

05-013

DETERMINING FACTORS AND RATIOS FOR THE DESIGN AND CONFIGURATION OF PUBLIC LIGHTING ENERGY SERVICES CONTRACTS IN SPAIN. PERIOD 2012-2022

Haro Morillas, Marta ⁽¹⁾; Castel Aznar, Luis ⁽¹⁾; Minaya Collado, Carlos ⁽¹⁾

(1) Electrotecnia Monrabal

The energy sector is considered as one of the key elements to maintain stable economic growth, employment, and social progress. Energy service contracts (ESCOs), based on savings capitalization, play an important role in the economies of European Union countries. However, since their appearance in the public bidding sector about ten years ago, there have been no studies or analyses of their characteristics that would allow for the fitting of the main technical-economic configuration ratios of the contract ex ante. This research aims, for the contract of outdoor public lighting energy services, to bring out the variables involved and analyze their internal relationships in order to determine the operating ratios of this type of contract in Spain, and to make predictions for future contracts. All of this through research on a sample of 100 contracts from the years 2012-2022 of the main variables that will be subjected to research. These will be: consumption, population and municipal area, number of lights and CM, investment, maintenance, and Bid Budgets.

Keywords: energy efficiency; energy services; public lighting

FACTORES Y RATIOS DETERMINANTES PARA EL DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DE CONTRATOS DE SERVICIOS ENERGÉTICOS DE ALUMBRADO PÚBLICO EN ESPAÑA

El sector de la energía es considerado como uno de los elementos claves para mantener estable el crecimiento económico, el empleo y el progreso social. Los contratos de servicios energéticos, (Contratos ESE) basados en la capitalización de los ahorros desempeñan una importante función en las economías de los países de la Unión Europea. Sin embargo, desde su aparición en el sector de las licitaciones públicas, hace ahora poco menos de 10 años, no se disponen de estudios y análisis de sus características que permitan encajar ex ante los principales ratios de configuración técnico-económica del contrato. La presente investigación pretende, para el contrato de servicios energéticos de alumbrados públicos exteriores, poner de manifiesto las variables que intervienen y analizar sus relaciones internas con el objetivo de determinar los ratios de funcionamiento de este tipo de contratos en España, así como poder realizar las predicciones para futuros contratos. Todo ello mediante la investigación, sobre una muestra de 100 contratos entre los años 2012-2022 de las principales variables que se someterán a la investigación. Estas serán: Consumo, Población y Superficie del término municipal, número de luminarias y CCM, Inversión, Mantenimiento y Presupuestos de licitación.

Palabras clave: eficiencia energética; servicios energéticos; alumbrados públicos



1 Introducción

La eficiencia energética es una de las herramientas más poderosas para enfrentarse con la problemática generada por el cambio climático, por la falta de seguridad energética y por el alza generalizada de los precios de la energía. (Polzin et, 2016). En la actualidad, nos encontramos en un contexto energético en el que, por un lado, se están desarrollando nuevas tecnologías que son capaces de aportar **soluciones baratas y eficaces** para obtener los mejores resultados de confort y servicio empleando la menor cantidad posible de energía. Por otro, asistimos a un fuerte **impulso político** en conseguir energía limpia para todos los europeos que se ha materializado, entre otras medidas, en la revisión de los objetivos de eficiencia energética en la UE en el periodo 2020-2030. (D (UE) 2018/2022¹). En este sentido, una de las líneas de trabajo más importantes es la mejora de la eficiencia energética en los alumbrados públicos municipales, mediante el cambio a la tecnología LED.

En España, según el Instituto Nacional de Estadística (INE), tenemos 8.131 municipios, de los cuales 5.002 municipios tienen menos de 1.000 habitantes y 2.376 menos de 10.000 habitantes y sólo 63 municipios superan la cifra de 100.000 habitantes. Con esta segmentación, a los citados municipios, se les plantean tres opciones para acceder a este tipo de soluciones: (Castel, 2021)

- a) Licitación y financiar con cargo a sus presupuestos el proyecto de sustitución a LED.
- b) Adherirse a subvenciones o actuaciones provinciales impulsadas por Diputaciones que correspondan a su ámbito de referencia.
- c) Licitación un contrato de servicios energéticos.

Las **opciones a) y b)** implican una **disponibilidad presupuestaria** para financiar las inversiones y el mantenimiento posterior de la red de alumbrado. Por tanto, estas opciones son más aconsejables para los **grandes municipios**, mientras que la opción c), les permite a los **pequeños ayuntamientos**, una vía para que puedan **adquirir y gestionar su nueva red de alumbrado**, sin depender de las decisiones de terceros y sin necesidad de realizar inversión alguna. (Castel, 2021). Esta **tercera vía**, se **materializa en un contrato**, en adelante contrato ESE, con una empresa de servicios energéticos, en adelante empresa ESE, seleccionada en una licitación pública con objeto de ejecutar las siguientes prestaciones: (Castel, 2020)

- **Prestación P1-** Gestión Energética: Suministro de electricidad en la instalación. Gestión de los suministros de electricidad de toda la instalación, control de calidad, cantidad y uso, y garantías de aprovisionamiento.
- **Prestación P2-** Mantenimiento: Mantenimiento preventivo y conductivo para lograr el perfecto funcionamiento y la permanencia en el tiempo de su rendimiento y de todos sus componentes al valor inicial.

¹ En el año 2018, la UE, dentro del paquete normativo “Energía limpia para todos los europeos”, modifica la Directiva (UE) 2012/2002 sobre eficiencia energética y actualiza las reglas y obligaciones comprometiendo nuevos objetivos de eficiencia energética en la UE para el periodo 2020 a 2030. El objetivo de la nueva Directiva (UE) 2018/2002 del parlamento europeo y del Consejo de fecha 11 de diciembre de 2018 es el aumento de la eficiencia energética en el 20 % para el año 2020 y de al menos el 32,5 % para 2030.

