

# COMPARACIÓN DE MODELOS NO LINEALES PARA DESCRIBIR EL CRECIMIENTO HASTA LOS 11 MESES EN ANIMALES DE LA RAZA PORCINA CELTA ALIMENTADOS CON RACIONES DE CEREALES CON INCLUSIÓN DE MAÍZ “ALTO OLEICO”

Submitted: 28/09/2022

Accepted: 01/05/2023

Published: 20/06/2023

(COMPARISON OF NON-LINEAR MODELS TO DESCRIBE GROWTH CURVES IN ANIMALS OF THE CELTIC PIG BREED FED WITH CEREAL RATIONS INCLUDING "HIGH OLEIC" CORN)

Rodríguez I.<sup>1</sup>, Castro M.C.<sup>1</sup>, Díaz C.<sup>1</sup>, Iglesias A.<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Asociación de Criadores de la Porcina Celta (ASOPORCEL). Recinto Ferial El Palomar s/n.27004. Lugo. <sup>2</sup>Instituto de Biodiversidad Agraria y Desarrollo Rural (IBADER). Campus Terra. Universidad de Santiago de Compostela. 27002. Lugo.

\*[antonio.iglesias@usc.es](mailto:antonio.iglesias@usc.es)

The aim of this study was to establish the best non-linear model to fit the growth curve of Celta pigs the best model of growth curves of animals of the Celtic breed pig fed with a diet that includes “high oleic” corn in its composition. A total of 15 animals, 7 castrated males and 8 females respectively, were reared in a sex-extensive system. Each animal is weighed from birth to age 11 months of age. The models of Logistic, Gompertz, von Bertalanffy and Michaelis Menten were chosen to describe the age-weight ratio. The best fitting model was selected based on the multiple determination coefficient ( $r^2$ ), the Akaike information criterion (AIC) of the observed and predicted curves. The best models to describe the pig’s growth was Gompertz because it presents the highest  $r^2$  and lowest AIC values.

## Resumen

El presente trabajo tuvo por objetivo determinar el modelo no lineal que mejor ajuste la curva de crecimiento de animales de la raza “Porco Celta” alimentados con una ración que incluye “maíz alto oleico” en su composición. Un total de 15 de animales, 7 machos castrados y 8 hembras respectivamente, fueron criados en un sistema sexmiextensivo. Todos los animales se pesaron cada mes desde el nacimiento hasta los 11 meses de edad. Los modelos Logístico, Gompertz, von Bertalanffy y Michaelis-Menten fueron elegidos para describir la relación entre edad y el peso. El mejor modelo se seleccionó con base en el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y el criterio de información de Akaike (AIC) de las curvas observadas y predichas. El mejor modelo que describió la curva de crecimiento de los cerdos de la raza “Porco Celta” fue el de Gompertz porque presenta los valores más altos de  $r^2$  y más bajos de AIC.

## Introducción

La descripción de las curvas de crecimiento de los animales empleando ecuaciones no lineales, es habitualmente utilizada en producción animal para estudiar e interpretar procesos biológicos y también para comprender la dinámica de las poblaciones en el

contexto productivo, siendo de inestimable ayuda cuando es necesario determinar requerimientos nutricionales.

El uso de algunos modelos no lineales para describir el cambio en el peso de los animales en función del tiempo es habitual porque generan una serie de parámetros que pueden tener una interpretación biológica. Las curvas de crecimiento comienzan en un punto fijo y aumentan su tasa de crecimiento hasta un punto de inflexión, seguidamente la tasa de crecimiento disminuye asintóticamente hasta la madurez. De acuerdo a los parámetros de esos modelos de crecimiento, es posible obtener indicadores como la edad y el peso en el punto de inflexión.

Las funciones no lineales de crecimiento como la Logística, Gompertz, von Bertalanffy y Michaelis-Menten son habitualmente utilizadas en el estudio del crecimiento de los animales, incluido el ganado porcino (Archana et al., 2017). La ventaja de estos modelos frente a los lineales está en su sencillez y facilidad de interpretación, ya que sus parámetros pueden ser explicados biológicamente y además se adaptan a la forma sigmoidea del crecimiento animal. Sin embargo para que funcionen correctamente necesitan de una medición con registros de datos completos desde el nacimiento del animal hasta que éste alcanza su peso máximo a la edad adulta,

**Keywords:** Animal growth curves; Celtic pig; Ontogeny.

**Palabras clave:** Curvas de crecimiento animal; Porco Celta; Ontogenia.



Actas Iberoamericanas de Conservación Animal

ISSN: 2253-9727

<https://aicarevista.jimdo.com>

cuestión esta que no siempre es posible llevarla a cabo en muchos sistemas de producción como el que se propone en este trabajo, en que los animales no llegan al máximo peso que podrían lograr.

