



X Congreso Ibérico de Agroingeniería X Congresso Ibérico de Agroengenharia

Huesca, 3-6 septiembre 2019



Indicadores clave de rendimiento (KPIs) sobre eficiencia energética en la industria agroalimentaria

C. J. Porras-Prieto¹, F. Ruiz-Mazarrón¹, J. Fuentes-Pila², J. L. García¹

¹ Dpto. Ingeniería Agroforestal, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid; carlosjavier.porras@upm.es, f.ruiz@upm.es, joseluis.garciaf@upm.es

² Dpto. Economía Agraria, Estadística y Gestión de Empresas, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid; jfuentespila@gmail.com

Resumen: La eficiencia energética es un tema de interés creciente en la industria agroalimentaria. Un problema habitual en este tipo de industrias es la escasez de información sobre los indicadores clave de rendimiento (Key Performance Indicators –KPIs- en inglés) en el aspecto energético, información que sería útil para que una industria individual evaluara si sus índices de eficiencia energética están dentro de los rangos habituales en su sector. El estudio se ha realizado en el marco de los proyectos europeos SCOoPE (<https://scoope.eu/>) y TESLA (<https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/tesla>). Se ha realizado en los sectores de la industria cárnica, láctea, secaderos de cereales y forraje, y la industria de transformación de productos hortofrutícolas. La Universidad Politécnica de Madrid, dentro del proyecto SCOoPE, identificó 50 parejas de indicadores eléctricos (parejas valor medio/ valor óptimo): 18 de tipo general, 7 del sector cárnico, 8 del sector lácteo, 7 del sector de secado, y 10 del sector hortofrutícola. Para cada indicador o KPI eléctrico se identificó el valor medio en el sector, y el valor óptimo o valor de la mejor industria del sector en ese indicador. La metodología utilizada incluyó una amplia revisión bibliográfica, y la validación de parte de los indicadores obtenidos en la revisión bibliográfica, con datos reales de 67 cooperativas. En cada caso se identificaron los factores implicados más relevantes. Se espera que la relación de indicadores obtenida será útil a los cuatro sectores estudiados para la evaluación de su eficiencia, y para la identificación de objetivos realistas en sus procesos de mejora energética.

Palabras clave: energía, sector cárnico, sector lácteo, secaderos, procesado de frutas y hortalizas

1. Introducción

La identificación de indicadores clave de rendimiento (KPIs en inglés), y de sus valores medios y óptimos, es un problema habitual en todo tipo de instalaciones, y también en la industria alimentaria. En algunos casos la información existente es antigua o muy escasa [1], [2], [3]. En parámetros eléctricos, Siemens [4] ha publicado una serie de indicadores clave respecto a las instalaciones eléctricas. El presente estudio es un trabajo preliminar, que trata de aportar información actualizada en este ámbito, para la mejora de la eficiencia energética en la industria agroalimentaria.

En el proyecto europeo SCOoPE (<https://scoope.eu/>), la Universidad Politécnica de Madrid identificó 50 parejas de indicadores eléctricos, que se describen en el presente trabajo:

https://scoope.eu/wp-content/uploads/2019/04/D.2.3_Electric-KPIs.pdf

En paralelo, dentro del mismo proyecto SCOoPE, el organismo de investigación italiano ENEA identificó 50 parejas de indicadores térmicos:

https://scoope.eu/wp-content/uploads/2017/03/D.2.2_Thermal-KPIs.pdf

2. Materiales y métodos

Dentro del proyecto SCOoPE, se elaboraron documentos con una descripción detallada de los procesos productivos de los cuatro sectores estudiados (industria cárnica, láctea, secaderos de cereales y forraje, y la industria de transformación de productos hortofrutícolas). Se realizaron mapas del flujo de valor (<https://scoope.eu/publications-reports/>) disponibles en la WEB del proyecto. Con esta información se comenzó una amplia revisión bibliográfica, parte de la cual figura al final de este documento. Con la revisión bibliográfica y consultas a expertos y empresas de los sectores implicados, se identificaron los indicadores más importantes, y se realizaron las primeras tablas de valores medios y óptimos. El KPI "medio" es el valor promedio identificado; El KPI "óptimo" es el valor más favorable del indicador que se encuentra en el sector o la industria, y la referencia para una evaluación comparativa.

Posteriormente se realizó una validación de parte de los indicadores obtenidos, con datos reales de 67 cooperativas (51 del sector de secaderos, y 16 del sector lácteo) de siete países europeos (Dinamarca, España, Francia, Grecia, Italia, Portugal y Suecia). Con esta información adicional, y nuevas consultas a expertos y empresas, se corrigieron parte de los KPIs obtenidos.

