

CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA INDUSTRIA AUXILIAR DE LA AGRICULTURA BAJO INVERNADEROS EN LA PROVINCIA DE ALMERÍA

CHARACTERIZATION OF ELECTRICITY DEMAND IN THE AUXILIARY INDUSTRY OF THE GREENHOUSES AGRICULTURE IN THE PROVINCE OF ALMERIA

Marina Martínez Molina^a, Antonio J. Vizcaino Pérez^b, Manuel Pérez García^c, Francisco Rodríguez Díaz^{a,c}

^a Universidad de Almería. Departamento de Informática. Carretera de Sacramento, Calle San Urbano, s/n - 04120 La Cañada (Almería). Tlfno: +34 950 214532.

^b VALENER. Compañía Energética Meridional S.L. Calle Eire 12, 2 – 04720 Aguadulce (Almería).

^c CIESOL. Centro de Investigación en Energía Solar. Universidad de Almería. Carretera de Sacramento, Calle San Urbano, s/n - 04120 La Cañada (Almería)

Recibido: DD/MM/AA – Revisado: DD/MM/AA – Aceptado: DD/MM/AA - DOI: <https://dx.doi.org/10.6036>

ABSTRACT:

The greenhouses in the province of Almería, one of the largest agro-industrial clusters in the world, have been the subject of various technical and environmental analysis in which, until now, electricity demand has not been included in sufficient depth and detail. This circumstance is justified by the fact that productive activity on farms, in its current configuration, cannot be considered as highly demanding energy and, especially, because it has not been considered the impact on the balance sheets of the set of industries that provide auxiliary services to greenhouses.

This work presents, in the first place, a general approach to the energy context of the sector, identifying and evaluating some of the basic indicators that determine the relevance of the activity, especially in a regional context. Additionally, the need for the study is justified based on the forecasts of growth in demand due to the process of technification of the farms currently underway.

Next, and based on the availability of an extensive data set of electricity consumption of 11 nuclei of industrial activity of diverse nature, but all of them providers of auxiliary services to intensive agriculture, the main seasonal and daily patterns of this demand has been studied. The aim has been characterizing such variable and, from there, to establish realistic and verifiable reference values when carrying out aggregate studies of the environmental impact and ecological footprint of intensive agriculture in Almería. In parallel, this study has served to advance design criteria that may favor the adoption of photovoltaic systems for the energy supply of this type of company.

The consumptions analyzed cover a wide range of accumulated demands, between 0.2 GWh / a and 5.41 GWh / a and have shown to have a strong seasonal dependence related to the growing stages of the products they serve.

Keywords: auxiliary agriculture industry, energy efficiency, agro-industrial district, photovoltaic solar energy

RESUMEN:

Los invernaderos de la provincia de Almería, uno de los mayores clústeres agroindustriales del mundo, han sido objeto de diversos análisis técnicos y medioambientales en los que, hasta ahora, la demanda eléctrica no ha sido incluida con la necesaria profundidad y detalle. Esta circunstancia está justificada por el hecho de que la actividad productiva en las explotaciones, en su configuración actual, no puede considerarse como altamente demandante de energía y, especialmente, porque no se ha tenido en cuenta el impacto en los balances del conjunto de industrias que prestan servicios auxiliares a los invernaderos.

Este trabajo presenta en primer lugar una aproximación general al contexto energético de sector, identificando y valorando algunos de los indicadores básicos que determinan la relevancia de la actividad, especialmente en un contexto regional. Adicionalmente se justifica la necesidad del estudio en base a las previsiones de crecimiento de la demanda debida al proceso de tecnificación de las explotaciones actualmente en marcha. A continuación, y sobre la base de la disponibilidad de un extenso conjunto de datos de consumo eléctrico de 11 núcleos de actividad industrial de naturaleza diversa, pero todo ellos proveedores de servicios auxiliares a la agricultura intensiva, se han analizado las principales pautas estacionales y diarias de dicha demanda con el objetivo caracterizarla de forma precisa y, a partir de ahí, establecer valores de referencia realistas y contrastables a la hora de realizar estudios agregados del impacto ambiental y huella ecológica de la agricultura intensiva almeriense. En paralelo este estudio ha servido para adelantar criterios de diseño que puedan favorecer la adopción de sistemas fotovoltaicos para el suministro energético de este tipo de empresas.

Los consumos de las industrias analizadas cubren un amplio rango de demandas acumuladas, entre 0,2 GWh/a y 5,41 GWh/a y han demostrado presentar fuertes dependencias estacionales y diarias relacionadas con las propias etapas de desarrollo de los procesos de cultivo de los productos a los que dan servicio.

Palabras clave: industria auxiliar de la agricultura, eficiencia energética, distrito agroindustrial, energía solar fotovoltaica

1.- INTRODUCCIÓN

La agricultura actual, al igual que otras actividades dedicadas a proveer la demanda global de alimentos, se enfrenta a dos retos de gran relevancia. El primero de ellos es el incremento de la productividad de las explotaciones para poder abordar las necesidades de una población mundial creciente. El segundo es hacer frente a los requerimientos de un mercado globalizado que establece condiciones difícilmente asumibles para la agricultura tradicional como, por ejemplo, el control preciso del desarrollo de las campañas productivas o unos altos niveles de estandarización [1]. Estos dos retos están convirtiendo la agricultura en una actividad de naturaleza industrial, siendo una de las manifestaciones más habituales la aparición de agregaciones geográficas de explotaciones de naturaleza intensiva, en la que los terrenos cultivados, sus servicios e industrias auxiliares y los núcleos de población ocupan un área común. Este es el caso de la agricultura bajo plástico de la provincia de Almería, que, con más de 32.000 ha de invernadero; localizadas en su mayor parte en su franja litoral sur, en el denominado Campo de Dalías; se ha convertido en uno de los mayores clústeres de producción hortofrutícola del mundo. La provincia de Almería produce anualmente más de 3.5 Mt de frutas y verduras, especialmente tomate, pimiento, sandía, pepino y calabacín, de las que 2.7 Mt se dedican a la exportación a los mercados europeos [2]. Esta producción en fresco procedente de los invernaderos, en su gran mayoría de propiedad familiar, se procesa y comercializa a través de tres tipos de empresas: alhóndigas, cooperativas y sociedades agrarias de transformación. El primer tipo tiene un carácter privado y los dos últimos un carácter asociativo. Estas empresas ofrecen sus servicios en grandes instalaciones denominadas Centrales Hortofrutícolas, que alojan maquinaria de clasificación y envasado de los productos recibidos procedentes de los invernaderos y cámaras de frigo-conservación. A estas centrales se deben de añadir el conjunto de industrias y servicios auxiliares necesarios para, por ejemplo, la fabricación de plásticos para las cubiertas de los invernaderos, la producción de semillas y plántones, la fabricación de embalajes, la fabricación e instalación de sistemas de riego, e incluso, en un futuro y dado el riesgo de sobreexplotación de las fuentes de suministro hídrico, para la desalación de agua [3].