El objetivo de este estudio fue el de comparar distintos modelos de curvas de crecimiento de animales de la raza autóctona “Porco Celta” alimentados con raciones de cereales en las que se incluye el maíz “alto oleico”. Este maíz tiene un perfil de ácidos grasos diferente al convencional resultando más rico en ácido oleico.

### Material y métodos

En el estudio del crecimiento han sido utilizados 15 animales repartidos en 7 machos y 8 hembras castrados pertenecientes a la raza “Porco Celta”, criados durante 11 meses. El peso vivo se obtuvo mediante el pesado directo de cada uno de los animales y en cada uno de los meses que duró la experiencia, con báscula digital, obteniéndose un total de 165 datos resultantes de los sucesivos controles de pesos. Se evaluó la capacidad de ajuste de cuatro modelos de crecimiento (Logístico, Gompertz, von Bertalanffy y Michaelis-Menten), a los datos de peso. Los modelos Logístico y de Gompertz se definen matemáticamente para describir perfiles sigmoideos principalmente, mientras que von Bertalanffy es indicado para ambas tendencias; el del tipo Michaelis-Menten proporciona un modelo flexible para el crecimiento animal capaz de describir el comportamiento sigmoideo y de rendimientos decrecientes. Para ello se utilizó el procedimiento para modelizaciones no lineales del programa PAST (Hammer et al., 2010). El desarrollo teórico de los distintos modelos y parámetros estudiados se describen con detalle en el manual del programa.

El parámetro  $a$  corresponde al peso asintótico o peso adulto a la madurez. El parámetro  $c$  corresponde a la estimativa de precocidad de madurez (Nobre et al., 1987; Parés-Casanova et al., 2015); es indicativo de que cuanto mayor sea el valor de este parámetro más precoz es el animal y viceversa (Brown et al., 1976). El parámetro  $b$  es denominado parámetro de integración que no posee significado biológico.

Para distinguir la capacidad de ajuste de cada uno de los modelos en estudio fueron utilizados el coeficiente de determinación  $r^2$  y el criterio de información de Akaike (AIC), basado en un procedimiento de inferencia, que evalúa la diferencia entre los modelos sustentados en la combinación de pruebas de máxima verosimilitud, información teórica y entropía de información (Motulsky y Christopoulos, 2003). Este criterio de información combina diferentes elementos como la teoría de máxima verosimilitud, información teórica y entropía de información. Se considera como mejor aquel que tenga un menor valor AIC.

### Resultados y discusión

Con los datos de los pesos obtenidos mes a mes de todos los animales tomados durante los 11 meses que duró la experiencia se comprobó si seguían una distribución normal, mediante la prueba de

Shapiro-Wilk. Como el p-valor obtenido es mayor que 0.05 (0.862 > 0.05) aceptamos la hipótesis nula ( $H_0$ ), por lo que podemos afirmar que nuestros datos se distribuyen siguiendo una normal. Seguidamente se realizó un análisis de varianza para comprobar si existían diferencias estadísticamente significativas para los pesos entre machos y hembras castrados. El nivel de significación obtenido en nuestro caso (0,769) es mayor que 0,05, por lo tanto no hay diferencias significativas.

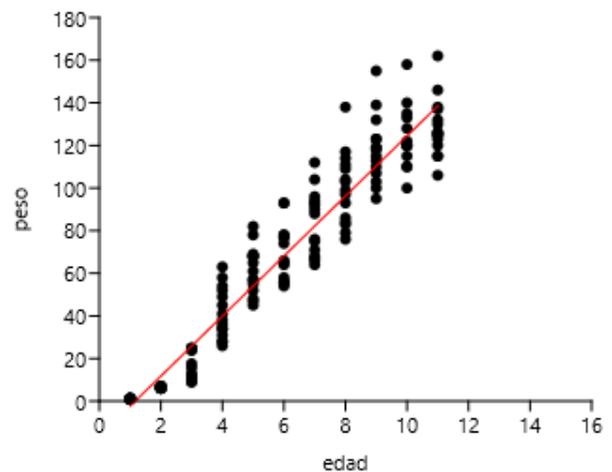
**Tabla I.** Resumen de los pesos vivos medios por edades en animales de la raza porcina celta alimentados con una dieta con inclusión de maíz “alto oleico”. (*Summary of average live weights by age in animals of the Celtic pig breed fed with a diet including "high oleic" corn.*)

