<sup>7</sup>. La frecuencia acumulada de los intervalos entre visitas se representó tomando intervalos de 5s. Se ajustó la función, parte a una cóncava (polinomio de orden 2) y parte a una recta.

El cálculo de intervalos entre visitas se realizó teniendo en cuenta todas las visitas del animal al comedero, fueran o no seguidas del mismo animal (correlativas). Este cálculo se hizo sobre ficheros todavía no depurados para evitar perder una información útil: hubo visitas que no fueron tróficas (consumos nulos, consumos menores de cero, etc.) pero que sí que resultaban necesarias para determinar correctamente el cálculo del criterio de comida.

El ajuste matemático se hizo con el programa Excel 6.0 (Microsoft Corporation). Con la función de supervivencia de cada animal se empleó el siguiente procedimiento (ver **Figura 3.2**):

1º) Se fueron seleccionando los puntos que trazaban la parte cóncava de la función de supervivencia hasta conseguir que el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de la función polinómica de ajuste fuera máximo (ver paso 1 de la **Figura 3.2**).

2º) Tomando como punto inicial el último de la función polinómica, se ajustaba la parte recta de la curva de supervivencia a una función lineal.

3º) Con la función polinómica y la función lineal se formaba un sistema de ecuaciones compatible de segundo grado<sup>8</sup>, que se resolvía para hallar los dos puntos de corte (se escogía sólo uno de ellos). Si el sistema de ecuaciones no salía compatible (con solución) en el primer intento, se tomaban, iterativamente, un número mayor de