De acuerdo a lo anterior, el actual escenario de costes energéticos crecientes y la necesidad de la consideración del impacto ambiental de todos los procesos implicados en la producción hortofrutícola, hacen interesante la caracterización de la demanda de energía de este sector en su conjunto, con el objetivo de contribuir a la valoración de sus indicadores básicos de funcionamiento así como para contar con una base de cálculo adecuada para promover la sustitución del actual modelo de suministro energético por un modelo basado en fuentes renovables. Estos estudios se ven reforzados en la actualidad por la madurez comercial de algunas de estas fuentes, como es el caso de energía solar fotovoltaica, y por las posibilidades que ofrece la agregación geográfica para la implantación microrredes energéticas inteligentes.

En este contexto hay que decir, sin embargo, que los estudios de la huella ecológica vinculada al consumo de energía de los sistemas intensivos de producción hortofrutícola de la provincia de Almería se han centrado, primordialmente en la etapa de cultivo (control de clima, operaciones,...) y que los mismos, dadas las excelentes condiciones climáticas y la suficiencia de los medios de cultivo básicos existentes han tenido resultados positivos [4]. A esto hay que añadir el bajo impacto de los costes energéticos en la estructura de costes anuales de producción hortofrutícola, de solo un 2% [2]. Ambas circunstancias enmascaran tradicionalmente la consideración del insumo energético en el sector. Sin embargo, esta situación no es del todo aceptable, ya que se trata de una aproximación parcial a la cuestión al no estar siendo considerado el consumo de la industria auxiliar y al no tenerse en cuenta el efecto de la acumulación de explotaciones, que podría convertir este consumo de energía en un importante impacto agregado.

Aunque en términos acumulados la provincia de Almería, con el 9% del total de la región, no debe considerarse como una de las zonas de mayor consumo eléctrico de Andalucía, el de su sector agrícola, con un valor de más 340 GWh en 2019 según el Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía (SIMA) es el mayor de toda la comunidad autónoma. Esta circunstancia hace que su repercusión en el consumo global de energía de la propia provincia sea superior al 11%, tres veces mayor que el impacto de este mismo sector en el consumo del resto de las provincias andaluzas y españolas. De este consumo eléctrico para usos agrícolas de la provincia de Almería, también según el SIMA, más del 51% corresponde a la demanda del Campo de Dalías que, como se ha dicho, es la zona con mayor acumulación de invernaderos. En términos normalizados con relación a la superficie invernada, el campo de Dalías ofrece un resultado de consumo anual en el orden de 1 kWh/m², valor que puede considerarse como muy reducido y que, además, se corresponde con el hecho de que la potencia media instalada por explotación sea solamente de 7.8 kW, dedicados normalmente a alimentar los cabezales que impulsan el agua en los sistemas de riego por goteo de alta eficiencia instalados en los invernaderos [5].

No obstante, estas cifras deben de considerarse como un umbral mínimo, ya que tal como se indica en [4] y [5], son relativamente escasas las explotaciones que incluyen tecnologías como la ventilación mecánica y en general, otras opciones avanzadas de control y automatización del clima y de la gestión de producción altamente demandantes de electricidad que podrían, por un lado, duplicar la producción pero también, por otro lado, llegar a incrementar en un orden de magnitud el actual indicador de consumo por unidad de superficie cultivada [6]. En este sentido, las exigencias de intensificación de la producción hacen pensar que este

escenario de bajos consumos unitarios debe de ir convirtiéndose paulatinamente en un escenario de mayor demanda en la medida de que la tendencia actual es que los invernaderos están ya incorporando los sistemas anteriormente mencionados.

Fuera del ámbito estrictamente agronómico, en Andalucía, según el Registro Andaluz de Industrias Agroalimentarias (GRIA) a la fecha de este trabajo, existen 883 industrias con el código CNAE1039 - Otro procesado y conservación de frutas y hortalizas. Del total de este tipo de empresas, 257, el 29%, se ubican en la provincia de Almería. Y dentro de este porcentaje, el 55% se encuentran en la comarca del campo de Dalías. A modo de referencia previa, un estudio de auditoría de 10 centrales hortofrutícolas españolas realizado en 2010 por la asociación Cooperativas Agroalimentarias [6] estableció un consumo energético promedio por unidad de producción procesada en el orden de 50 kWh/t. Si se relaciona este valor con una producción normalizada para el caso que nos ocupa del orden 10 kg/m², obtenida de dividir la producción total por la superficie invernada a partir de los datos incluidos en [2], se obtendría como resultado un incremento del 50% del indicador de consumo energético anual por metro cuadrado para el cultivo de los invernaderos anteriormente mencionado. Este valor aproximado permite avanzar la influencia de estas labores básicas de clasificación y conservación de los productos previas a su transporte, que lógicamente, se hará mayor en términos agregados tanto si se extiende la superficie de cultivo como si se incrementa la producción por unidad de superficie cultivada.

Pero éste no es el único consumo suplementario de este clúster, pues a los centros de procesado y conservación hay que sumar 152 industrias auxiliares (semillas, sustratos, plásticos y mallas, producción integrada, maquinaria agrícola, servicios avanzados, construcción de invernaderos, biotecnología, nutrición vegetal y fitosanitarios, envases y embalajes, riego y clima y semilleros), con una facturación anual en el orden de los 1.400 M€ y más de 6.000 empleados, la mayor parte de ellos cualificados. Algunas de estas industrias de hecho tienen una naturaleza fabril y, por tanto, pueden convertirse en focos de alto consumo de electricidad al entorno bajo estudio [2]. Aun así, con una demanda anual acumulada del orden de 90 GWh, según la información del SIMA, el consumo eléctrico del sector industrial del Campo de Dalías queda muy lejos de los consumos de los polos industriales de, por ejemplo, las provincias de Huelva o Cádiz.

En este trabajo, gracias a la disponibilidad de los datos horarios de consumo de electricidad de un conjunto de empresas de diferente tipo ubicadas en el Campo de Dalías y vinculadas de forma directa con el sector de la producción hortofrutícola, se realiza una contribución a la caracterización de dicha variable con el objetivo de establecer valores de referencia realistas y contrastables a la hora de realizar estudios agregados del impacto ambiental y huella ecológica de la agricultura intensiva almeriense. En paralelo, este estudio debe servir para identificar determinadas pautas dinámicas de interés de dicho consumo a distintas escalas temporales y, a través de estas, aportar criterios de diseño que conduzcan a soluciones técnicas óptimas y/o alternativas más eficientes para el abastecimiento energético de este tipo de empresas.

La principal novedad aportada por este trabajo es el hecho de tratar de forma directa datos operacionales reales de industrias del sector, cuestión ésta que da más consistencia a los resultados ya que, hasta la fecha, los acercamientos realizados al análisis de la demanda de electricidad de este tipo de explotaciones solo se han ocupado de las demandas propias de las etapas de cultivo en el invernadero y, en la mayoría de los casos, dichas demandas han sido estimadas de forma indirecta a través de estimaciones de carga de los equipos necesarios para el cumplimiento de las demandas hídricas o térmicas, cuyos valores de rendimiento deberían ser contrastados con los de los equipos reales.