- **Prestación P3-** Garantía Total: Reparación de todos los elementos deteriorados en la instalación bajo la modalidad de Garantía Total.
- **Prestación P4-** Renovación y financiación de las Instalaciones de alumbrado público exterior y obras de mejora con tecnologías más eficientes y sostenibles.

En España, los primeros contratos ESE en alumbrado público exterior, promovidos por este tipo de municipios, se empezaron a licitar hace ya aproximadamente 10 años, por lo que ya es posible investigar con perspectiva y rigor académico los principales parámetros y variables que intervienen, analizar sus relaciones internas y determinar las ratios de funcionamiento para este tipo de contratos. Esta investigación y los resultados obtenidos son los que motivan el objeto del presente artículo.

2 Metodología empleada en la investigación

La metodología empleada en la investigación ha sido, en primer lugar la recopilación de información sobre contratos ESE relativos a alumbrados públicos durante los últimos diez años (2012-2022) en España. Se ha tomado una **muestra aleatoria de 100 contratos ESE** en los que se ha seleccionado datos sobre las siguientes variables: Consumos (V-1), Número de luminarias (V-2), Número de cuadros de mando (CCM) (V-3), Costes de mantenimiento anual (V-4), Inversión total en euros (V-5), Precio Base de Licitación (V-6) entre otros.

En segundo lugar, se han adoptado las siguientes segmentaciones:

- Respecto del número de habitantes: Segmento 1 = Hasta 1.000; Segmento 2 = de 1.000 a 5.000; Segmento 3 = de 5.000 a 10.000; Segmento 4 = de 10.000 a 35.000 Habitantes.
- Respecto del número de luminarias: Segmento 1 < 500; Segmento 2 = 500 a 1.000; Segmento 3 = 1.000 a 1.500; Segmento 4 = 1.500 a 2.000; Segmento 5 = 2.000 a 3.000; Segmento 6 = 3.000 a 5.000; Segmento 7 = 5.000 a 8.000 Luminarias

Los criterios utilizados para realizar la segmentación anterior ha sido el de disponer de suficiente número de casos de investigación en cada estrato considerado. La herramienta informática utilizada ha sido el software SSPS desarrollado por IBM.

En tercer lugar, los datos han sido revisados y como consecuencia **se han eliminado 4 casos** donde no se han podido tomar con garantía todos los datos necesarios por falta de información. En consecuencia, resulta una **muestra definitiva de 96 contratos ESE** que responden a la siguiente configuración.

Tabla 1 Muestra investigada, desglosada por años. Periodo (2012-2022)

Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Nº de contratos ESE	1	1	7	9	23	10	8	8	2	11	17

Figura 1 Muestra investigada, desglosada por provincias. Periodo (2012-2022)



3 Resultados de la investigación

(V-1). La variable «porcentaje de ahorro en consumo» después del cambio a LED se ha obtenido teniendo en cuenta el consumo² antes y después de la sustitución a LED (Kw/Año). Ha sido necesario eliminar 5 contratos que presentaban datos atípicos (*outliers*) debido a que los municipios no habían renovado a Led la totalidad de sus instalaciones. Los datos obtenidos, según las segmentaciones planteadas son los siguientes:

Tabla 2 Porcentaje de ahorro obtenido después del cambio a LED segmentado por población

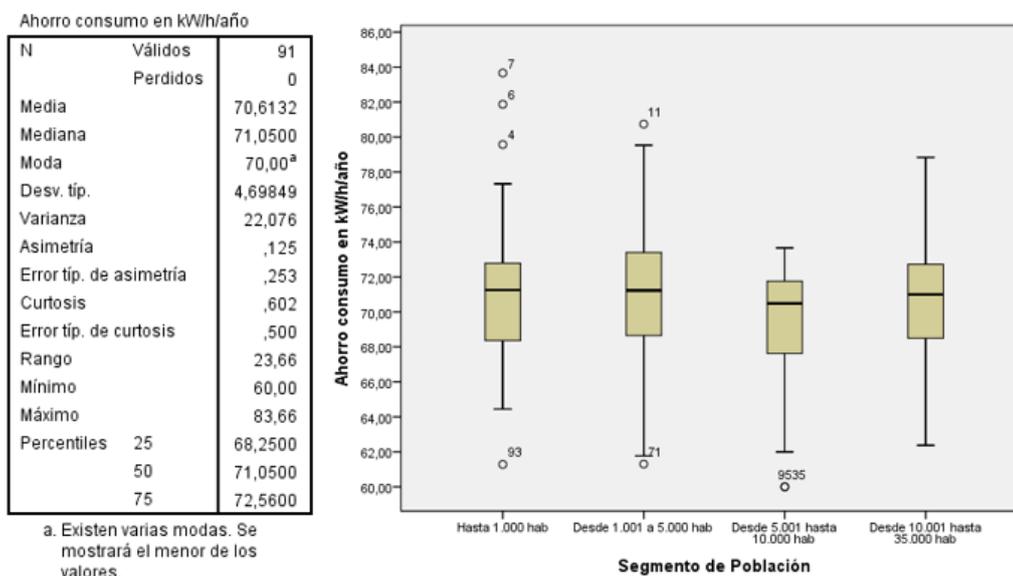
Segmentación	N	Media %	Desv Típica
Toda la muestra	91	70,61	4,70
Hasta 1.000 habitantes	28	71,30	5,04
De 1001 hasta 5.000 habitantes	24	71,25	4,92
De 5.001 hasta 10.000 habitantes	18	68,81	4,22
De 10.001 hasta 35.000 habitantes	21	70,51	4,24

Tabla 3 Porcentaje de ahorro obtenido después del cambio a LED segmentado por número de puntos de luz

Segmentación	N	Media	Desviación Típica
Punto luz ≤ 500	17	71,76	5,52
500 < Pto luz ≤ 1.000	14	70,91	4,49
1000 < Pto luz < 1.500	20	70,41	4,88
1.500 < Pto luz ≤ 2.000	11	70,24	4,32
2.000 < Pto luz ≤ 3.000	11	68,48	4,80
3.000 < Pto luz ≤ 5.000	10	70,99	3,67
5.000 < Pto luz ≤ 8000	8	71,11	4,86
Toda la muestra	91	70,61	4,60

² Consumos obtenidos de Inventarios, Facturas de consumo y/o Auditorías del alumbrado existente. Datos municipales.