Pesos (kg)	N	Media $\pm$ SD	Máx.	Mín.
Nacimiento	15	1,10 $\pm$ 0,11	1,30	1,00
90 días	15	16,15 $\pm$ 6,55	25	8,9
180 días	15	69,60 $\pm$ 13,70	83	54
270 días	15	119,46 $\pm$ 16,055	155	95
330 días	15	128,40 $\pm$ 13,66	162	106

**Tabla II.** Coeficientes de regresión del modelo  $Y = 14,05X - 16,42$ . (*Regression coefficients of the model  $Y = 14.05X - 16.42$ .*)

Parámetro	MCE	Estándar Error	Valor-P
Intercepto	14,0 8	0,32	0,000
Pendiente	-16,42	2,19	0,000

MCE: Mínimos Cuadrados Estimado



**Figura 1.** Resultados de la modelización mediante el modelo lineal generalizado, del crecimiento del cerdo celta alimentado con una dieta en la que se incluye maíz “alto oleico”. (*Results of the modeling of the growth of the Celtic pig fed with a diet that includes "high oleic" corn.*)

El peso vivo de los animales se obtuvo desde el nacimiento hasta los 11 meses, por lo tanto las curvas de peso vivo de los distintos

modelos se corresponden con el comportamiento de este indicador hasta esa edad. En la Tabla 1 se enumera un resumen de los pesos vivos medios (media ± desviación estándar, rango), estratificados por edades, de 15 animales de la raza porcina celta, que fueron utilizados en la comparación de modelos de crecimiento no lineal. La tabla II y la figura 1 muestran los resultados de ajustar el modelo lineal generalizado para describir la relación entre peso y la edad. La ecuación del modelo ajustado es  $Y = 14,085X - 16,42$ .

La gráfica 1 mostró una sobrestimación del peso al nacimiento y una subestimación de los pesos vivos iniciales, en los tres primeros meses, aspecto que debe tenerse en cuenta en la práctica. En el análisis de observa que hubo un comportamiento del PV que se estabilizó posteriormente

Los modelos de crecimiento no lineal presentaron valores diferentes en cuanto a los criterios de bondad de ajuste. En las tablas III y IV se presenta la descripción matemática de los modelos no lineales para la evaluación del crecimiento de porcinos de la raza “Porco celta”, alimentados con raciones en las que se incluye el maíz “alto oleico” y los valores de los parámetros de cada una de las ecuaciones, conjuntamente con la amplitud de la variación de los parámetros de las curvas individuales de crecimiento. Los registros de pesaje de los animales se llevaron hasta los 11 meses después del nacimiento por lo que no fue posible establecer con claridad en los modelos analizados su fase asintótica.

**Tabla III.** Descripción matemática de los modelos no lineales de crecimiento para la evaluación del crecimiento de porcinos de la raza “Porco celta” alimentados con raciones en las que se incluye el maíz “alto oleico”. (*Mathematical description for the four nonlinear growth model for the evaluation of the growth of the swine breed “Celtic pig” with diets that include “high oleic” corn*).

Modelo	Params.	Expresión matemática
Logístico	3	$y=a/(1+be^{-cx})$
Gompertz	3	$y=a*\exp(b*\exp(cx))$
von Bertalanffy	3	$y=a(1-be^{-cx})$
Michaelis-Menten	2	$y=ax/(b+x)$

Params.: Número de parámetros; y = peso del animal en el tiempo; a = estimativa del peso a la madurez; b = parámetro de integración, no posee significado biológico; c = estimativa de precocidad de madurez

Según Hilborn y Mangel (1997) los modelos con mayor cantidad de parámetros tienen mayor potencialidad de ajuste, en comparación con modelos que tienen menos. Como criterios para elegir la curva de crecimiento adecuada, consideraremos la bondad de ajuste del modelo, por diferencias cuadráticas y el criterio de información de Akaike (AIC).