Después de esta introducción, en la que se justifica el trabajo y se avanzan sus principales objetivos, se incluye un apartado de materiales y métodos en el que se describen el marco de actuación en el que se ha desarrollado y las fuentes de datos utilizadas. A continuación, en el apartado de resultados y discusión se exponen los análisis específicos realizados para, finalmente, llegar al apartado de conclusiones en el que se resumirán los principales logros alcanzados.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.- MARCO DE TRABAJO

Este estudio se enmarca en el proyecto "Control y gestión óptima de recursos heterogéneos en distritos productivos agroindustriales integrando energías renovables" (CHROMAE) (DPI2017-85007-R) [8], financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER); cuyos objetivos principales son:

- Caracterización y modelado de los flujos de recursos e interrelaciones entre los elementos del distrito de la Figura 1, que determinan la actividad productiva, basándose en el paradigma de los sistemas multigeneración distribuida y multienergía.
- Desarrollo de estrategias de control de las variables descriptivas de funcionamiento de los elementos del distrito para satisfacer los objetivos cumpliendo especificaciones técnicas y minimizando el uso de los recursos.
- Desarrollo de estrategias de control y gestión integral y óptima de recursos heterogéneos necesarios para el funcionamiento de los elementos que constituyen un distrito agroindustrial utilizando técnicas de control que tengan en cuenta aspectos tanto económicos y medioambientales, como el uso eficiente de los mismos.

Concretamente, este artículo se centra en la necesidad de realizar un análisis preliminar del consumo eléctrico de la industria auxiliar en un distrito agroalimentario para obtener patrones y modelos comportamiento que permita realizar un reparto óptimo de recursos entre los diferentes sistemas del hub.

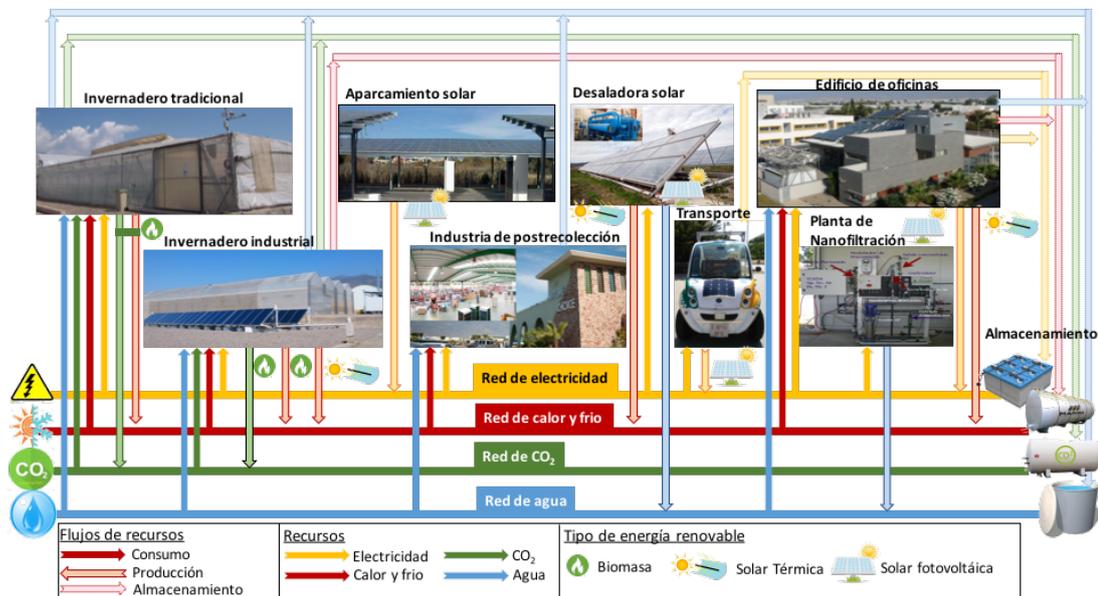


Figura 1. Flujo de recursos heterogéneos entre los diferentes elementos del distrito agroindustrial. Fuente [7]

2.2.- CASOS DE ESTUDIO

Como datos de partida se dispone de un extenso conjunto de registros de consumo eléctrico horario de varias industrias auxiliares representativas de la agricultura almeriense provenientes de sus contadores. A efectos de preservar la confidencialidad de la información técnica y comercial de dichas industrias, sólo se aportarán sus datos de actividad. Los registros de datos, una vez chequeados, ordenados y filtrados para este trabajo, se corresponden a once centros de trabajo de cinco empresas con distinta actividad. Todos los centros de trabajo están ubicados en la provincia de Almería (Campo de Dalías), a excepción de uno de ellos que se encuentra en la comunidad autónoma de Murcia que se ha descartado para los análisis, pero que constituye una referencia adicional. Las cinco empresas, según el Código de Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE) pueden adscribirse a cuatro actividades económicas, todas ellas pertenecientes al clúster agroindustrial:

Las dos primeras son grandes comercializadoras (CNAE 4631 - Comercio al por mayor de frutas y hortalizas), que aportan datos de cinco centrales hortofrutícolas: (CH-1 a CH-5), la tercera es un fábrica envases por inyección de plástico (CNAE 2222 - Fabricación de envases y embalajes de plástico) que aporta dos periodos de datos (FP1 y FP2), la cuarta es una empresa de biotecnología dedicada a la producción de insectos auxiliares para la polinización natural y el control de plagas (CNAE 7219 - Otra investigación y desarrollo experimental en ciencias naturales y técnicas (BF) y la quinta es una empresa fabricante de semillas (CNAE 4621 - Comercio al por mayor de cereales, tabaco en rama, simientes y alimentos para animales) con datos de tres de sus centros de trabajo (CS-1 a CS-3). La Tabla 1 contiene los datos de las empresas, incluyendo una primera aproximación al consumo eléctrico a través de sus promedios anuales de demanda eléctrica y los valores extremos de demanda horaria.

Más específicamente, la base de datos está compuesta por 94392 registros procedentes, como se ha dicho, de lecturas de sus contadores, donde los periodos son heterogéneos para los distintos centros de actividad industrial y abarcan un intervalo comprendido entre el 14/10/2013 al 30/09/2018, con un tiempo de muestreo de una hora. Además, el historial de datos se ha dividido en tres subconjuntos: datos empleados para el análisis de consumo eléctrico en la estación de verano (15456 registros), para el análisis de consumo en la estación de invierno (12960 registros) y el resto se han empleado en analizar los perfiles de consumo mensuales, semanales, horarios, así como la energía anual acumulada para cada una de las empresas implicadas (65976 registros). Esta división se ha realizado manualmente debido a las discontinuidades en las series cronológicas y tratando de obtener una cantidad equilibrada de datos para cada subconjunto. El tamaño de cada grupo de datos puede comprobarse en la Figura 2.