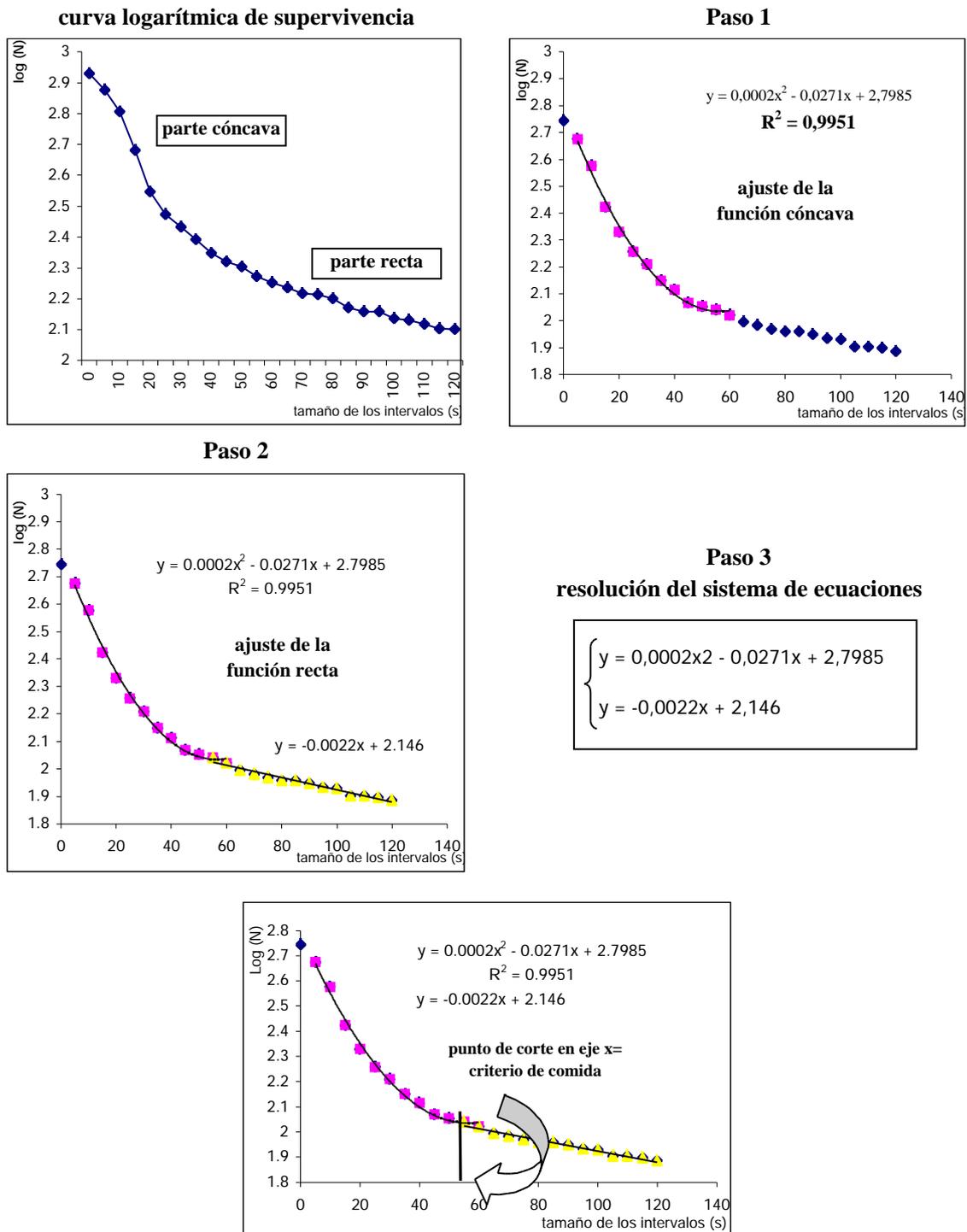
---

<sup>7</sup> La base matemática de esta metodología está descrita en la pág. 30.

<sup>8</sup> Un sistema de ecuación compatible de segundo grado es aquel que tiene dos soluciones concretas: las funciones se cortan en dos puntos, que son las dos intersecciones de la recta con la cóncava. Cuando las dos funciones no se tocan el sistema no tiene solución y se llama incompatible.

puntos para la función lineal o la cuadrática, hasta que la parábola y la recta se interseccionaban.

A cada animal se le aplicó su criterio de comida individual: cuando el intervalo entre dos visitas de un animal era menor a su criterio de comida el segundo registro se agrupaba al anterior, y así, sucesivamente. Con la utilización del criterio de comida se obtuvieron los parámetros de consumo, tiempo y frecuencia, referidos a comidas en lugar de a visitas.



**Figura 3.2.** Pasos seguidos en el ajuste matemático de la curva de supervivencia para calcular el criterio de comida.

### 3.2.3.2. Estudio comparativo de los 4 métodos de cálculo del criterio de comida

Con los animales del corral número 3 (raza Large White) del lote de otoño se realizó un estudio comparativo de las diferentes técnicas para el cálculo del criterio de comida descritas en la introducción: 1) histograma, 2) curva de supervivencia con observación visual, 3) curva de supervivencia con ajuste a dos rectas, y 4) curva de supervivencia con ajuste a una cóncava y a una recta. Los diferentes criterios de comida obtenidos fueron comparados con la prueba *Test-t* para datos apareados (SPSS, vs 7.5.2S).

### 3.2.3.3. Estudio comparativo de la aplicación de un criterio de comida global respecto a uno individual

En los corrales 1 (raza Landrace), 3 (raza Large White), 5 (raza Piétrain) y 8 (raza Duroc) del lote de otoño, se calcularon los parámetros de consumo, tiempo y frecuencia de dos maneras distintas: utilizando un criterio de comida global (promedio) para todos los animales y aplicando a cada individuo su propio criterio de comida. Posteriormente, por medio de la prueba *Test-t* para datos apareados (SPSS, vs 7.5.2S), se estudió la diferencia estadística entre los dos procedimientos.

### 3.3. Obtención de parámetros

#### 3.3.1. Parámetros construidos a partir de la información del SACA

##### 3.3.1.1. Parámetros alimentarios

La **Tabla 3.2** muestra todos los parámetros alimentarios. De forma directa se obtuvieron: el **TID** = tiempo medio de ingestión diario (min/día); el **TIV** = tiempo medio de ingestión por visita (min); el **NVD** = número medio de visitas diarias (nº/día); el **CAD** = consumo medio de alimento diario (g/día); el **CAV**= consumo medio de alimento por visita (g) y el **VID** = velocidad media de ingestión diaria (g/min) ( $VID = CAD/TID$ ).

Como todos los animales estuvieron el mismo número de días (50) se pudo calcular: el **TIT** = tiempo de ingestión total en el periodo de 50 días (min); el **NVT** = número de visitas totales en el periodo de 50 días (nº) y el **CAT** = consumo de alimento total en el periodo de 50 días (g).