Figura 2. Estadístico de la variable % ahorro en consumo y diagrama de cajas



Los resultados para el porcentaje de ahorro en consumo después del cambio a LED arrojan un **valor medio** representativo para toda la muestra del **70,61%**, con una baja desviación típica de 4,70. Además, la media, mediana y moda son muy similares y la curva de distribución presenta baja asimetría y es ligeramente mesocúrtica. Los datos, aplicando la prueba de Kolmogorov-Smirnov no siguen una distribución normal y no se aprecian diferencias significativas en las medias al segmentar por población ni al segmentar por el número de luminarias como se aprecia en las tablas 2 y 3.

(V-1). En las variables «consumo por punto de luz» (KW/año/Pto luz), y «consumo por cuadro» (KW/año/Cuadro), correspondientes a la prestación P-1, se han analizado los datos utilizando las segmentaciones indicadas. Se ha eliminado un valor atípico para la primera variable, y dos para la segunda. También se han eliminado los contratos que engloban, además del consumo en el alumbrado público, el consumo en los edificios municipales. En consecuencia, los casos válidos son 88 contratos para la variable «consumo por punto de luz» y año y 87 para la variable «consumo por cuadro» y año. Para ambas variables, los resultados de la investigación son los siguientes.

Figura 3 Estadísticos de la variable «consumo por punto de luz» (KW/año/Pto luz)

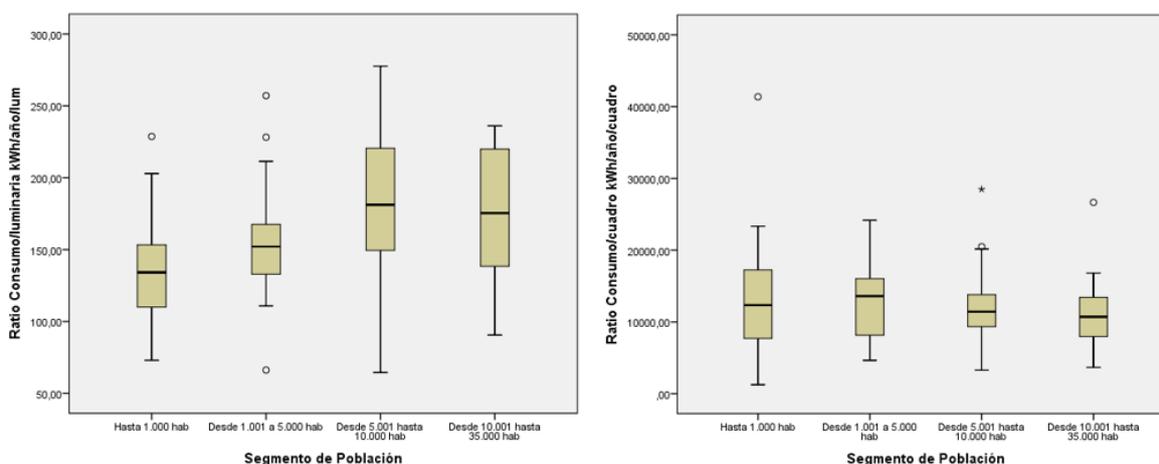
Ratio Consumo/luminaria kWh/año/lum				Ratio Consumo/luminaria kWh/año/lum			
Segmentación de puntos de luz	Media	N	Desv. típ.	Segmento de Población	Media	N	Desv. típ.
PtoLuz< 500	152,1656	16	44,02915	Hasta 1.000 hab	136,1200	27	39,29158
500< PtoLuz<1.000	127,7485	13	30,11932	Desde 1.001 a 5.000 hab	156,8357	23	40,67524
1.000 < PtoLuz <1.500	152,2490	20	50,29900	Desde 5.001 hasta 10.000 hab	179,3265	20	51,35249
1.500< PtoLuz <2.000	161,9782	11	36,89174	Desde 10.001 hasta 35.000 hab	171,9056	18	47,13586
2.000< PtoLuz<3.000	206,5325	12	36,29229	Total	158,6738	88	46,72085
3.000< PtoLuz<5.000	172,0850	10	42,73915				
5.000 < PtoLuz< 8.000	140,3217	6	48,93517				
Total	158,6738	88	46,72085				

Figura 4 Estadísticos de la variable y «consumo por cuadro» (KW/año/Cuadro)

Ratio Consumo/cuadro kWh/año/cuadro				Ratio Consumo/cuadro kWh/año/cuadro			
Segmentación de puntos de luz	Media	N	Desv. típ.	Segmento de Población	Media	N	Desv. típ.
PtoLuz < 500	15673,3250	16	9270,90777	Hasta 1.000 hab	12993,4330	27	8161,32938
500 < PtoLuz < 1.000	11613,8292	13	4729,73913	Desde 1.001 a 5.000 hab	12878,5113	23	5321,40974
1.000 < PtoLuz < 1.500	11400,2689	19	5370,03204	Desde 5.001 hasta 10.000 hab	12558,4510	20	5487,78251
1.500 < PtoLuz < 2.000	10747,4700	11	4336,18793	Desde 10.001 hasta 35.000 hab	11335,8006	17	5228,26030
2.000 < PtoLuz < 3.000	16333,6800	12	6512,42964	Total	12539,1503	87	6285,06205
3.000 < PtoLuz < 5.000	9425,4480	10	2136,74300				
5.000 < PtoLuz < 8.000	10677,8633	6	4604,15682				
Total	12539,1503	87	6285,06205				