Tipo de empresa	Centro de trabajo	CNAE	Demanda horaria máxima [kWh]	Demanda horaria mínima [kWh]	Demanda anual [GWh]
CH	CH-1	4631	558	43	1.46
	CH-2		222	13	0.67
CH	CH-3		1121	73	4.42
	CH-4		168	8	0.55
	CH-5		588	23	1.62
FP	FP-1	2222	1451	5	5.41
	FP-2		1448	10	5.31
BF	BF	7219	237	49	0.92
CS	CS-1	4621	145	6	0.34
	CS-2		100	1	0.20
	CS-3		186	44	0.82

Tabla 1. Datos básicos de las empresas bajo estudio.

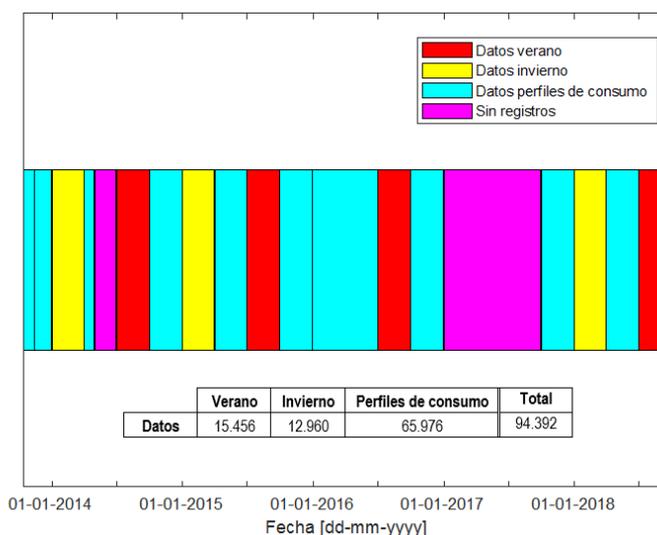


Figura 2. Distribución de datos sobre el conjunto.

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En una primera aproximación, el registro de datos disponible puede considerarse representativo en cuanto a los distintos tipos de actividad industrial presentes en la zona bajo estudio. En cuanto a las centrales hortofrutícolas, como se ha dicho uno de los elementos de mayor relevancia en el clúster, se cuenta con los datos de cinco de ellas, abarcando un amplio margen de operación con demandas anuales entre 0.55 GWh y 4.41 GWh. Ambos datos se corresponden, según la clasificación de las centrales hortofrutícolas españolas incluida en [6] a centrales de consumo medio-alto y muy alto, respectivamente. Esta es una característica propia de la zona en la que el hecho de que la mayor parte de la producción esté dedicada a la exportación determina que las transformadoras con mayor importancia deban de contar con recursos que solo son accesibles a través de una economía de escala.

El periodo de mayor actividad en estas centrales hortofrutícolas se corresponde principalmente con las fases de recolección de los diferentes ciclos de cultivo de cada uno de los productos a procesar (tomate, pimiento, sandía, pepino,...). Por ejemplo, para el caso del tomate, la recolección del ciclo corto de primavera se produce entre mediados de abril y finales de junio y la correspondiente al ciclo corto de otoño, entre mediados de noviembre y finales de febrero. Para el caso del tomate cultivado en ciclo largo, la recolección se extiende desde mediados de noviembre hasta finales de junio, disminuyendo la actividad en los meses de julio y agosto.

Además de estas tendencias estacionales, es interesante destacar para las centrales hortofrutícolas la existencia de pautas diarias asociadas a determinadas particularidades de su actividad. Por ejemplo, si la actividad principal de la central hortofrutícola es la de clasificación de los frutos, fase previa a su envasado y categorización comercial, el proceso se realiza de forma manual por operarios que extraen dichos frutos de cintas transportadoras. También es habitual que este tipo de industrias cuente con un importante parque propio de carretillas y otro tipo de vehículos eléctricos para la recogida, distribución y apilamiento final de los embalajes en los medios de transporte, principalmente camiones.

Por último, destacar también, que el mayor consumo anual de los registrados, 5,41 GWh, corresponde a la industria de inyección de plástico para la fabricación de embalajes, en la que es esperable una pauta horaria más estable al tratarse de un proceso totalmente automatizado y programable, de acuerdo con la maquinaria necesaria. En cuanto a las industrias de fabricación de semillas y de insectos auxiliares, pueden tener pautas temporales específicas relacionadas, a su vez, con las propias secuencias de los ciclos de cultivo y que no tienen por qué ser coincidentes con las del resto de industrias.

3.1.- ANÁLISIS ANUAL

En esta sección se hace una primera aproximación a la caracterización temporal de la demanda exponiendo algunas de las diferentes secuencias anuales de esta variable observadas. A continuación, se representa en la Figura 3 la curva horaria de potencia y consumo acumulado por día para los centros de trabajo de la primera de las dos empresa hortofrutícolas (CH-1 y CH-2) con una demanda anual de 1,46 y 0,67 GWh respectivamente, y en la Figura 4, los registros de la industria de inyección de plástico (FP-1 y FP-2), mostrando un registro completo de dos años consecutivos con valores similares de consumo acumulado (5,41 y 5,31) GWh cada uno.