La aplicación del criterio de comida generó los parámetros **TIC** = promedio del tiempo de ingestión por comida (min), **CAC**= promedio del consumo de alimento por comida (g), **NCD** = promedio del número de comidas diarias y **NCT** = promedio del número de comidas totales en el periodo de 50 días (nº).

El parámetro **VIV** = promedio de la velocidad de ingestión por visita ( $VIV = CAV/TIV$ ) no pudo calcularse correctamente debido al error medio de la báscula ( $\pm 10$  g). Algunas visitas de animales se registraron con consumo de 10 gramos en tiempos inferiores 2 segundo y provocaron que la **VIV** fuera artificialmente mayor de lo esperado.

**Tabla 3.2. Relación de los parámetros alimentarios**

<b>iniciales</b>	<b>unidades</b>	<b>Parámetro</b>
CAD	g/día	Consumo de alimento diario
CAT	g	Consumo de alimento total
CAV	g	Consumo de alimento por visita
CAC	g	Consumo de alimento por comida
TID	min/día	Tiempo de ingestión diario
TIV	min	Tiempo de ingestión por visita
TIC	min	Tiempo de ingestión por comida
TIT	min	Tiempo de ingestión total
NVD	n°	Número de visitas diarias
NVT	n°	Número de visitas totales
NCD	n°	Número de comidas diarias
NCT	n°	Número de comidas totales
VID	g/min	Velocidad de ingestión diaria

### 3.3.1.2. Parámetros de consumo nulo

En el segundo lote, la extracción y el posterior análisis del 13 % de registros de consumo cero proporcionaron los siguientes parámetros de consumo nulo (ver la **Tabla 3.3**): **TDVN** = tiempo medio diario obtenido a partir de visitas de consumo nulo (min/día); **TVN** = tiempo medio por visita de consumo nulo (min); **TTVN** = tiempo total en visitas de consumo nulo y para el periodo de 50 días (min); **NVND** = número medio de visitas de consumo nulo diarias (nº/día) y **NVNT** = número de visitas de consumo nulo totales en el periodo de 50 días (nº); **NDN** = número de días en los que un animal generaba consumos nulos (por ejemplo, NDN = 45 significaba que un cerdo producía consumos nulos en 45 de los 50 días que duraba el periodo analizado).

**Tabla 3.3. Relación de los parámetros de consumo nulo**

<b>Iniciales</b>	<b>unidades</b>	<b>Parámetro</b>
TDVN	min/día	Tiempo diario en visitas de consumo nulo
TVN	min	Tiempo por visita de consumo nulo
TTVN	min	Tiempo total en visitas de consumo nulo
NVND	nº/día	Número de visitas de consumo nulo diarias
NVNT	nº	Número de visitas de consumo nulo totales
NDN	nº	Número de días en los que se producen visitas de consumo nulo

### 3.3.2. Parámetros productivos

La **Tabla 3.4** muestra los parámetros productivos<sup>9</sup>. Todos los animales fueron pesados cada diez días. A partir del incremento de peso observado y del consumo acumulado (registrado por el SACA) se calcularon, para el periodo de 50 días, los parámetros **IC** = índice de conversión (incremento en consumo de alimento / incremento en peso vivo) y **GMPD** = ganancia media de peso diaria (g). El peso al inicio del periodo analizado (**PI**) también se consideró un parámetro importante desde el punto de vista de la productividad y de la conformación.

Cuando un animal alcanzaba los 80 Kg de peso vivo se le empezaban a valorar, por medio de ultrasonidos (método Renco Lean Meter), los parámetros **GD** = espesor de la grasa dorsal (mm) y **GR** = espesor de la grasa renal (mm). La GD se midió a nivel de la última costilla, a 4 cm de cada lado de la línea dorsal media. El valor obtenido en cada medición fue el promedio de estos dos puntos. Con la GR se hizo de igual manera pero a nivel de la última vértebra lumbar. El valor final de estos dos parámetros se interpoló, en cada animal, a 100 Kg a partir del dato anterior y del posterior a este peso.

**Tabla 3.4. Relación de los parámetros productivos**

iniciales	Unidades	Parámetro
GMPD	g/día	Ganancia media de peso diaria
IC	---	Índice de conversión
GD	mm	Espesor de la grasa dorsal
GR	mm	Espesor de la grasa renal
PI	Kg	Peso inicial

<sup>9</sup> Con el nombre de parámetros productivos se incluyen también los parámetros de conformación: grasa dorsal y grasa renal.