Los diagramas de cajas respectivos segmentados por población son los siguientes:

Figura 5 Diagramas de cajas variables «consumo por punto de luz» y «consumo por cuadro» segmentadas por la Población



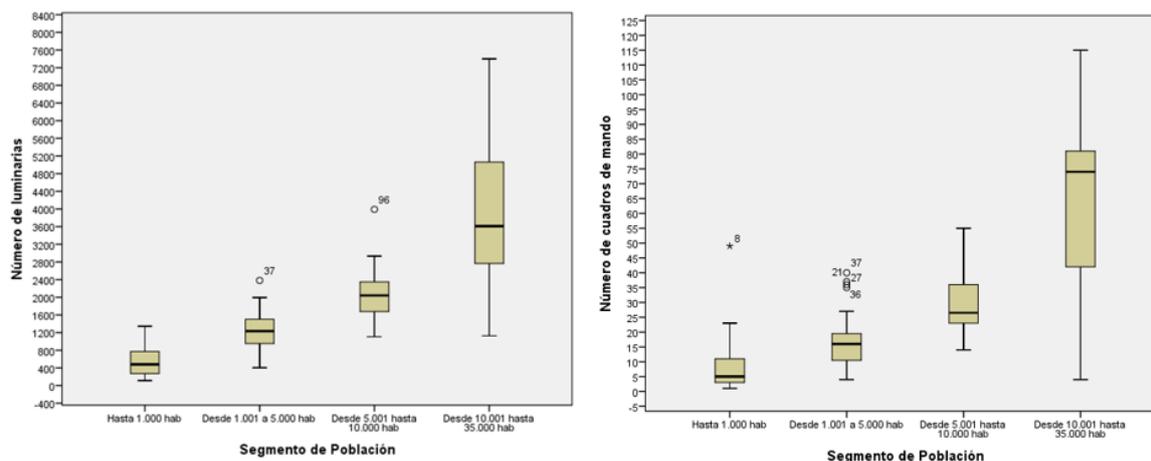
El **valor medio** del «consumo por punto de luz» es de **158,67 KW/año/Pto. de luz**, con una alta desviación típica de 46,72 que indica dispersión. La variable se distribuye con ligera asimetría y curtosis con curva de distribución mesocúrtica lo que explica el alto valor de la dispersión. El Rango de la variable es de 213,08 Kw/h /Pto. de luz con un valor mínimo de 64,54 Kw/h/P. luz y un valor máximo de 277,62 Kw/h/Pto. luz. que da también una idea de la **dispersión de los datos**

El valor medio del «consumo por cuadro» y año es de 12.539,15 KW/año por cuadro. Con un alto valor de la desviación típica de 6.285,06, un Rango de 40.116,58 Kw/h /Cuadro, con un valor mínimo de 1.260,14 y un valor máximo de 41.376,72 Kw/h/P. luz. No obstante, no se pueden segregar los cuadros que pertenecen a edificios. La variable se distribuye con baja asimetría, alta curtosis y ligeramente leptocúrtica en su distribución. Valores con alta dispersión. Los *outliers* no responden a errores sino a la aleatoriedad de la variable.

(V-2) y (V-3). Se han estudiado las variables «número de puntos de luz» y «número de cuadros» en relación con la segmentación de la población planteada y se ha intentado averiguar si existe una relación entre ellas. En ambas variables se han observado cuatro valores atípicos que no corresponden a errores sino a las especiales circunstancias de

algunos municipios gallegos³ que añaden aleatoriedad a las variables por lo que se ha adoptado la decisión de eliminarlos, quedando una muestra de 92 casos.

Figura 6 Diagrama de cajas variables nº puntos de luz y nº de cuadros segmentadas por población



Hemos aplicado la **prueba Kolmogorov-Smirnov**, concluyendo que las variables no siguen una **distribución normal** lo que se traduce en el uso de la estadística no paramétrica para determinar la correlación de las variables y las posibles regresiones curvilíneas que la modelicen. El valor de la significación bilateral es inferior a 0,05, y la Rho de Spearman calculada arroja un valor de 0.91, por lo que existe una **correlación fuerte o intensa entre las variables**, que se deduce intuitivamente del diagrama de cajas y del diagrama de dispersión y regresión de las dos variables (Figuras 6 y 7)

Figura 7 Diagrama de dispersión y regresión curvilínea variables nº de puntos de luz/nº de cuadros. Valores del coeficiente de determinación.