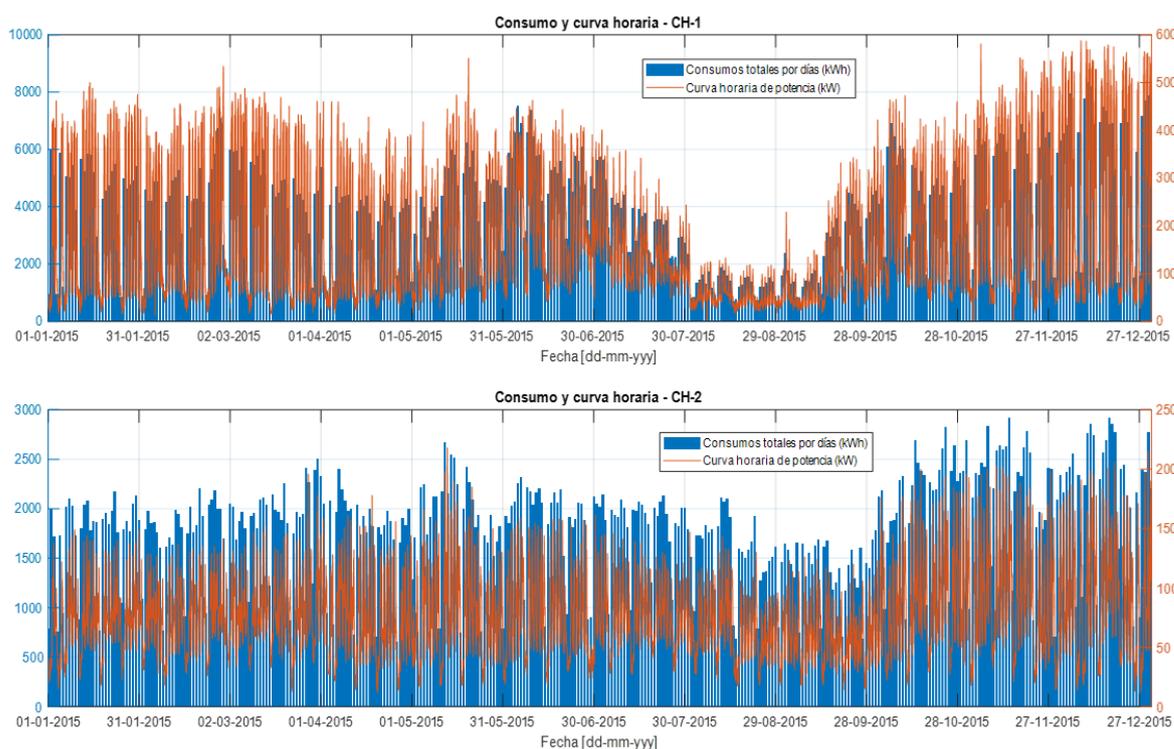


Figura 3. Perfil de consumo anual para centrales hortofrutícolas.

Para las centrales hortofrutícolas en las dos gráficas presentadas, es fácilmente observable la repercusión de los ciclos de cultivo en el consumo eléctrico, que se hace mayor en los periodos de recolección adelantados anteriormente. La bajada de actividad en verano se hace mucho más evidente en la gráfica correspondiente a la central hortofrutícola de mayor tamaño. Las gráficas también adelantan una lógica secuencia semanal. Con relación a la secuencia de consumo eléctrico de la industria de inyección de plástico, de la que se cuenta con el registro completo de dos años, se observa también la influencia de la demanda de embalajes en los meses correspondientes a los meses de recolección, con máximos que trascurren entre septiembre y marzo.

En este punto hay que decir que aunque, como se ha dicho, existen distintos tipos de ciclos de cultivo, son precisamente los que concentran su producción en los meses de invierno los que mayor relevancia tienen para el sector ya que se trata de los meses en los que prácticamente no existen otras zonas productoras que puedan competir en cantidad y organización con la producción invernada de la provincia de Almería y en los que, los precios de los productos, mayormente dedicados a la exportación a países europeos, alcanzan sus valores más altos. Esta circunstancia de una mayor demanda eléctrica acumulada en invierno condiciona fuertemente, como se verá más adelante, la adopción de soluciones de autoconsumo basadas en energía solar fotovoltaica, ya que es esperable un alto nivel de producción excedentaria en los meses de verano que en un escenario de compensación funcional debería de poder balancearse con los consumos de otras áreas cercanas dedicadas al turismo o incluso por el de otras industrias locales con consumos desfasados con relación a los de las centrales hortofrutícolas.

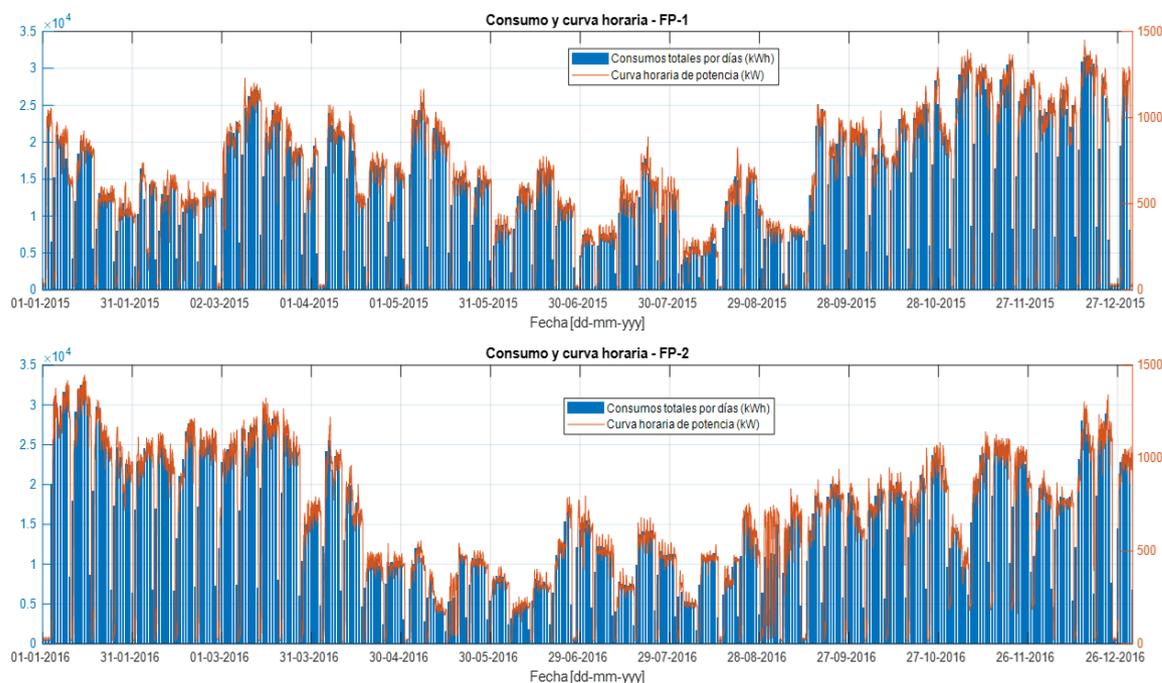


Figura 4. Perfil de consumo anual para industria de fabricación de embalajes y envases de plástico.

3.1.- ANÁLISIS DE PERFILES HORARIOS

Junto a los patrones anuales y mensuales detectables en el apartado anterior, resulta de mucho interés el estudio de los patrones horarios con el fin de establecer comportamientos y pautas específicas de las que permitan extraer conclusiones a efectos de modelado de la variable y a la hora de diseñar sistemas de generación renovables cuyo objetivo sea incrementar cierto porcentaje de autosuficiencia energética a las industrias. A continuación, se muestran y analizan algunas gráficas descriptivas.

La Figura 5 corresponde a los casos CH-1 y CH2. El caso CH-1 se trata de una central de manipulado, donde los agricultores llevan su producción una vez recolectada y en los que los frutos, a través de un trasiego por cintas transportadoras, son seleccionados de forma manual para su clasificación por calidad, tamaño y color para conseguir un envasado y categorización comercial precisa. Esta labor, hasta la fecha, se realiza, como se ha comentado, de forma manual y esto determina que, durante las campañas, el número de operarios sea muy elevado y deba de proveerse al personal de los servicios y descansos establecidos. La gráfica representa perfectamente la interrupción de la actividad de las cintas transportadoras en el horario de comida del personal y refleja claramente lo adelantado en el apartado anterior sobre la diferencia en consumos, en este caso horarios, para los distintos meses en función de del ciclo de cultivo (máximo consumo en los meses de recolección).