### **3.3.3. Parámetro de comportamiento social**

Interesaba conocer el lugar que ocupaba cada animal dentro de la estructura social de su grupo (corral) con el fin de poder estudiar, posteriormente, la relación entre el rango social y el comportamiento alimentario y la productividad.

#### **3.3.3.1. Animales**

Para este experimento se utilizaron los 38 cerdos de la raza Large White del lote de primavera, separados en tres corrales: el corral 1 y el 10 con 12 animales, y el corral 3 con 14 animales (ver **Tabla 3.1**). Como durante el periodo se produjeron tres bajas de animales de raza Large White, sólo se tuvieron en cuenta los datos de 35 restantes: 12 cerdos en los corrales 1 y 3, y 11 cerdos en el corral 10.

Los animales fueron marcados para su identificación individual. A cada animal se le asignó un número o una letra, que se mantuvo durante todo el periodo.

#### **3.3.3.2. Observación de los animales**

El estudio del comportamiento social se hizo a partir de la filmación de los corrales con videocámaras, en donde el comedero se situaba en primer plano. Las grabaciones se realizaron durante tres periodos de la estadía de los animales en la granja de control. En el primer periodo se empezó a filmar el día que los animales entraron en la sala, y duró 4 días (del 12 al 15 de marzo). El segundo periodo, tuvo lugar aproximadamente en la mitad de su estadía y durante 2 días (23 y 24 de abril); y el tercer periodo, durante los dos días previos a la salida de la sala (8 y 9 de mayo).

Durante estos días se filmó de forma continuada desde las 08:00h hasta las 18:00h, en cintas de 90 minutos. El primer día de cada periodo se grabó sólo por la tarde. Se filmaron un total de 41 cintas de 90 minutos y 38 de ellas fueron analizadas (57 horas). De estas cintas, 17 pertenecían al primer corral, 11 al segundo y 10 al tercero.

### 3.3.3.3. Información obtenida

A partir de la filmación se observaron las relaciones antagonistas entre pares de animales (dos a dos) y éstas se agruparon en dos bloques de datos llamados *datos del comedero* y *datos del corral*. En el comedero se registró el animal que entraba a comer, la duración de dicha actividad, las características del abandono del comedero (voluntario o debido a la interacción con otro animal) y el tipo de interacción (empujones, mordiscos, monta, etc.). Los datos del corral contenían la descripción de las interacciones fuera del comedero: la posición de los animales (de pie, tumbado o sentado), el tipo de interacción (empujar con el morro, morder, monta, etc.), y el desenlace final (huida o enfrentamiento victorioso).

### 3.3.3.4. Parámetro escogido

Varias de las relaciones antagónicas entre los pares de animales resultaron ser ambiguas, es decir, unas veces ganaba el animal A sobre el B y otras veces ocurría lo contrario. Además, las tríadas de las relaciones de dominancia no siempre fueron transitivas. Por estos motivos se presumió la no-linealidad de la jerarquía y se utilizó un rango cardinal de dominancia, concretamente el *índice de rango social (IRS)* descrito por Lee *et al.* (1982) y Nielsen *et al.* (1995b), que tiene en cuenta las agresiones bidireccionales.

### 3.3.3.5. Análisis de los datos

El análisis de los datos del corral se realizó mediante una matriz de incidencias: parrilla de dos entradas que comparaba el resultado numérico de las interacciones vencidas y perdidas entre todos los pares de animales. En las comparaciones dos a dos el animal que venció más veces fue el considerado dominante. Si fueron las mismas las veces vencidas que las perdidas, o bien no hubo ninguna interacción entre los dos animales, no se tuvo en cuenta la relación.

A partir de la matriz o tabla de incidencias se pudo extraer, para cada individuo, el número de animales que dominaba y el número a los cuales estaba sometido. Posteriormente, con el índice de rango social se estableció la estructura social de cada corral:

$$IRS_A = \frac{D-S+N+1}{N}$$

donde  $IRS_A$  = índice de rango social del animal A;  $D$  = número de animales dominados por el animal A;  $S$  = número de animales que dominan al animal A;  $N$  = tamaño de grupo.

