

MODELOS GAMLSS COMO ALTERNATIVA PARA MEDIR LA EFICIENCIA ORGANIZACIONAL DE LAS EMPRESAS CONSULTORAS DE INGENIERÍA *

Camila Acosta Ramírez *Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín*
Jaime Andres Molina Correa *Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín*

Resumen: En la economía global existen empresas que cumplen sus objetivos pero desperdiciando recursos en el proceso por no ser eficientes. Por lo tanto, una tarea importante es medir la eficiencia organizacional para así generar mejores resultados y utilidades. Los artículos disponibles para medir la eficiencia organizacional en las empresas consultoras de ingeniería sólo usan un modelo de regresión lineal múltiple, el cual tiene restricciones. En este artículo se usan modelos GAMLSS para estudiar el efecto del número de personal administrativo y técnico sobre las ventas promedio en empresas consultoras de ingeniería. Para este estudio, se tomaron los datos de 21 empresas españolas consultoras de ingeniería obtenidas del artículo de [Garzón and Pellicer \(2009\)](#), posteriormente los datos fueron analizados. Del análisis se encontró que la distribución que mejor se ajusta a la variable respuesta Ventas es una Inversa Gaussiana y el modelo de esta respectiva distribución usando GAMLSS fue el mejor para explicar la variable de interés. Se concluye que las empresas consultoras de ingeniería deben usar modelos alternativos como los modelos GAMLSS u otras herramientas para medir su eficiencia organizacional.

Keywords: Ventas, Modelos gamlss, superficie de respuesta, eficiencia, función de producción.

1. Introducción

La medición de la eficiencia organizacional es uno de los aspectos más importantes dentro del mundo empresarial, ya que las empresas necesitan tener una medida o modelo que les comunique la manera óptima de utilizar sus bienes y servicios, minimizando el desperdicio de recursos y aumentando las utilidades generadas. Por supuesto las empresas consultoras de ingeniería no son la excepción [Picazo and Quirós \(2001\)](#), dichas empresas son unidades económicas cuyo aporte principal es una fuerza laboral altamente calificada de profesionales y cuyos productos son servicios contratados por comisión [Maister \(1997\)](#) y [Lowendahl \(2000\)](#). En el caso específico de las empresas consultoras de ingeniería, la competencia es exigente, con bajos márgenes de ganancia que obligan a controlar estrictamente los costos [Pellicer \(2007\)](#) y [Hartley \(2000\)](#).

Este estudio busca mejorar el modelo de regresión utilizado en [Garzón and Pellicer \(2009\)](#), o a lo que llaman “función de producción”, porque se usa un modelo de regresión lineal múltiple el cual posee restricciones que no siempre se verifican, ya que se asume una varianza constante y variable respuesta con distribución normal, lo cual no se cumple en la mayoría de los casos, así que se realiza una prueba de normalidad para la variable respuesta Ventas y efectivamente se evidencia la ausencia de normalidad, por lo que se propone usar modelos GAMLSS para explicar las Ventas promedio en función de las covariables Administrativos y Técnicos, así como su varianza.

* Autor de contacto: caacostara@unal.edu.co.

Estos modelos presentan una mayor flexibilidad a la hora de ajustarse a los datos que el modelo de regresión lineal tradicional, ya que desaparecen las principales restricciones anteriormente mencionadas.

Este artículo está estructurado de la siguiente manera. En la sección 2 se realiza un análisis descriptivo de los datos de las 21 empresas consultoras de ingeniería dentro del estudio. En la sección 3 se enseñan los modelos estadísticos considerados, el criterio de selección para el mejor modelo y los resultados obtenidos. Por último, en la sección 4 se tienen las conclusiones y recomendaciones para estudios futuros relacionados a este tema.

2. Análisis descriptivo

En este artículo se re-analizan los datos presentados por [Garzón and Pellicer \(2009\)](#) para estudiar el efecto de las variables número de personal administrativo y número de personal técnico sobre las Ventas de las empresas consultoras de ingeniería. En la Figura 1 se presenta la densidad para la variable respuesta Ventas y el diagrama de dispersión. Al aplicar la prueba de normalidad Shapiro-Wilks se obtuvo un Valor- P de 0.003925 por lo cual se tiene evidencia para rechazar la normalidad de la variable Ventas. Las marcas o rayas en el eje horizontal representan cada una de las 21 observaciones usadas en el estudio. Todos los gráficos y los modelos ajustados acá propuestos se realizaron usando el lenguaje de programación [R Core Team \(2019\)](#).