Tipo	Lineal	Cuadrática	Cúbica	Potencia
R cuadrado	0,815	0,811	0,809	0,844

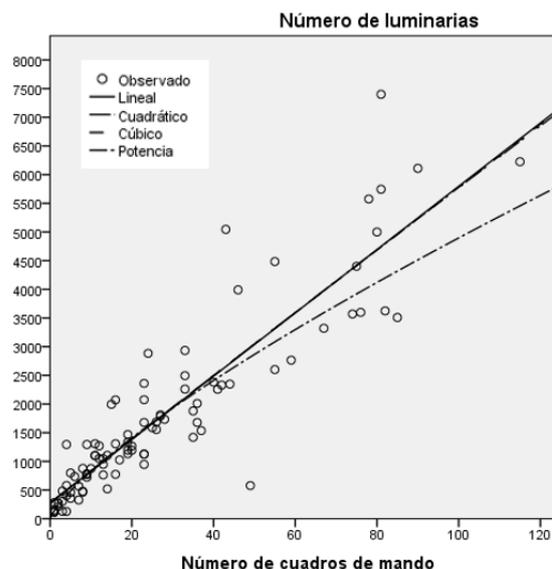
Siendo Y = nº de luminarias y x = nº de cuadros, las ecuaciones resultantes son las siguientes:

$$y = 279,612 + 55,168 x$$

$$y = 269,732 + 56,036 x - 0,10 x^2$$

$$y = 264,523 + 56,804 x - 0,031 x^2 - 0,000 x^3$$

$$y = 138,947 x^{0,774}$$



³ Municipios con abundantes y dispersos núcleos de población

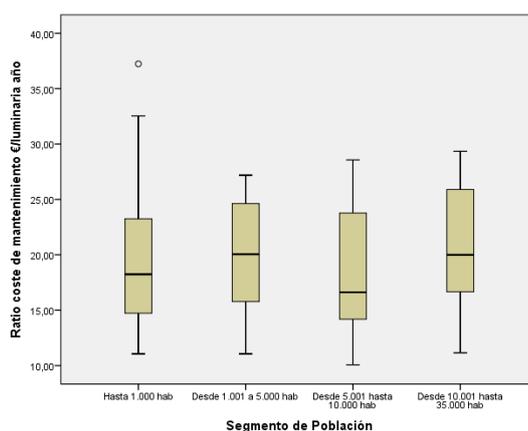
Las cuatro regresiones que aportan un coeficiente de determinación «R cuadrado» por encima de 0,80 son los modelos lineal, cuadrático, cúbico y potencia, siendo los tres primeros prácticamente similares.

Se observa una fuerte correlación entre las variable «nº de puntos de luz» y «número de cuadros» de forma que a medida que aumenta el número de puntos de luz lo hace el número de cuadros como cabía esperar. Los estadísticos muestran tanto para la muestra completa como las segmentadas por población, una alta desviación típica, lo que se traduce en una alta dispersión de los datos. Para la muestra completa, no se obtiene un modelo de regresión que explique el comportamiento de la muestra, ni considerada en su conjunto. Para la muestra segmentada por población se ha intentado obtener un modelo en base a utilizar modelos curvilíneos de forma que a cada tramo se le asignaría el modelo que más se ajustase. Aun así, la aleatoriedad de las dos variables no permite desarrollar un modelo que ajuste razonablemente en toda la muestra.

(V-4). La variable «Ratio coste de mantenimiento €/luminaria año» correspondiente a las prestaciones P-2 y P-3 tampoco sigue una distribución normal. Se observan altos rangos en la variable, en especial en el tramo de población hasta 1.000 habitantes así como distribuciones mesocúrticas y asimétricas. Sus datos estadísticos segmentados por población son los siguientes:

Figura 8 Estadístico de la variable Ratio coste de mantenimiento €/luminaria año segmentada por población

Segmento de Población	N	Media	Dev. típ.	Rango	Mínimo	Máximo	Curtosis	Asimetría
Hasta 1.000 hab	30	19,6063	5,98017	26,18	11,06	37,24	1,568	1,127
Desde 1.001 a 5.000 hab	24	20,1517	4,88557	16,12	11,06	27,18	-1,155	-,242
Desde 5.001 hasta 10.000 hab	20	18,1205	5,36491	18,49	10,07	28,56	-,903	,563
Desde 10.001 hasta 35.000 hab	22	20,7473	5,57522	18,20	11,15	29,35	-,990	-,010
Total	96	19,6946	5,49151	27,17	10,07	37,24	-,143	,473

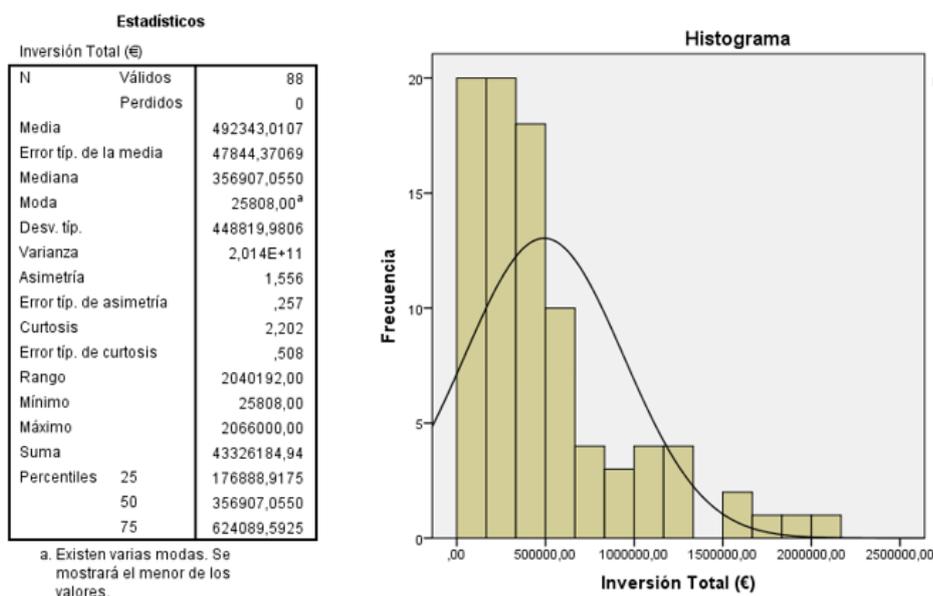


(V-5). Se han examinado los datos para las variable de «Inversión total» en € respecto del "número de cuadros" y "número de luminarias", correspondientes al servicio P-4. Se han eliminado 4 contratos que contaban con inversión en edificios ya que distorsionan los resultados obtenidos. Además, se han realizado segmentaciones por número de habitantes y número de puntos de luz y se ha tenido en cuenta si la telegestión es punto a punto o a nivel de cuadro. Los resultados obtenidos se comentan a continuación.