### 3.3.3.6. Estudio de la importancia de considerar la monta

Como la monta no siempre manifiesta una actitud de agresividad, en cada corral se duplicó la matriz de incidencias: una con montas y otra sin ellas. Posteriormente, se comparó el *orden jerárquico* obtenido a partir de un  $IRS_A$  que consideraba las montas (IRSM) con el obtenido de un  $IRS_A$  sin montas (IRS). La prueba de comparación fue realizada por medio del coeficiente de correlación ordinal de Spearman (SPSS vs 7.5.2 S).

### 3.3.4. Identificación del gen halotano

Se realizó por medio del *test del DNA*, a partir de las muestras de sangre de cada animal. La metodología de este test bioquímico consta de 4 pasos: 1) provocar la lisis de las membranas citoplasmática y nuclear de los glóbulos blancos con el fin de liberar el DNA. 2) por medio de la PCR multiplicar el gen “ryanodine”, cuya mutación es la causa del síndrome del estrés porcino. 3) efectuar la digestión del DNA por medio de un enzima de restricción selectivo de la mutación del gen ryanodine. 4) correr en gel de agarosa los fragmentos derivados de la digestión. Si sólo aparece una banda será genotipo  $Hal^N/Hal^N$ ; si aparecen dos será  $Hal^N/Hal^n$  y si aparecen tres será heterocigótico  $Hal^N/Hal^n$ .

### **3.4. Evolución de los parámetros alimentarios**

Sólo estudió la tendencia general que describían los parámetros a lo largo del periodo de 50 días: tendencia ascendente, descendente o constante. No fue objetivo de este trabajo pretender ajustar las evoluciones de los parámetros a curvas determinadas. El estudio de la tendencia se realizó de 4 maneras distintas: tendencia en el tiempo, tendencia con la edad, tendencia con el peso vivo (método 1) y tendencia con el peso vivo (método 2).

#### ***3.4.1. Evolución en el tiempo***

Se describió la evolución en el tiempo –durante los 50 días del periodo analizado– de los parámetros alimentarios (CAD, CAV, TIV, TID, NVD, VID, CAC, TIC, NCD) y de los parámetros de consumo nulo (TDVN, NVND, TVN). Para cada día y dentro de cada raza, se calculó el promedio de cada parámetro. Cada lote se estudió de forma independiente. Se trabajó sobre ficheros depurados.

#### ***3.4.2. Evolución con la edad***

El periodo analizado de 50 días fue idéntico para todos los animales, pero no todos entraron en los lotes con la misma edad. En el lote de primavera se analizó la evolución de los parámetros alimentarios (CAD, TID, NVD, VID, CAV y TIV) en función de la edad de los animales. Se calculó el promedio de cada parámetro –dentro de cada raza– desde la edad de 84 días hasta la de 133 días (en total 50 días). Se trabajó con ficheros depurados.

#### ***3.4.3. Evolución con el peso vivo***

La influencia que provoca el peso vivo sobre los parámetros es más importante que la influencia de la edad. En el lote 2, se estudió –para cada raza– la evolución de los parámetros TID, NVD, VID, CAV, TIV y CAD en función del peso vivo del animal. Se utilizaron ficheros depurados. La relación entre el peso vivo y los parámetros alimentarios no era tan directa como con la edad. Presentaba la dificultad de que no se

pesaba a los animales cada día, sino cada diez, y que cada animal obtuvo un peso distinto para el mismo día de pesada. Se emplearon dos métodos matemáticos que permitieron relacionar el peso vivo con los parámetros alimentarios.

a) Método 1: El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

1º) Los animales fueron pesados cada diez días. Para cada raza, se calculó la recta de regresión que relacionaba el día en el que se pesaba con el peso vivo de los animales.

2º) A partir de la ecuación de la recta de regresión  $P = a + bx$  (donde  $P$  = peso vivo teórico de la raza;  $a$  = punto de corte con el eje de ordenadas;  $b$  = pendiente de la recta;  $x$  = día en el que se pesaba) se obtuvo, en cada raza, un único peso vivo teórico para cada día en el que se pesó a los animales. Dicho de otro modo, se conseguía identificar cada día de pesada con un peso vivo teórico para cada raza.