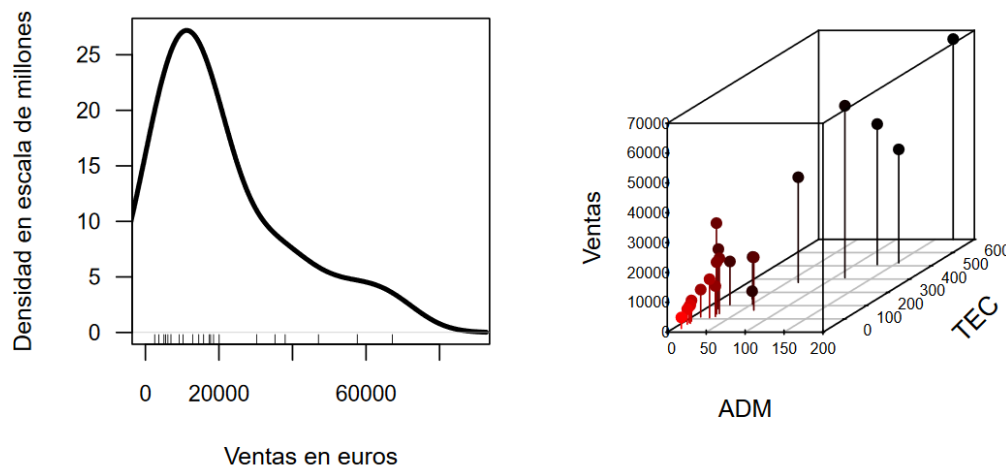


Figure 1: Densidad para la variable Ventas y diagrama de dispersión

Table 1: Datos de las empresas consultoras de ingeniería (Fuente: Tabla 1 de Garzón and Pellicer (2009))

ADM	11	24	8	23	128	65	114	51	25	39	9
TEC	115	109	73	207	510	166	411	211	138	252	60
VNT	9160	12900	5480	14500	47068	17717	57619	15821	17315	25528	5036

ADM	8	28	64	24	152	29	11	10	173	17
TEC	83	140	375	141	523	118	67	29	699	175
VNT	6946	18531	35247	30274	38005	10218	6112	3636	67150	20056

3. Resultados

Garzón and Pellicer (2009) consideraron un modelo lineal clásico sin intercepto, con distribución normal y varianza constante, el modelo usado como referencia está dado por la expresión (1).

$$\hat{E}[Ventas_i] = 2331.95903 + 116.51003ADM_i + 59.60956TEC_i \quad (1)$$

$$Var[Ventas_i] = constante$$

En el presente artículo se pretende mejorar el modelo obtenido por Garzón and Pellicer (2009) al modelar la media y varianza de las ventas de las empresas consultoras de ingeniería en función de las covariables. Adicionalmente, se flexibilizó la distribución de la variable respuesta considerando las distribuciones inversa gaussiana, log-normal parametrización 2, exponencial y gamma, lo anterior con la ayuda de los modelos GAMLSS Stasinopoulos et al. (2017). Dichas distribuciones fueron identificadas como las distribuciones que mejor explicaban el patrón de variación de las ventas en miles de euros usando como criterio el GAIC propuesto por Akaike (1983).

En la Figura 2 se muestra el histograma para la variable ventas acompañada de las densidades inversa gaussiana (con GAIC = 461.011) y log-normal2 (con GAIC = 461.411). De aquí se observa que estas dos distribuciones logran explicar el patrón observado, sin embargo, la inversa gaussiana tiende a explicar mejor la moda observada en el histograma.

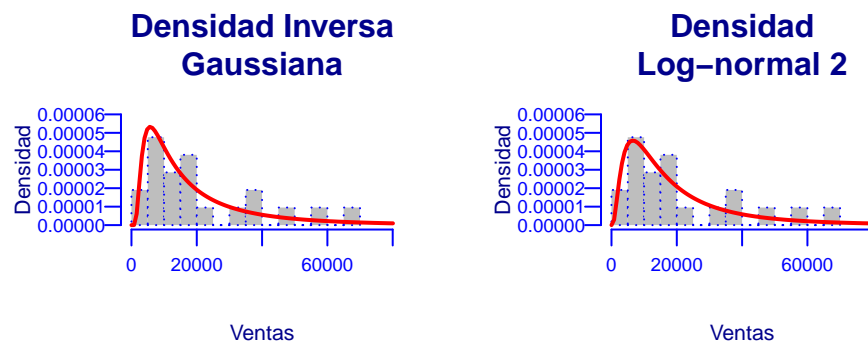


Figure 2: Mejores 2 distribuciones que se ajustan a la variable respuesta

De la Tabla 2 se observa que el modelo 1 con distribución inversa gaussiana para la variable respuesta tuvo el menor GAIC y una correlación alta, se decide usar este como modelo final para explicar las ventas de las empresas consultoras de ingeniería en función de las covariables cantidad de personal administrativo y técnico.

En la Tabla 3 se reporta el modelo elegido con respuesta inversa gaussiana. Este modelo se obtuvo luego de un proceso de selección de variables, en él se incluyen términos cuadráticos e interacción entre las covariables, con la información en dicha tabla, el modelo ajustado se puede expresar con la ecuación(2).