La gráfica para el caso CH-2 introduce un elemento más de análisis que es correspondiente a la aparición de un consumo extra al final de la jornada laboral, que puede explicarse a partir del consumo correspondiente a la recarga de carretillas eléctricas, transpaletas o apiladoras, elementos de uso muy habitual en muchas de estas centrales. De los datos observados, asumiendo unos datos por unidad de batería de tracción comercial de demanda de 48 V y 480 Ah, para el caso de las centrales hortofrutícolas de menor tamaño, la curva de demanda observada permite estimar una carga máxima de 15 carretillas por día y para el caso de las centrales de mayor tamaño, ese valor máximo podría alcanzar las 75 carretillas.

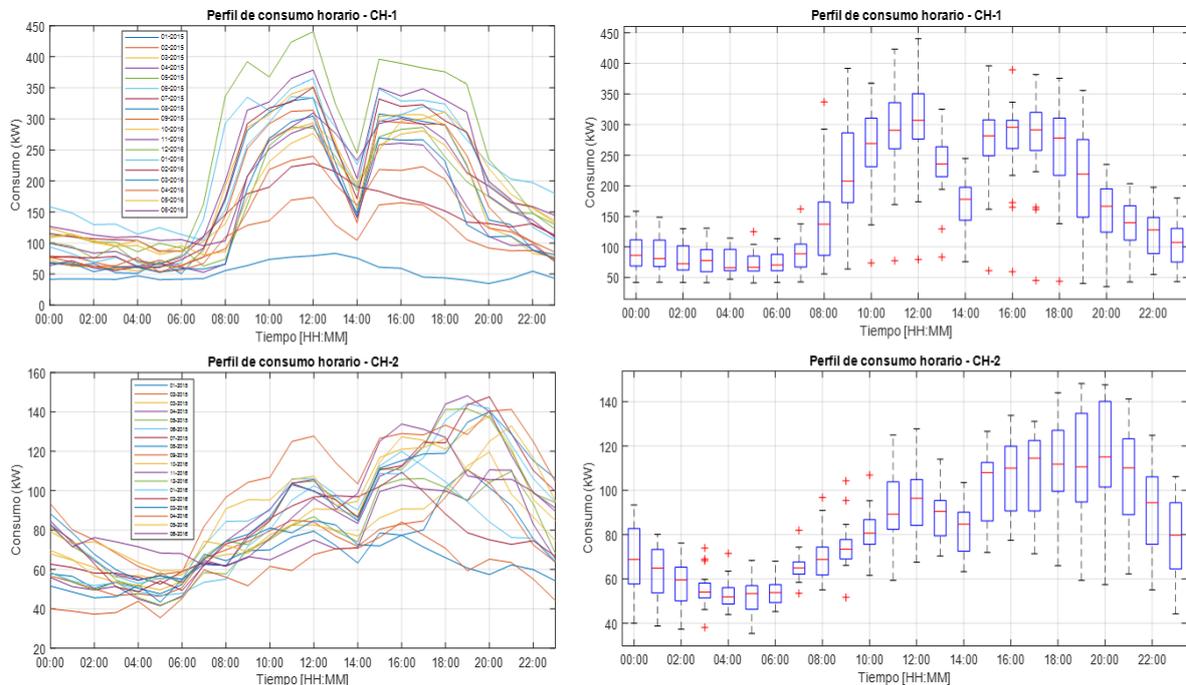


Figura 5. Perfiles horarios de demanda eléctrica casos CH-1 (centro manipulado) y CH-2 (central hortofrutícola).

En la Figura 6 se muestra que el perfil horario de consumo para la fábrica de inyección de plástico (caso FP-2) vuelve a mostrar claramente las dependencias del consumo con los ciclos de cultivo, máxima demanda asociada a la fase de recolección, aunque en este caso es destacable el carácter plano del perfil horario asociado, como se ha dicho anteriormente, a que se trata de un proceso fabril automatizado.

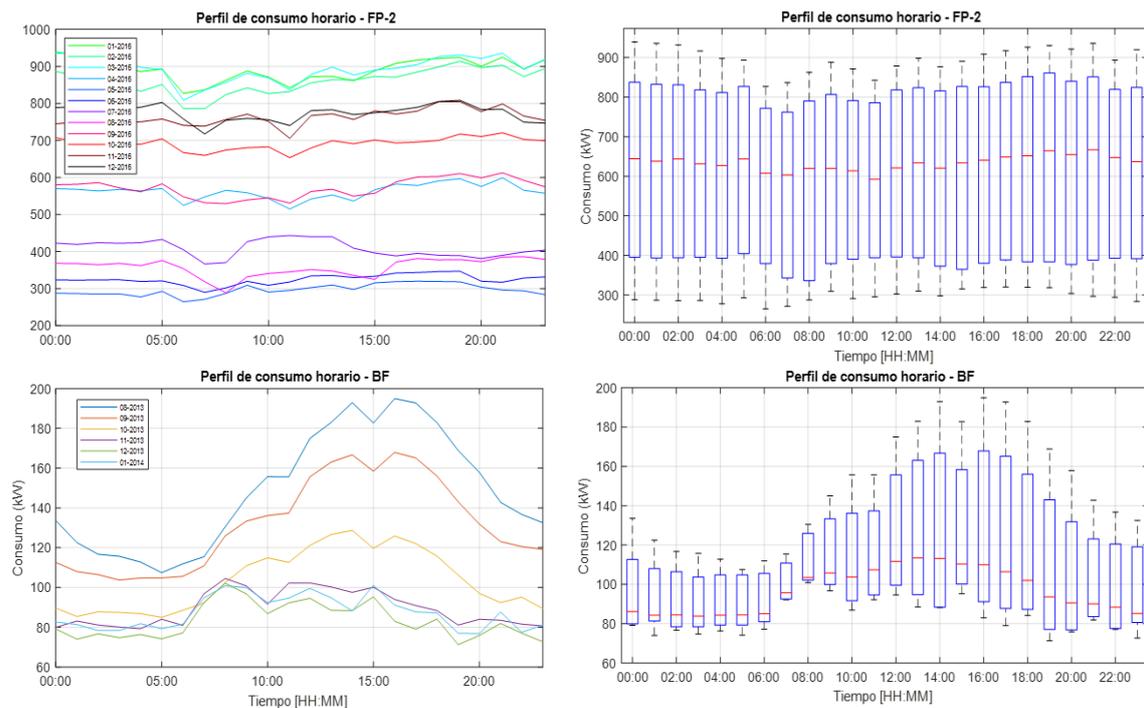


Figura 6. Perfiles horarios de demanda eléctrica casos FP-2 (fábrica de envases plásticos) y BF (biofábrica).