3º) Para cada peso vivo teórico (que correspondía a un día concreto) se calculó el promedio de cada parámetro alimentario. De esta manera se pudo describir la evolución de los parámetros en función del peso vivo de cada raza.

b) Método 2: En cada pesada se relacionó el peso obtenido por cada animal con el parámetro alimentario conseguido en ese día. De esta manera, se obtuvo una nube de puntos (uno para cada animal: peso-parámetro) que daba idea de la tendencia general de los parámetros alimentarios con el incremento del peso vivo de los animales. Al igual que el método 1, se analizó cada raza por separado y a partir de ficheros depurados.

#### **3.4.4. Evolución circadiana**

En cada lote y dentro de cada raza, se estudió la evolución circadiana de todos los parámetros: consumo, tiempo, número de visitas, consumo por visita, tiempo por visita, velocidad de ingestión, consumo por comida, tiempo por comida y número de comidas. Se consideró que el corral –y no cada animal individual– era la unidad de observación. Es decir, se estudió el promedio (en los 50 días del periodo analizado) de la evolución del consumo, del tiempo, de la frecuencia y de la velocidad, dentro de cada intervalo de una hora (de las 00:00h a las 24:00h) y con la suma de todos los animales del corral. Se trabajó con ficheros depurados.

### **3.5. Consistencia de los parámetros alimentarios**

En el segundo lote se estudió la consistencia en el tiempo de los parámetros alimentarios CAD, TID, VID, NVD, CAV y TIV. Para ello, se dividió el periodo de 50 días en 5 subperiodos de 10 días. Dentro de cada uno de los seis periodos (el total de 50 días y los 5 subperiodos de 10 días) se calcularon los 6 parámetros dichos. Posteriormente, se sustituyeron los parámetros por otras variables constituidas por el número de orden que ocupaba cada animal en esos parámetros (variable rango). Finalmente, para cada parámetro, se realizó una tabla de los coeficientes de correlación de Spearman (SPSS, vs 7.5.2S) entre la variable rango del periodo completo y las diferentes variables rango de cada subperiodo. El grado de consistencia vino dado por el valor y la significación de los coeficientes de Spearman.

### **3.6. Ocupación del comedero**

Para averiguar si existía en algún momento del día saturación del comedero y para conocer las franjas horarias de mayor competencia en la alimentación, se estudió la evolución circadiana del tiempo de ocupación de cada comedero. La información fue procesada de forma muy parecida a lo indicado en el apartado 3.4.4, pero aquí se trabajó sobre ficheros no depurados pues toda visita al comedero, fuese o no trófica, significaba tiempo de ocupación del mismo. Fueron analizados todos los corrales de los dos lotes de manera independiente y también se calculó, dentro de cada lote, la ocupación promedio de todos los corrales. El tiempo se expresó en porcentaje sobre 60 minutos (60 min = 100 % de ocupación; 0 min = 0 % de ocupación).

### **3.7. Correlaciones prandiales**

En el segundo lote se estudiaron las correlaciones prandiales, tanto las pre-prandiales como las post-prandiales. Se trabajó con ficheros depurados y con los registros agrupados en comidas. Se distinguió el día (de las 07:00h a las 19:00h) de la noche (de las 00:00h a las 07:00h, y de las 19:00h hasta las 24:00h).

El procedimiento seguido consistió en:

1. Agrupar todas las visitas dentro de comidas siguiendo el criterio de comida de cada animal.
2. Calcular el intervalo de tiempo entre las comidas de cada individuo (tiempo transcurrido desde que un animal acaba una comida hasta que inicia la siguiente).
3. Dividir los ficheros distinguiendo el día de la noche.
4. Calcular, dentro del día y de la noche, y para cada animal, las correlaciones prandiales (pre- y post-prandiales) por medio del coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) (SPSS vs 7.5.2S).

### **3.8. Estudio de las condiciones paramétricas**

Muchas de las pruebas estadísticas empleadas en este trabajo (correlación de Pearson, Análisis de la varianza, prueba Test-t) son de tipo paramétrico, es decir, requieren cumplir dos condiciones a priori para ser utilizadas correctamente: a) distribución Normal de los parámetros y b) igualdad de las varianzas de los parámetros.

#### ***3.8.1. Estudio de la Normalidad***

Con la prueba de Kolmogorov-Smirnov (SPSS, vs 7.5.2S) se analizó la condición de Normalidad de los parámetros. Este estudio se realizó dentro de cada uno de los factores que incluían los diferentes modelos (por ejemplo, raza, lote y corral).