3. Resultados y discusión

En las tablas que aparecen a continuación se muestran las 50 parejas de indicadores eléctricos identificados en el estudio. En todas las tablas de este documento figuran los KPIs corregidos. Se puede encontrar información ampliada en:

https://scoope.eu/wp-content/uploads/2019/04/D.2.3_Electric-KPIs.pdf

Tabla 1. Valores medios y óptimos de indicadores eléctricos de ámbito general en la industria agroalimentaria.

| Indicador (KPI) | Valor medio / óptimo |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Coste de la electricidad | 0.12 / 0.05 euros/kWh |
| Factor de carga | 50% / 80% |
| Demanda mínima general | 30% / 0% |
| Factor de potencia | 0.95 / 1 |
| Costes fijos de la electricidad | 15% / 8% |
| Electricidad generada <i>in situ</i> | 25.5% / 100% |
| Electricidad generada de fuentes renovables | 24.9% / 100% |
| Consumo eléctrico en iluminación | 40 / 10 kWh/m ² año |
| Consumo eléctrico en aire comprimido por tonelada de producto | 5 / 2 kWh/t |
| Consumo eléctrico en climatización | 30 / 10 kWh/m ² año |
| Uso medio del volumen en cámaras frigoríficas | 0.7 / 2.5 t/m ³ |
| Potencia instalada por unidad de volumen de cámaras frigoríficas | 0.1 / 0.032 kW/m ³ |
| Consumo eléctrico por unidad de volumen de cámaras frigoríficas | 350 / 120 kWh/m ³ año |
| Eficiencia (COP) de una unidad de aire acondicionado | 4 / 6 |
| Eficiencia (COP) de una enfriadora | 4 / 6 |
| Eficiencia (COP) de una bomba de calor | 4 / 6 |
| Rendimiento de un compresor eléctrico | 0.8 / 0.9 |
| Rendimiento de un motor eléctrico | 0.85 / 0.99 |

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

Tabla 2. Indicadores eléctricos del sector lácteo, con valores medios y óptimos. [5] entre otras fuentes

| Indicador (KPI) | Valor medio / óptimo |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Consumo eléctrico total (se incluyen procesos auxiliares) por m ³ de leche UHT | 110 / 55 kWh/m ³ |
| Consumo eléctrico total por m ³ de leche pasteurizada | 50 / 20 kWh/m ³ |
| Consumo eléctrico total por m ³ de leche desnatada | 120 / 60 kWh/m ³ |
| Consumo eléctrico total por m ³ de leche condensada | 120 / 60 kWh/m ³ |
| Consumo eléctrico total por tonelada de leche en polvo | 800 / 400 kWh/t |
| Consumo eléctrico total por m ³ de yogur | 80 / 50 kWh/m ³ |
| Consumo eléctrico total por tonelada de queso | 500 / 350 kWh/t |
| | para queso fresco |
| | 1200 / 800 kWh/t |
| | para queso semicurado |
| Consumo eléctrico total por m ³ de mantequilla | 220 / 90 kWh/m ³ |

Tabla 3. Indicadores eléctricos del sector de secado de cereales y forraje, con valores medios y óptimos. [6] y [7] entre otras fuentes

| Indicador (KPI) | Valor medio / óptimo |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Consumo eléctrico total (se incluyen procesos auxiliares) por tonelada de agua evaporada en secado de maíz | 200 / 80 kWh/t agua |
| Consumo eléctrico total por tonelada de agua evaporada en secado de arroz | 1000 / 80 kWh/t agua |
| Consumo eléctrico total por tonelada de agua evaporada en secado de cereales de invierno | 400 / 80 kWh/t agua |
| Consumo eléctrico total por tonelada de agua evaporada en secado de forraje | 400 / 40 kWh/t agua |
| Consumo eléctrico en secado, en el proceso de aspiración, por tonelada de producto | 2 / 1 kWh/t |
| Consumo eléctrico en secado, en el proceso de manejo, por tonelada de producto | 2 / 1 kWh/t |
| Consumo eléctrico en secado, en el proceso de ventilación, por tonelada de producto | 4 / 2 kWh/t |