Por último, es muy destacable mencionar que en el perfil de consumo de la industria de producción de insectos auxiliares (caso BF) la estacionalidad se invierte, siendo la máxima actividad de esta industria la de los meses en los que en lugar de recolectar se está cultivando. Este hecho es debido a que la función de estos insectos auxiliares es contribuir a la polinización de las plantas y luchar contra sus plagas, por lo que su demanda se produce en meses distintos a los de la actividad de las centrales hortofrutícolas.

3.3.- ANÁLISIS AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO POTENCIAL

Gracias a la información sobre pautas estacionales y horarias de consumo eléctrico que aportan los perfiles analizados anteriormente, puede abordarse un estudio genérico de potencialidad de implantación de sistemas fotovoltaicos de generación eléctrica vinculados de forma directa a cada una de las industrias. A tal fin se ha simulado en base horaria la producción de un conjunto de plantas fotovoltaicas con inclinación óptima, cuyo tamaño correspondería al tamaño necesario para obtener un balance neto anual nulo para una selección de las industrias disponibles. A continuación, se ha contrastado de forma dinámica dicha producción con los patrones observados con el objetivo de establecer conclusiones de interés que puedan servir para valorar con más fundamento la implantación de este tipo de sistemas de autoconsumo directo en estas industrias.

En una primera aproximación estática al balance, la Tabla 2 recoge los resultados de la simulación de la producción fotovoltaica para las correspondientes industrias y las potencias pico instaladas propuestas en cada caso. Si bien la tabla ya adelanta el esperable desequilibrio inducido por la sobreproducción en los meses de verano de las plantas con mayor consumo, la Figura 9 permite avanzar la posibilidad de un aprovechamiento compartido en una estructura de distrito energético ya que aparecen industrias, en este caso las de producción de insectos auxiliares (BF), que dada su ciclo de actividad desfasado con relación a las centrales hortofrutícolas y a las fábricas de bienes postcosecha como son los envases podrían acceder a los excedentes de producción de las otras industrias (véase Figura 7). En este punto, aunque este análisis requiere una aproximación más completa, hay que decir también que la propia comarca del campo de Dalías y, en general el Poniente almeriense, área a la que pertenece esta comarca acoge también núcleos turísticos costeros con una alta ocupación hotelera, y por tanto un alto consumo eléctrico, en estos meses de verano.

Mes	FP-1 (3,25 MWp)		BF (580 kWp)		CH-1 (850 kWp)		CH-2 (390 kWp)	
	Demanda [kWh]	Prod. FV [kWh]	Demanda [kWh]	Prod. FV [kWh]	Demanda [kWh]	Prod. FV [kWh]	Demanda [kWh]	Prod. FV [kWh]
Ene	664065.0	389782.7	64967.0	69612.0	68418.0	105760.5	49185.0	46780.4
Feb	586026.0	392666.0	57123.0	70307.3	55925.0	106834.1	40536.0	47340.3
Mar	651759.0	497086.3	61841.0	89293.0	58269.0	135902.8	43821.0	60100.1
Abr	417473.0	507513.6	64451.0	91009.9	54935.0	138601.3	37909.0	61225.4
May	227681.0	508976.1	80177.0	91462.8	54025.0	139887.3	39004.0	61471.1
Jun	217567.0	509777.6	95087.0	91749.7	61981.0	140675.6	45610.0	61634.5
Jul	319246.0	525519.0	113162.0	94668.3	121645.0	145384.2	51751.0	63578.4
Ago	258125.0	516361.7	116455.0	93138.9	176154.0	143105.8	56992.0	62548.4
Sep	400851.0	459759.7	95230.0	82803.7	204118.0	126968.9	65886.0	55621.0
Oct	526304.0	427310.8	79453.0	76692.9	210848.0	117169.4	67570.0	51531.5
Nov	534551.0	386238.4	64464.0	69134.0	141243.0	105283.5	61531.0	46459.9
Dic	582347.0	356260.7	61824.0	63707.9	184380.0	96961.2	73847.0	42824.5
Año	5385995.0	5477252.8	954234.0	983580.3	1391941.0	1502534.8	63364.0	661115.7

Tabla 2. Datos agregados de consumo eléctrico y producción fotovoltaica de plantas de balance nulo anual para las industrias seleccionadas.

Sin embargo, con independencia de las posibles compensaciones estacionales e inter-empresas que podrían plantearse en el distrito, el gran reto a resolver en términos de autoconsumo fotovoltaico es, al igual que en la mayor parte de las aplicaciones solares de este tipo, la naturaleza dinámica de la demanda diaria. En este caso es reseñable, por ejemplo, la existencia en todos los casos de consumos nocturnos que, en el caso FP llegan a tener el mismo orden de magnitud que el propio consumo diurno.

Considerando como tasa de autoconsumo la relación entre el valor de la energía generada por el campo fotovoltaico empleada en alimentar de forma directa a la demanda horaria y la energía total generada por la instalación fotovoltaica, la Figura 7 muestra los valores obtenidos para esta variable para las plantas simuladas para cada industria en los distintos meses del año. Como puede observarse, las tasas de autoconsumo en todos los casos analizados no llegan a ser superiores al 60%, existiendo incluso situaciones en las que la escasa demanda con relación a la producción potencial hace que el autoconsumo sea del orden del 20%, lo que hace cuestionar el propio criterio de balance cero anual utilizado para la selección de la planta.

Por el contrario, el análisis muestra claramente cómo las industrias con una mayor actividad y, por lo tanto, mayor demanda en las horas centrales del día (BF y CH-1) son las que alcanzan los valores más altos de este parámetro.

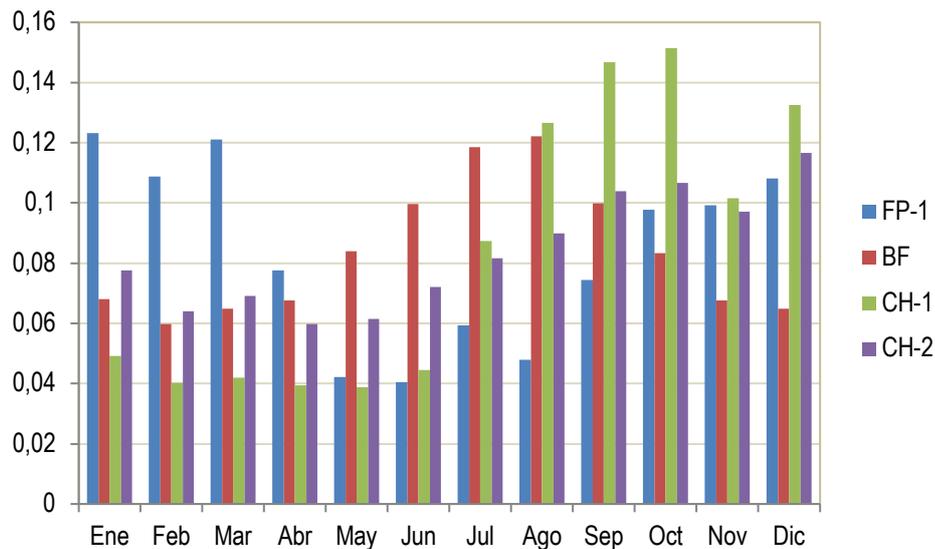


Figura 7. Distribución mensual de la fracción de consumo para las industrias seleccionadas