Sólo los parámetros “criterio de comida” y grasa renal (GR) no fueron Normales en alguno de los factores. El histograma que presentaban estos dos parámetros estaba desplazado un poco hacia la izquierda respecto a la distribución Normal; por este motivo y para poder trabajar con ellos, fueron convertidos en distribuciones Normales por medio de la transformación logarítmica.

#### ***3.8.2. Estudio de la igualdad de las varianzas***

La igualdad de las varianzas también se estudió dentro de cada factor y se hizo por medio del contraste de Levene (SPSS, vs 7.5.2S). Las conclusiones de esta prueba se tuvieron en cuenta en la interpretación de los resultados.

### 3.9. Estudio de los efectos raza, estación, halotano y jerarquía

El estudio de los efectos se llevó a cabo con el análisis de la varianza multifactorial (SPSS, vs 7.5.2S). Los efectos que interesaba estudiar fueron la raza (Duroc, Landrace, Large White, Piétrain), la estación climatológica (lote 1: otoño; lote 2: primavera), el genotipo halotano ( $Hal^N/Hal^N$ ,  $Hal^N/Hal^n$ ,  $Hal^n/Hal^n$ ) y la jerarquía o rango social (dominante, sumiso). El efecto del corral (1...10) y del peso al inicio del periodo (covariable) sólo interesaba tenerlos en cuenta para ganar en precisión estadística. Las comparaciones dos a dos se realizaron con la prueba de *Scheffé*.

En el estudio de cada grupo de parámetros se eliminaron del modelo los factores que no fueron significativos. Las interacciones se consideraban significativas si presentaban un p-valor menor de 0,05; se dejaban en el modelo si el p-valor no superaba el 0,15; y se eliminaban cuando el p-valor era mayor de 0,15.

#### 3.9.1. Efecto raza y estación

El efecto raza y el efecto estación –o lote– se estudió sobre el criterio de comida y sobre los parámetros alimentarios y los productivos. Se empleó el **Modelo 1**.

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + L_j + R_i * L_j + C_k(R_i * L_j) + bP_{ijkl} + e_{ijkl} \quad (\text{Modelo 1})$$

donde:

$Y_{ijkl}$  = Promedio de los parámetros alimentarios, parámetros productivos o criterio de comida;  $R_i$  = (fijo) efecto raza ( $i = 1, 2, 3, 4$ );  $L_j$  = (fijo) efecto lote ( $j = 1, 2$ );  $R_i * L_j$  = interacción entre la raza y el lote;  $C_k(R_i * L_j)$  = (fijo) efecto corral anidado en la interacción raza\*lote ( $k = 1, 2, 3$ );  $b$  = coeficiente de regresión para el peso inicial;  $P_{ijkl}$  = peso inicial (covariable); y  $e_{ijkl}$  = error.

Para los parámetros de consumo nulo se utilizó el **Modelo 1** sin el efecto lote, sin la interacción de la raza con el lote y con el efecto corral anidado en la raza, debido a que estos parámetros sólo fueron analizados en el segundo lote.

### 3.9.2. Efecto halotano

El efecto halotano se valoró en los parámetros alimentarios y productivos con el **Modelo 2**<sup>10</sup>.

$$Y_{ijklm} = \mu + H_i + R_j + L_k + H_i * R_j + H_i * L_k + R_j * L_k + H_i * R_j * L_k + C_l(R_j * L_k) + bP_{ijklm} + e_{ijklm}$$

(Modelo 2)

donde:

$Y_{ijklm}$  = Promedio de los parámetros alimentarios y productivos;  $H_i$  = (fijo) efecto del gen halotano ( $i = 1, 2, 3$ );  $R_j$  = (fijo) efecto raza ( $j = 1, 2, 3, 4$ );  $L_k$  = (fijo) efecto lote ( $k = 1, 2$ );  $H_i * R_j$  = interacción entre el gen halotano y la raza;  $H_i * L_k$  = interacción entre gen halotano y el lote;  $R_j * L_k$  = interacción entre la raza y el lote;  $H_i * R_j * L_k$  = interacción triple entre el gen halotano, la raza y el lote;  $C_l(R_j * L_k)$  = (fijo) efecto corral anidado en la interacción raza\*lote ( $l = 1, 2, 3$ );  $b$  = coeficiente de regresión para el peso inicial;  $P_{ijklm}$  = peso inicial (covariable); y  $e_{ijklm}$  = error.