Si analizamos la variable de «inversión total» en €, observamos lo siguiente:

En el caso de la inversión total, la media es mayor que la mediana, lo que representa que los valores altos están afectando considerablemente a la media. Al tener una asimetría positiva, se entiende que la cola de la distribución se extiende hacia la derecha y que hay valores extremadamente altos que están afectando la forma de la distribución. Al tener una curtosis mayor que 0, se puede decir que tiene una forma más puntiaguda, por ello sigue una distribución leptocúrtica.

Figura 9 Estadístico descriptivo de la variable Inversión total €

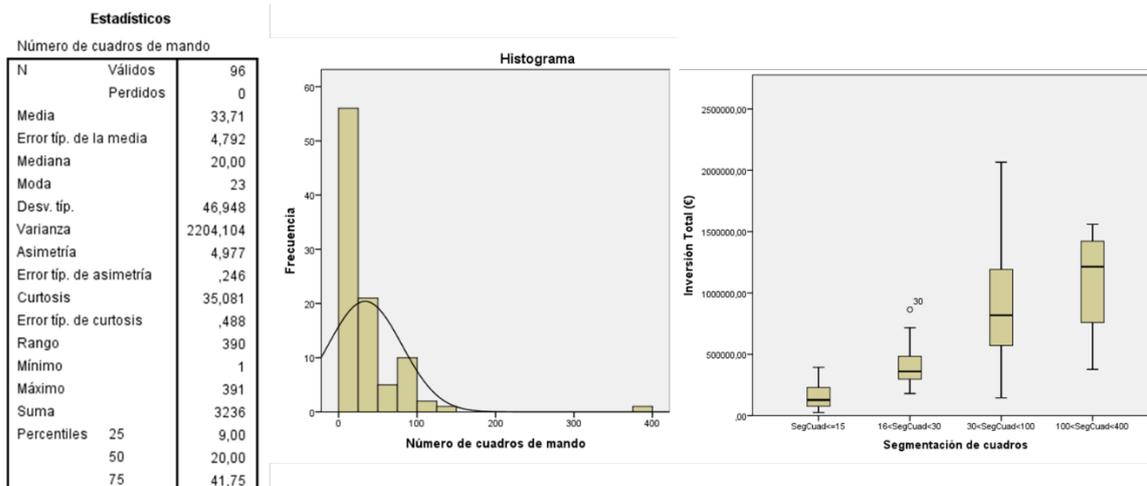


Aplicando la prueba de Kolmogorov-Smirnov entre las variables «inversión total €» y «número de cuadros» encontramos que las variables no siguen una distribución normal. Esto significa que debemos utilizar estadísticas no paramétricas para determinar la correlación entre las variables y las posibles relaciones curvilíneas que puedan modelarlas. El valor de significación bilateral fue menor a 0,05 y al calcular la correlación de Spearman, obtuvimos un valor de 0,909 que indica una correlación fuerte entre las variables. A la misma vez, se realiza esta prueba con las variables «inversión total €» y «número de luminarias» y se comprueba de la misma manera que el valor de significación bilateral es menor que 0,05 con una correlación fuerte de 0,969.

Para analizar cómo se relacionan las variables de «número de cuadros» y «número de luminarias» con la variable «inversión total €», primero se analizan las variables por separado. Los resultados obtenidos son los siguientes:

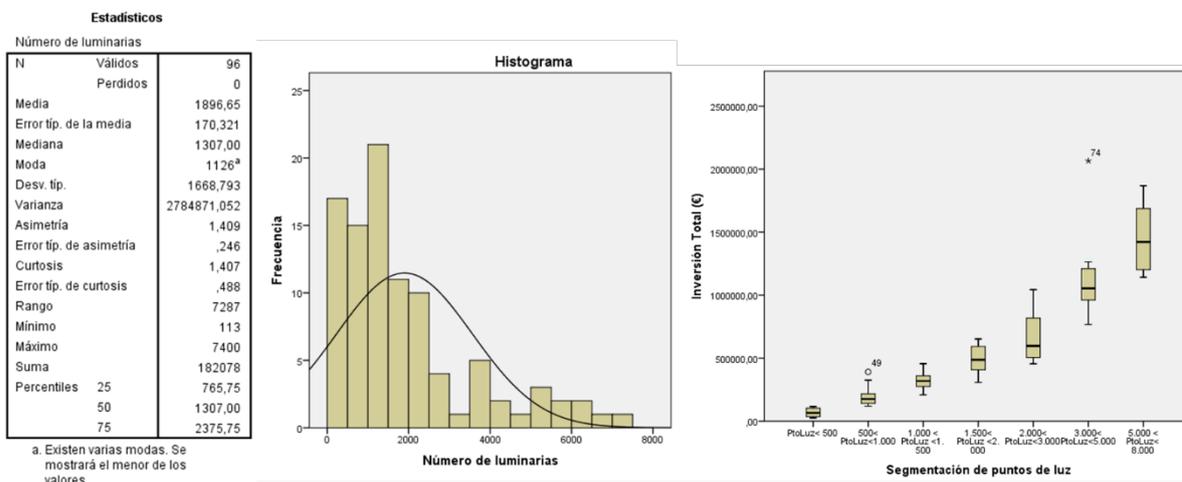
- **Variable número de cuadros:** los datos estadísticos proporcionados describen una distribución de valores con una **asimetría positiva** (1,486), lo que sugiere una distribución de datos sesgada hacia la derecha y con una concentración de valores en la cola derecha de la distribución. La curtosis de 1,608 indica que los **valores se distribuyen cerca de la media**.