Tabla 4. Indicadores eléctricos del sector de procesado de frutas y hortalizas, con valores medios y óptimos. [8] entre otras fuentes

| Indicador (KPI) | Valor medio / óptimo |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Consumo eléctrico total (se incluyen procesos auxiliares) por tonelada de concentrado de tomate | 200 / 100 kWh/t |
| Consumo eléctrico total por tonelada de tomate cortado en dados | 60 / 30 kWh/t |
| Consumo eléctrico total por tonelada de tomate fresco | 40 / 20 kWh/t |
| Consumo eléctrico total por tonelada de zumo de naranja | 135 / 60 kWh/t |
| Consumo eléctrico total por tonelada de zumo de fruta | 60 / 30 kWh/t |
| Consumo eléctrico total por tonelada de fruta en conserva | 80 / 40 kWh/t |
| Consumo eléctrico total por tonelada de zumo concentrado congelado | 800 / 400 kWh/t |
| Consumo eléctrico total por tonelada de fruta congelada | 600 / 300 kWh/t |
| Consumo eléctrico total por tonelada de patata congelada | 600 / 300 kWh/t |
| Consumo eléctrico total por tonelada de puré de fruta | 1200 / 800 kWh/t |

Tabla 5. Indicadores eléctricos del sector de procesado de productos cárnicos, con valores medios y óptimos. [9] entre otras fuentes

| Indicador (KPI) | Valor medio / óptimo |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Consumo eléctrico total (se incluyen procesos auxiliares) por tonelada de carcasa de porcino | 300 / 36 kWh/t canal |
| Consumo eléctrico total por tonelada de carcasa de vacuno | 220 / 36 kWh/t canal |
| Consumo eléctrico total por tonelada de carcasa de ovino | 356 / 36 kWh/t canal |
| Consumo eléctrico total por tonelada de carcasa de aves de corral | 100 / 60 kWh/t canal |
| Consumo eléctrico total por tonelada de carcasa de conejo | 100 / 60 kWh/t canal |
| Consumo eléctrico total por tonelada de jamón curado | 500 / 300 kWh/t |
| | 60 / 50 kWh/t producto terminado (cortado y deshuesado) |
| Consumo eléctrico total por tonelada de carne cortada, deshuesada y congelada | + 300 / 250 kWh/t producto terminado (vacuno, congelación) |
| | + 400 / 350 kWh/t producto terminado (porcino, congelación) |
| | + 900 / 800 kWh/t producto terminado (aves, congelación) |

En la validación de los indicadores, con datos reales de 67 cooperativas, se obtuvieron datos reales de KPIs, información que se añadió al proceso. Como ejemplos, se muestran a continuación dos gráficas con KPIs eléctricos en la producción de leche y queso:

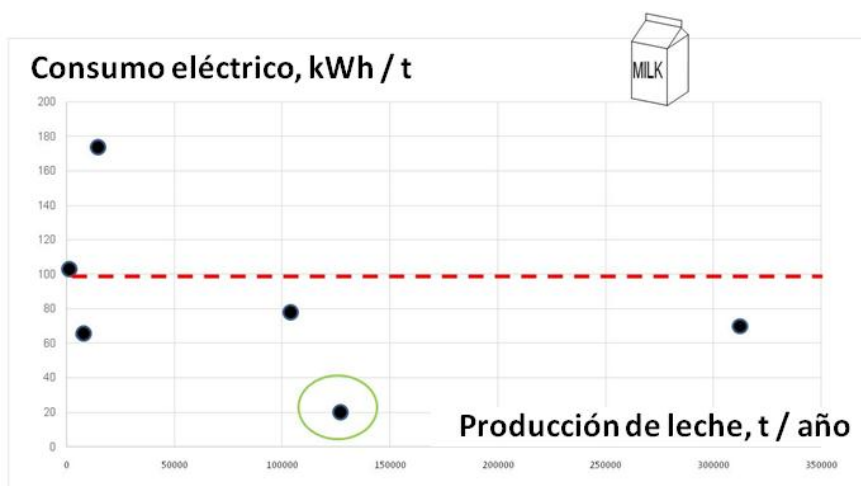


Figura 1. Valores de los KPIs reales en la producción de leche, en seis cooperativas del estudio. Consumo eléctrico total, incluyendo consumos eléctricos de procesos auxiliares.