### 3.9.3. Efecto jerarquía

Los animales a los que se les valoró la jerarquía social eran todos de la raza Large White y del lote 2, por tanto, el modelo estadístico que se utilizó para estudiar el efecto jerarquía quedó reducido al **Modelo 3**. Se aplicó sobre los parámetros alimentarios, productivos y de consumo nulo.

$$Y_{ijk} = \mu + RS_i + C_j + RS_i * C_j + bP_{ijk} + e_{ijk}$$

(Modelo 3)

<sup>10</sup> La influencia del gen halotano sobre los parámetros nulos no se estudió debido a que estos parámetros únicamente fueron valorados en el lote de primavera, el cual contenía sólo 7 animales de la raza Pietrain y todos ellos resultaron ser sensibles al estrés (Hal<sup>n</sup>/Hal<sup>n</sup>).

donde:

$Y_{ijk}$  = Promedio de los parámetros alimentarios, productivos y de consumo nulo;  $RS_i$  = (fijo) efecto rango social ( $i = 1, 2$ );  $C_j$  = (fijo) efecto corral ( $j = 1, 2, 3$ );  $RS_i * C_j$  = interacción entre el rango y el corral;  $b$  = coeficiente de regresión para el peso inicial;  $P_{ijk}$  = peso inicial (covariable); y  $e_{ijk}$  = error.

El peso, además de actuar como covariable, también se consideró parámetro productivo con el fin de poder estudiar la relación entre el peso y la dominancia. El **Modelo 3** fue utilizado por duplicado: con el factor  $RS$  que incluía las montas y el  $RS$  que no las incluía<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> En el apartado 3.3.3.6 se explicó la diferencia entre el rango social, con y sin monta.

### **3.10. Estudio de las correlaciones entre parámetros**

En un estudio preliminar se comprobó que el efecto raza era significativo sobre todos los parámetros y, por este motivo, se decidió estudiar las relaciones entre los parámetros alimentarios, los de consumo nulo y los productivos dentro de cada raza; aunque esto suponía multiplicar los cálculos estadísticos.

Se trabajó con correlaciones residuales de los parámetros, obtenidas del análisis de la varianza multifactorial (SPSS, vs 7.5.2S). El modelo estadístico de partida fue como el **Modelo 1** descrito en el apartado anterior pero sin el efecto raza, sin la interacción raza\*lote y con el efecto corral anidado dentro de lote. El efecto lote se suprimió del modelo en el análisis de los parámetros de consumo nulo, pues como ya se dijo, únicamente fueron medidos en el segundo lote. En cada estudio de correlaciones, fueron eliminados del modelo los efectos que no eran significativos en la mayoría de los parámetros.

Las correlaciones entre parámetros (corregidas para los efectos lote, corral y peso inicial) fueron clasificadas en seis grupos:

1. Dentro de los parámetros de consumo nulo: el efecto raza sobre los parámetros de consumo nulo distinguió la raza Piétrain de las otras tres; por este motivo, se consideraron las razas Duroc, Landrace y Large White como un único grupo.
2. Dentro de los parámetros alimentarios.
3. Dentro de los parámetros productivos.
4. Entre los parámetros alimentarios y los de consumo nulo.
5. Entre los parámetros alimentarios y los productivos.
6. Entre los parámetros productivos y los de consumo nulo.

### **3.11. El comportamiento social y la ocupación del comedero**

Se quiso saber si el rango social de los animales afectaba a la curva circadiana de ocupación del comedero. En otras palabras, se trató de averiguar si los cerdos sumisos desplazaban su perfil circadiano hacia horas del día con menor competencia. Para esto, el número de animales fue dividido por la mitad en cada corral, de tal manera que los de rango superior fueron clasificados como animales dominantes y los de rango inferior como sumisos.

Dentro de cada uno de los 3 corrales de la raza Large White del lote de primavera<sup>12</sup> se comparó la curva circadiana del tiempo de ingestión de los animales dominantes con la de los animales sumisos. Esta comparación también se efectuó con todos los animales de los tres corrales a la vez.

---

<sup>12</sup> Como se recordará, sólo se estudió el rango social en los tres corrales de la raza Large White del lote 2.