El coeficiente de determinación  $r^2$  es usado habitualmente como medida relativa de la bondad de ajuste de diferentes modelos de crecimiento, en nuestro caso la función de Gompertz seguida por la

de von Bertalanffy ( $r^2= 0,97$  y  $0,93$ ) respectivamente, fueron la que permitieron describir mejor el crecimiento de los animales (Tabla V). Sin embargo para Burnham y Anderson (2002),  $r^2$  es una medida de la descripción y de la variación del ajuste del modelo a los datos, aunque no es un criterio de utilidad útil para seleccionar modelos que compiten por describir los datos observados.

**Tabla IV.** Estimativa de los parámetros de la función de crecimiento de los modelos analizados (*Estimated parameters for each growth function model*).

Modelo	Parm.	Valor	IC 95%
Logístico	a	132,61	123,3 a 140,3
	b	30,01	19,85 a 36,73
	c	0,59	0,51 a 0,66
Gompertz	a	145,99	131,3 a 156,8
	b	-5,52	-6,26 a -4,54
	c	-0,34	-0,39 a 0,29
von Bertalanffy	a	434,9	-366 a 585,7
	b	1,06	1,01 a 1,094
	c	0,04	0,01 a 0,06
Michaelis-Menten	a	-537,00	-731,6 a -46,1
	b	-53,66	-69,82 a -12,5

**Tabla V.** Valores del criterio de información de Akaike (AIC), de los distintos modelos analizados animales de la raza autóctona “Porco Celta” alimentados con raciones en las que se incluye el maíz “alto oleico” (*Values of the Akaike information criterion (AIC), of the different animal models analyzed from the native breed “Porco Celta” fed with rations that include “high oleic” corn*).

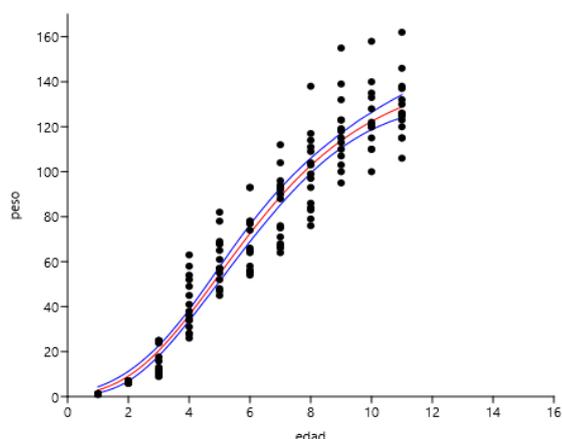
Modelo	$r^2$	AIC
Logístico	0,90	24694
Gompertz	0,97	22429
von Bertalanffy	0,93	23172
Michaelis-Menten	0,90	28870

Los menores valores de AIC se observaron para los modelos de Gompertz y von Bertalanffy respectivamente (Tabla V); no obstante las diferencias para el ajuste de los datos fue muy reducida.

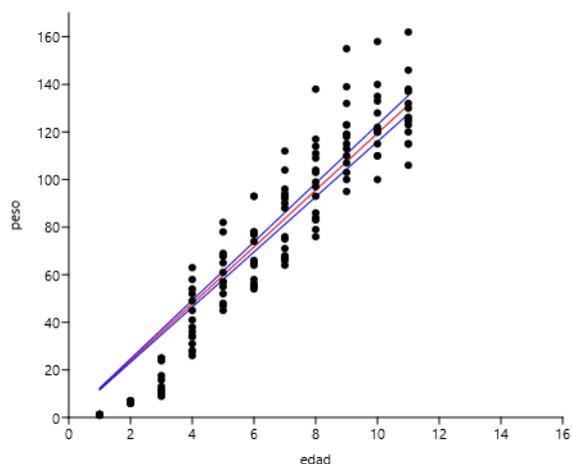
Estamos de acuerdo con Freitas y Costa (1993) y Rodrigues et al. (1992) que afirman que los modelos de Gompertz, Von Bertalanffy se ajustan adecuadamente para describir el crecimiento de los cerdos. En nuestro caso es la de Gompertz la que mejor describe el crecimiento aunque las diferencias son mínimas con respecto a Von Bertalanffy.

En las figuras 2 y 3 se muestran las curvas de crecimiento de Gompertz y Von Bertalanffy que expresan el crecimiento animales de la raza “Porco Celta”, alimentados con raciones en las que se incluye el maíz “alto oleico”, la que se ajusta con mayor precisión

de acuerdo a los  $r^2$  y al criterio de información AIC es la de Gompertz, que además adopta una forma sigmoide.