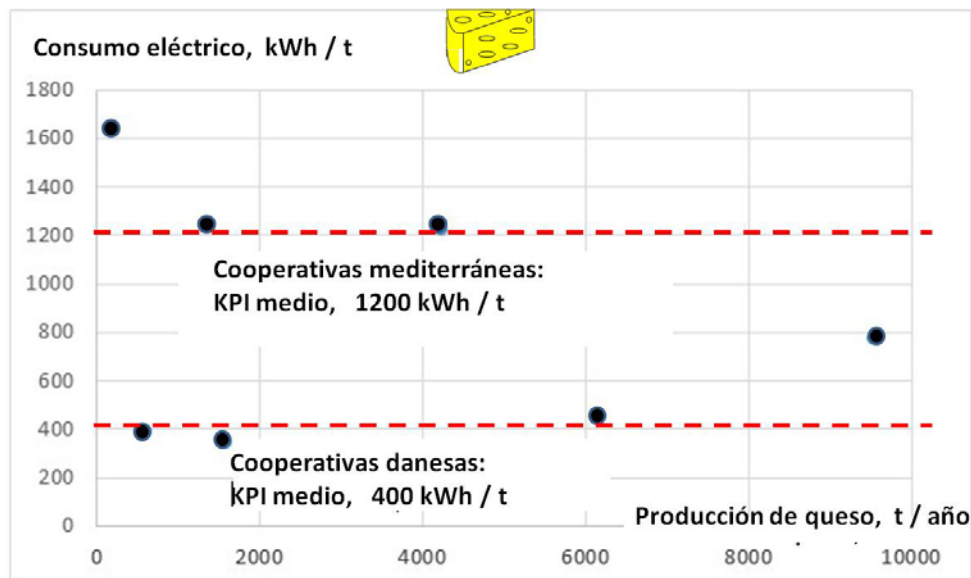


Figura 2. Valores de los KPIs reales en la producción de queso, en siete cooperativas del estudio. Consumo eléctrico total, incluyendo consumos eléctricos de procesos auxiliares.

Comparando los valores iniciales de la revisión bibliográfica, con los valores obtenidos en las industrias, se ha podido constatar que los valores en industrias reales muestran una gran dispersión, encontrándose a veces valores muy elevados respecto a los valores de la revisión; y que parte de esta dispersión se debe a las variaciones en la tipología del producto. Como ejemplo, y como cabía esperar, cada tipo de queso tiene sensibles diferencias respecto al KPI de la energía eléctrica consumida por tonelada de producto. Esto complica la elaboración de un listado útil de KPIs, aunque se pueden definir rangos de valores habituales.

4. Conclusiones

El presente estudio es un trabajo preliminar, que trata de aportar información, en un marco de colaboración amplio que incluya el tejido productivo y los sectores que lo apoyan (como las entidades gubernamentales y los organismos académicos y de investigación), para la mejora de la eficiencia energética en la industria agroalimentaria. Se espera que la relación de indicadores obtenida será útil a los cuatro sectores estudiados para la evaluación de su eficiencia, y para la identificación de objetivos realistas en sus procesos de mejora energética.

5. Agradecimientos

El presente estudio se ha realizado dentro del proyecto europeo SCOoPE, coordinado por Cooperativas Agroalimentarias de España. Este proyecto ha sido financiado por el programa de investigación e innovación Horizon 2020 de la Unión Europea en virtud del *grant agreement* N° 695985.

Referencias

1. FAO Corporate Document Repository. Energy requirements in food processing. 1992. <http://www.fao.org/docrep/004/t0515e/T0515E03.htm>
2. California Energy Commission. 2008. California's Food Processing Industry. Energy efficiency initiative: adoption of industrial best practices. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.183.9144&rep=rep1&type=pdf>
3. European Commission. Reference document on best available techniques for energy efficiency. February 2009. http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/ENE_Adopted_02-2009.pdf

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA

3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

4. Siemens Retail & Commercial Systems. Managing energy using key performance indicators. White Paper, June 2014. <http://w3.usa.siemens.com/buildingtechnologies/us/en/energy-efficiency/retail-and-commercial-systems/pages/manage-energy-using-kpi.aspx>
5. Agencia Extremeña de la Energía. Eficiencia energética en empresas del sector agroalimentario. 2014. http://www.agenex.net/guias-altercexa/2_EF_ENERG_EN_EMPRESAS_DEL_SECTOR_AGROALIMENTARIO.pdf
6. Billiris M.A., Siebenmorgen T.J., Baltz G.L. Energy use and efficiency of rice-drying systems I. On-farm cross-flow dryer measurements. *Applied Engineering in Agriculture*. 2014, 30(2): 205-215
7. Billiris M.A., Siebenmorgen T.J. Energy use and efficiency of rice drying systems II. Commercial, cross-flow dryer measurements. *Applied Engineering in Agriculture*. 2014, 30(2): 217-226
8. Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California. Energy efficiency improvement and cost saving opportunities for the fruit and vegetable processing industry. 2008. <https://www.energystar.gov/ia/business/industry/Food-Guide.pdf>
9. Nunes J., Silva P.D., Andrade L.P., Gaspar P.D. Key points on the energy sustainable development of the food industry – Case study of the Portuguese sausages industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016, 57: 393–411