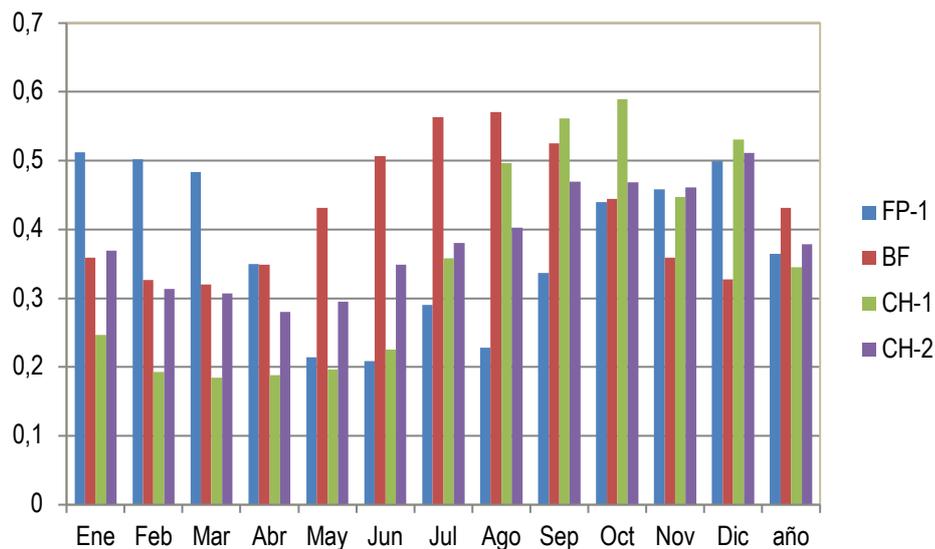


Figura 8. Tasas de autoconsumo fotovoltaicos mensuales para las industrias seleccionadas.

4.- CONCLUSIONES

Este trabajo permite contar con una primera aproximación a la demanda eléctrica de una actividad industrial, como es la de las empresas dedicadas a los servicios auxiliares de la agricultura intensiva almeriense cuyo impacto, si bien no es comparable en términos absolutos al de otro tipo de industrias clásicas, sí que merece un estudio específico en base a su potencial crecimiento dadas las tendencias actuales de los modos de producción agrícola.

El mayor consumo de los analizados corresponde al de un núcleo fabril de elaboración de embalajes para frutos por procesos de inyección de plástico alcanzando su demanda horaria un valor máximo de 1,5 MWh. Este núcleo presenta dos periodos de operación máxima en los primeros y últimos meses del año, coincidiendo con los periodos de máxima demanda de fabricación al coincidir con los periodos de recolección de la producción hortícola. La demanda acumulada anual alcanza un valor de 5,5 GWh en base a una operación diaria prácticamente constante. Este tipo de actividad, si bien constituye un importante núcleo de consumo energético, se concentra en un número muy reducido de empresas.

Las centrales hortofrutícolas presentan una alta variabilidad, siendo el factor determinante la cantidad de producto recolectado que es procesado en las instalaciones. Todos los casos analizados se corresponden a centrales con consumos por encima de los consumos medios establecidos para las centrales hortofrutícolas españolas en el último informe publicado, llegando a contarse con un caso de una central de procesado con un consumo equivalente al anteriormente mencionado para una actividad fabril, 4,4 GWh/a. Todos los consumos observados para las centrales se concentran en los meses de invierno, coincidiendo con los periodos de recolección de frutos en el momento de la máxima rentabilidad de la producción. Estos consumos, analizados en una escala temporal más reducida permiten acreditar la existencia de patrones diarios explicables en términos de operaciones específicas como las pausas para la comida del personal o la recarga de vehículos eléctricos. En este último caso, esta circunstancia introduce un factor adverso para la implantación de sistemas de autoconsumo eléctrico de tipo fotovoltaico al producirse a la finalización de la jornada laboral y, por lo tanto, en fases de baja o nula radiación.

La localización de la zona bajo estudio cuenta con un alto potencial solar que, de hecho, determina también la propia existencia de los invernaderos en la misma. Sin embargo, aunque es posible alcanzar valores importantes de producción eléctrica renovable en las instalaciones ubicadas en la misma, los patrones temporales de demanda observados determinan la necesidad de que cualquier proyecto de generación distribuida basado en energías renovables deba de diseñarse sobre la base de un análisis profundo de las propias demandas y de las eventuales interacciones de la producción con consumidores cercanos y, por supuesto, incluyendo, como se hará en trabajos futuros, la opción del almacenamiento energético.

REFERENCIAS

- [1] Alexandros N; Bruinsma, J "World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision". Junio 2012. <http://www.fao.org/3/a-ap106e.pdf> DOI: <https://doi.org/10.22004/agg.econ.288998>
- [2] Servicio de Estudios Agroalimentarios de Cajamar. "Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2018/2019". Servicio de Publicaciones de la Fundación CAJAMAR. Diciembre 2019. <https://www.publicacionescajamar.es/series-tematicas/informes-coyuntura-analisis-de-campana/analisis-de-la-campana-hortofruticola-de-almeria-campana-2018-2019>
- [3] Gil JD, Alvarez JD, Roca L, et al. "Optimal thermal energy management of a distributed energy system comprising a solar membrane distillation plant and a greenhouse". *Energy Conversion and Management*. Octubre 2019. Vol.198. p.111791. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111791>
- [4] Valera DL, Belmonte LJ, Molina FD, et al. "Los invernaderos de Almería. Análisis de su tecnología y rentabilidad". Servicio de Publicaciones de la Fundación CAJAMAR. <https://www.publicacionescajamar.es/series-tematicas/economia/los-invernaderos-de-almeria-analisis-de-su-tecnologia-y-rentabilidad>
- [5] Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía. "Caracterización de las explotaciones de invernadero de Andalucía: Campo de Dalías (Almería)" Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Febrero 2015.
- [6] Cabrera FJ, Sánchez-Molina JA, Zaragoza G., et al. "Renewable energy technologies for greenhouses in semi-arid climates" *Geothermal, Wind and Solar Energy Applications in Agriculture and Aquaculture* (CRC Press) Agosto 2017 DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315158969> <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio/servlet/FrontController?action=RecordContent&table=12030&element=1586149>
- [7] Proyecto CO2OP "Manual de ahorro y eficiencia energética del sector: Centrales Hortofrutícolas". Cooperativas Agroalimentarias. <http://www.agro-alimentarias.coop/ficheros/doc/03201.pdf>
- [8] "CHROMAE Project (DPI2017-85007-R)". [En línea]. Disponible en: <http://www2.ual.es/chromae/>. [Consultado: 30-julio-2020]