**Figura 2.** Curva de crecimiento observada y predicha para animales de la raza “Porco Celta” (modelo de Gompertz), alimentados con raciones en las que se incluye el maíz “alto oleico”. El trazo azul indica el intervalo de confianza del 95% (Observed and predicted growth curve for animals of the “Porco Celta” breed (*Gompertz model*), fed with rations that include “high oleic” corn. The blue trace indicates the 95% confidence Interval).



**Figura 3.** Curva de crecimiento observada y predicha para animales de la raza “Porco Celta” (modelo de Von Bertalanffy), alimentados con raciones en las que se incluye el maíz “alto oleico”. El trazo azul indica el intervalo de confianza del 95%. (Observed and predicted growth curve for animals of the “Porco Celta” breed (*Von Bertalanffy model*), fed with rations that include “high oleic” corn. The blue trace indicates the 95% confidence interval).

Ambas curvas subestiman el peso al nacer y hasta los 3 meses. Según Speroni et al. (2018), en un trabajo realizado con cerdos inmunocastrados y en semiextensivo, el modelo von Bertalanffy subestimó el peso al nacer y de los 110 a 174 días de edad. Freitas (2005) utilizó también este modelo para describir la curva de crecimiento para cerdos machos desde el nacimiento hasta la

madurez sexual, y encontró que von Bertalanffy subestimaba peso al nacimiento.

Dentro de las limitaciones previamente expuestas ambas ecuaciones, Gompertz y von Bertalanffy mostraron un buen ajuste a los datos de crecimiento de los cerdos.

### Conclusiones

El presente trabajo aporta información relevante para comprender el patrón de crecimiento de los animales estudiados. Los modelos de Gompertz y Von Bertalanffy son los que mejor expresaron la curva de crecimiento de animales de la raza autóctona “Porco Celta” alimentados con raciones en las que se incluye el maíz “alto oleico”. Los resultados se pueden utilizar para definir estrategias nutricionales y acompañar el desarrollo de programas productivos.

### Bibliografía

- Archana, K., Selvam, S., Serma SaravanaPandian, A., Sivakumar, T., Balasubramanyam, D., Mohamed Safiullah, A. 2017. Comparing Non-Linear Models to Describe the Growth Performance in Large White Yorkshire Pigs. *International Journal of Livestock Research* 7 (11): 43-47.
- Brown J.E., Fitzhugh H.A., Cartwright T.C. 1976. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. *Journal of Animal Science* 42:810-818.
- Burnham, K. P. & D. R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference. Springer, New York. 454 p.
- Freitas, A.R. and Costa, C.N. 1983. Ajustamento de modelos não lineares a dados de crescimento de suínos. *Pesq Agropec Bras*, 18: 1147-1154.
- Freitas, A.R.. 2005. Curvas de crescimento na produção animal. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, p.786-795, DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000300010>.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. 2001. PAST. *Palaeontol. Stat.* 4(1).
- Lawrence, T.L.J., Fowler, V.R. 1997. Growth of farm animals. CAB International. New York. 330 p.
- Hilborn, R. & M. Mangel. 1997. The ecological detective. Confronting models with data. *Monographs in population biology*. Academic Press, Princeton. 315 p.
- Motulsky H., Christopoulos A. 2003. Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression. Versión 4. San Diego CA: GraphPad PRISM ®. 2003. URL: <http://www.graphpad.com> 351 p.
- Nobre P.R.C., Rosa A., Silva L.O., Evangelista S.R. 1987. Curvas de crescimento de gado Nelore ajustadas para diferentes frequências de pesagens. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 22:1027-1037.
- Pares-Casanova, P., Miquel, Caballero, M., Perezgrovas, R. 2015. Comparación de modelos no lineales para describir curvas de crecimiento según sexo en el Borrego Chiapas. *Rev. investig. vet. Perú* [online], vol.26, n.3, pp.389-394. ISSN 1609-9117. <http://dx.doi.org/10.15381/ripep.v26i3.11170>.
- Ratkoswky, D.A. 1983. Nonlinear regression modeling. Marcel Dekker. New York. 297 p.

- Rodrigues, P.B., Muniz, J.A., Pereira, F.A. 1992. Estudo comparativo de curvas de crescimento em suínos. *Ciênc Prática*, 16: 151-157.
- Speroni, M., Oliveira, V., Oliveira, Nunes, N. A., Dias, N. C., Neutzling, B., Mendes, H., Mello, A. 2018. Nonlinear equations to determine the growth curve of immunocastrated pigs. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. v.55, e01184, 2020.