Figura 10 Estadístico descriptivo de la variable número de cuadros.



- **Variable número de luminarias:** los datos sugieren que hay una amplia variabilidad en los datos (rango [113-7400]) y que hay una concentración de valores más bajos (según se puede observar en la figura 11). La **asimetría positiva** sugiere que hay valores atípicos altos que están desplazando la media hacia arriba y por consiguiente, observamos que que la curtosis (1,409) indica que la distribución es relativamente puntiaguda y concentrada.

Figura 11 Estadístico descriptivo de la variable número de luminarias.



Para determinar la relación matemática entre la inversión total y el número de cuadros y el número de luminarias, obtenemos respectivamente que:

- $Inversión = 32449,008 \cdot x^{0,807}$ Fórmula de potencia con forma convexa con un R^2 de 0,85 siendo "x" el número de cuadros.
- $Inversión = 204,181 \cdot x^{1,031}$ Fórmula de potencia con forma convexa con un R^2 de 0,954 siendo "x" el número de luminarias.

Existe una mayor relación entre **la inversión y las luminarias**.

Analizando la inversión a través de la segmentación de población hemos podido comprobar que en la mayoría de segmentos no se ha podido encontrar una relación. De igual manera,

se ha hecho el estudio mediante segmentación por puntos de luz. En ambos casos, se ha podido comprobar que la única segmentación que se ha conseguido una relación matemática es con el primer grupo. En el caso de la segmentación por población se han eliminado dos valores atípicos con el objeto de no distorsionar la función. En el caso de la segmentación por puntos de luz se ha tomado la muestra entera.

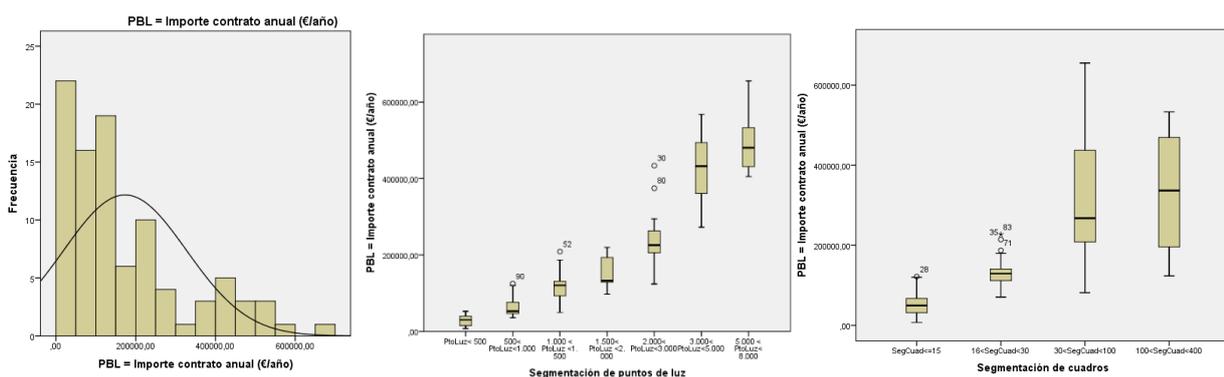
- La función potencial obtenida para población menor que 1.000 habitantes es:
 $Inversión = 200,083 \cdot x^{1,029}$ con una R^2 de 0,941.
- La función cúbica obtenida para contratos con menos de 500 puntos de luz es:
 $Inversión = 103476,277 + 847,794x + 5,186 \cdot x^2 + 0,005 \cdot x^3$ con una R^2 de 0,915.

Para determinar la relación matemática entre la inversión total y el número de luminarias filtrando por la telegestión punto a punto, obtenemos que existe relación directa con la inversión siendo su R^2 de 0,987. La fórmula a emplear es: $Inversión = 35.706,455 + 282,03 \cdot x$.

Para la telegestión a nivel de cuadro, obtenemos que, eliminando un valor anómalo que debido a sus condiciones específicas no se ajusta a la normalidad de contratos ESE, la relación es lineal siendo su fórmula: $Inversión = 205,633 + x^{1,028}$.

(V-6) Para el estudio de la variable Precio Base de Licitación (€/año), en adelante PBL, hemos eliminado 4 *outliers* para la correlación con el número de cuadros y 2 para el número de luminarias, ya que generan distorsión en la muestra al representar contratos en municipios donde existen instalaciones de cableados y columnas deterioradas a reparar, que no tienen nada que ver con las luminarias y los cuadros, que hacen subir el PBL. Por tanto, el análisis se realiza con 92 y 94 datos muestrales respectivamente. Los estadísticos muestran, tanto para la muestra completa como las segmentadas por número de puntos de luz y número de cuadros, una alta desviación típica, lo que se traduce en una alta dispersión de los datos. La distribución de la variable PBL, presenta una asimetría positiva, generada por los valores a la derecha de la distribución que generan distorsión en la media.

Figura 12 Estadístico descriptivo de la variable PBL.