Table 2: Criterios de selección para ajustar el modelo

Modelo	Distribución	GAIC	$Corr[Y, \hat{E}(Y x_0)]$	Pseudo R^2
0	Normal	444.0587	0.8994	0.8089
1	Inversa Gaussiana	385.7624	0.8993	0.9857
2	Log-normal 2	407.2341	0.8949	0.9529
3	Exponencial	452.9012	0.8949	0.4112
4	Gamma	406.4979	0.8949	0.9562

Table 3: Parámetros estimados usando la distribución inversa Gaussiana

Modelo μ	Estimación	Error estándar	Valor- P
Intercepto	9330.9981	1.5921	$< 2 \times 10^{-16}$
ADM	38647.0808	1.8602	$< 2 \times 10^{-16}$
TEC	55.2304	0.0008	$< 2 \times 10^{-16}$
ADM^2	-4160.8435	2.4546	$< 2 \times 10^{-16}$
Modelo $\log(\sigma)$	Estimación	Error estándar	Valor- P
Intercepto	5.4741	1.8825	0.013130
ADM	-0.1334	0.0352	0.002590
TEC	-0.0830	0.0134	0.000040
TEC^2	-38.2666	4.3363	0.000001
$ADM \times TEC$	0.0006	0.0001	0.000180

$$\hat{\mu}_i = 9330.9981 + 38647.0808ADM_i + 55.2304TEC_i - 4160.8435ADM_i^2 \quad (2)$$

$$\hat{\sigma}_i = \exp(5.4741 - 0.1334ADM_i - 0.0830TEC_i - 38.2666TEC_i^2 + 0.0006ADM_i \times TEC_i)$$

En la parametrización de la distribución inversa gaussiana aquí usada, la media se expresa como $E[Y] = \mu$ y la varianza como $Var[Y] = \mu^3\sigma^2$. Así la media para la variable ventas esta dada por la expresión (3).

$$\hat{E}[Y] = 9330.9981 + 38647.0808ADM_i + 55.2304TEC_i - 4160.8435ADM_i^2 \quad (3)$$

De la figura 3 se observa que al aumentar el Personal Administrativo y el Personal Técnico la media de las Ventas aumenta, es decir, las variables ADM y TEC tienen una relación positiva con $\hat{E}[Y]$.

4. Conclusiones

En este trabajo se exploraron modelos alternativos al presentado por [Garzón and Pellicer \(2009\)](#) para modelar la influencia de la cantidad de Personal Técnico y Administrativo sobre las Ventas de las empresas consultoras de ingeniería. Estos modelos se caracterizan por tener diferentes distribuciones para la variable respuesta. Por otra parte todos los parámetros de las distribuciones se pudieron relacionar con las covariables, esto permitió obtener una expresión matemática para representar la media en función de las covariables. Usando dicha expresión se logró construir un gráfico de superficie en tres dimensiones para ilustrar la media. El modelo final con respuesta inversa gaussiana reportado presentó mejores medidas de GAIC, Pseudo R^2 y correlación entre Y y

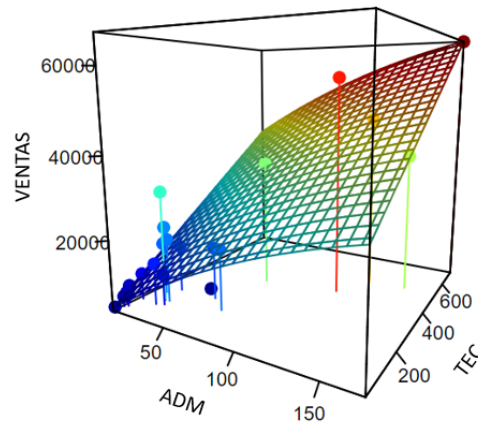


Figure 3: Superficie de respuesta para la Media de las Ventas

$\hat{E}[Y]$; dicho modelo permitirá a los economistas y empresarios predecir las ventas de las empresas consultoras de ingeniería en función de las variables explicativas.

Como trabajos futuros se recomienda tener un tamaño de muestra mayor con el fin de poder aplicar herramientas más sofisticadas de *machine learning* y modelos no lineales. Adicionalmente se podrían tener en cuenta más características de las empresas consultoras de ingeniería con el fin de mejorar las propiedades de la función de producción.

References

- Akaike, H. 1983. "Information measures and model selection." *Int Stat Inst* 44:277–291.
- Garzón, P. and E. Pellicer. 2009. "ORGANIZATIONAL EFFICIENCY OF CONSULTING ENGINEERING FIRMS: PROPOSAL OF A PERFORMANCE INDICATOR." *DYNA* 76(160):17–26.
- Hartley, P.M. 2000. *Consulting engineering: constructing the future*. Baldock Research Studies Press Ltd.
- Lowendahl, B.R. 2000. *Strategic management of professional service firms*. Copenhagen Business Scholl Press.
- Maister, D.H. 1997. *Managing the professional service firm*. Simon and Schuster.
- Pellicer, E. 2007. "Consulting engineering companies versus building contractors: two different means of adapting to the market." *Revista de Obras Públicas* 3483:7–18.
- Picazo, A.J. and C. Quirós. 2001. "Liberalización, eficiencia y cambio técnico en telecomunicaciones." *Revista de Economía Aplicada* 9(25):77–113.
- R Core Team. 2019. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
URL: <https://www.R-project.org/>
- Stasinopoulos, M.D., R.A. Rigby, G.Z. Geller, V. Voudouris and F. De Bastiani. 2017. *Flexible regression and smoothing: using in r*. Chapman y Hall/CRC.