Para la variable PBL, hemos aplicado la prueba de Kolmogorov-Smirnov, concluyendo que las variables no siguen una distribución normal lo que se traduce en el uso de la estadística no paramétrica para determinar la correlación de las variables y las posibles regresiones curvilíneas que la modelicen. El valor de la significación bilateral es inferior a 0,05 tanto para la variable de nº de luminarias como la correspondiente al nº de cuadros, y la Rho de Spearman calculada arroja un valor de **0,937** para el nº de luminarias y de **0,896** para el nº

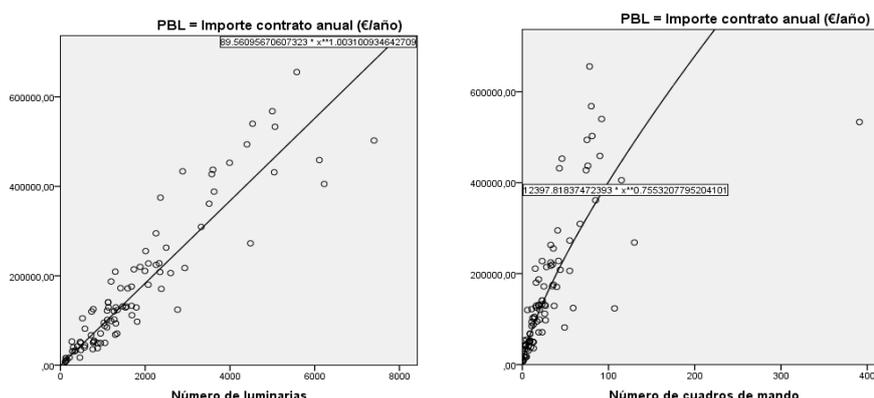
de cuadros, por lo que existe una correlación fuerte o intensa para ambas la variables que se observan intuitivamente de los diagramas de cajas (Figura 12) y en los diagramas de dispersión y regresión de las dos variables de la Figura 13.

Para la muestra completa, no se ha obtenido un modelo de regresión curvilíneo que explique el comportamiento de la muestra. Se puede achacar esta situación a la alta dispersión de los datos que provoca la aleatoriedad de las variables.

Para la muestra segmentada se ha intentado obtener un modelo de regresión en base a utilizar modelos curvilíneos filtrados por nº de luminarias y nº de cuadros. Las relaciones obtenidas han sido:

- $y = 12397,818 \cdot x^{0,755}$ con $R^2 = 0,817$; siendo “y” PBL €/año y “x” número de cuadros.
- $y = 89,561 \cdot x^{1,003}$ con $R^2 = 0,894$; siendo “y” PBL €/año y “x” número de luminarias.

Figura 13 Regresión curvilínea de la variable PBL respecto del nº de cuadros de mando y número de luminarias.



4 Conclusiones

La variable «Ahorro en consumo» presenta un valor medio representativo situado en el 70,61 %, sin variaciones significativas respecto del número de luminarias o de población que tenga el municipio. Este valor se puede extrapolar y ser utilizado para estimar o hacer predicciones de ahorros. Así pues se puede utilizar la fórmula:

- ✓ Consumo estimado por cambio a LED = 0,7061 x Consumo actual (KW/H/Año), con un intervalo de confianza para la media al 95% de (69,6347 a 71,5917).

La variable «Ratio coste de mantenimiento €/luminaria año» presenta un valor medio de 19,70 €/luminaria/año. Sin excesivas diferencias en los valores segmentados, aunque con rangos de valores altos. En consecuencia, se puede estimar este valor como una aproximación de coste:

- ✓ Coste de mantenimiento: P- 2 + P-3 (€/Año) = 19,70 x nº luminarias, con un intervalo de confianza para la media al 95% de: (18,582 a 20,807).

La variable «inversión total €» está más relacionada con el número de luminarias que el número de cuadros. Es coherente analizar que la inversión se ve más afectada por el número de luminarias dado que suele representar la mayor cantidad de la inversión puesto que en los cuadros no se realiza una sustitución masiva, sino que en ciertos cuadros se

realiza una adecuación. Por ello, podemos ver la relación tan directa en aquellos contratos en los que se contempla exclusivamente alumbrado público. El mismo argumento es aplicable a la variable PBL.

El análisis de los datos y resultados obtenidos muestran que las relaciones entre las variables dependen tanto de factores técnicos como de la configuración o distribución territorial del municipio. Estas situaciones generan aleatoriedad en las variables estudiadas, en especial en el número de cuadros de maniobra, de forma que las regresiones calculadas, a pesar de los buenos valores de los coeficientes de determinación obtenidos, que explican altos porcentajes de la varianza, presenten discrepancias entre los modelos teóricos alcanzados y el mercado representado por la muestra.

Por último, es necesario indicar que el estudio realizado, pone de manifiesto que la variable «número de cuadros» presenta valores con altas dispersiones que influyen en el ajuste de las regresiones ensayadas. Entendemos que esta situación obedece, entre otros parámetros, a que no se ha optimizado suficientemente su número al cambiar a LED. Por tanto, después de analizar sus ubicaciones y la tipología de los municipios, cabe concluir que es necesario que los municipios revisen si el número de cuadros instalados es coherente con el número y las menores potencias de las luminarias instaladas y si es susceptible realizar una optimización que disminuya su número y por tanto la eficiencia de la instalación.

5 Bibliografía

- Castel, L. C. (2020). "Ventajas de los contratos de servicios energéticos en pequeños municipios. Proceso y tramitación de un contrato ESE." Consultor de los ayuntamientos y de los juzgados: Revista técnica especializada en administración local y justicia municipal 6 (2020): 18.
- Castel, L. C. (2021). "Estrategias para el desarrollo de proyectos de infraestructura Smart City en pequeños municipios." Consultor de los ayuntamientos y de los juzgados: Revista técnica especializada en administración local y justicia municipal 7 (2021): 64-78.
- Unión Europea (2018). Eficiencia energética <http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency>
- Unión Europea (2018) DIRECTIVA (UE) 2018/2002 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 11 de diciembre de 2018 por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética. <https://www.boe.es/doue/2018/328/L00210-00230.pdf>
- Polzin et, (2016). Riedemann Polzin, Paschen von Flotow, Colin Nolden, Modes of governance for municipal energy efficiency services – The case of LED street lighting in Germany, *Journal of Cleaner Production, Volume 139*, 2016,

Comunicación alineada con el
Objetivo de Desarrollo Sostenible:

