



Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Producción Industrial

Licenciatura en Ingeniería en Producción Industrial

Proyecto de Graduación

Universidad de Extremadura

Propuesta de modelo para la evaluación y selección de comunidades energéticas en
Extremadura en el marco del proyecto TRANSCOM.

Realizado por:

Fabián Esteban Calvo Castillo

Profesora Asesora:

PhD. Natalia Robles Obando

Asesor Industrial:

PhD. Gonzalo Sánchez-Barroso Moreno

Enero, 2025



Esta obra está bajo una licencia CC BY 4.0. Para ver una copia de esta licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**CONSTANCIA DE DEFENSA PUBLICA
DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN**

El presente Proyecto de Graduación titulado “Propuesta de modelo para la evaluación y selección de comunidades energéticas en Extremadura en el marco del proyecto TRANSCOM.” y realizado en la empresa “Universidad de Extremadura”, durante el II Semestre de 2024, ha sido defendido, ante el Tribunal Examinador integrado por los profesores Ing. Esteban Adolfo Lemaitre Gonzalez e Ing. Luis Ignacio Garcés Monge; como requisito para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Ingeniería en Producción Industrial, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

La orientación y supervisión del proyecto desarrollado por el estudiante, estuvo a cargo del profesora asesora Ing. Natalia Robles Obando.

Este documento y su defensa ante el Tribunal Examinador han sido declarados:

Públicos ☒

Confidenciales ☐

Firmado conforme:

TEC | Tecnológico
de Costa Rica
Firmado digitalmente por
ESTEBAN ADOLFO LE MAITRE
GONZALEZ (FIRMA)
Fecha: 2025.02.28 12:23:21
-06'00'

Ing. Esteban Lemaitre González. Ph.D.

Miembro Tribunal Evaluador

TEC | Tecnológico
de Costa Rica
Firmado digitalmente
por NATALIA ROBLES
OBANDO (FIRMA)
Fecha: 2025.03.03
14:30:38 -06'00'

Ing. Natalia Robles Obando. Ph.D.

Profesora Asesora

**LUIS IGNACIO
GARCES MONGE
(FIRMA)**
Digitally signed by LUIS
IGNACIO GARCES
MONGE (FIRMA)
Date: 2025.03.03
14:13:04 -06'00'

Ing. Luis Ignacio Garcés Monge Ph.D.

Miembro Tribunal Evaluador

Fabián Calvo Castillo
Firma manuscrita

Estudiante

AGRADECIMIENTO

Un capítulo de cinco años de mi vida está cerca de llegar a su fin. Años de esfuerzo, dedicación y aprendizaje que han generado vivencias, alegrías, tristezas, decepciones y crecimiento en mi persona, de manera profesional pero principalmente en lo humano y en la forma en la que afronto la vida. Sin lugar a duda, no podría haber terminado este camino solo, el acompañamiento y apoyo de mis papás y hermano fue y es fundamental para todo lo que me planteo en mi vida. Mi principal agradecimiento es con ellos por nunca dejarme solo, por siempre estar cuando más lo necesitaba y por ayudarme a hacer posible este sueño. Su amor y respaldo es algo que nunca podré olvidar. Estaré agradecido con Feryi y Naoki, mis dos pequeños compañeros durante mi vida universitaria, pese a no ser humanos formaron y forman parte de mi familia, de mi vida, de mis recuerdos y de mi persona; fueron el amigo fiel que siempre estuvo y la vía de escape a los problemas. También agradezco a mis amigos y compañeros de la universidad, por haber formado parte del proceso, hacerme vivir grandes experiencias, por las anécdotas y vivencias, por hacerme aprender también de ellos en el camino, y por hacer que mi experiencia universitaria se haya disfrutado y vivido como esperaba.

A la Universidad de Extremadura, al profesor PhD. Gonzalo Sánchez-Barroso Moreno por su aporte en este trabajo y el conocimiento compartido conmigo. A los miembros del Departamento de Expresión Gráfica, al Área de Proyectos de Ingeniería y al grupo de investigación TPR008, por su colaboración en mi desarrollo personal y académico, ampliando mis horizontes y visión del mundo.

A la educación pública de Costa Rica, al Instituto Tecnológico de Costa Rica y sus profesores, les agradezco sus enseñanzas y el profesionalismo que han transmitido conmigo. Especialmente a la profesora PhD. Natalia Robles Obando por su seguimiento en este trabajo; a los profesores Ing. Harold Cordero Meza y PhD. Félix Badilla Murillo por ayudarme a hacer posible el sueño de estudiar en el extranjero.

Por último, estoy agradecido conmigo mismo, por mi voluntad, por mi pasión, por nunca claudicar, por nunca bajar la cabeza, por siempre volverlo a intentar y por demostrarme, una y otra vez, que sin importar la situación a la que me enfrente, siempre podré contar con mi esfuerzo y trabajo para salir adelante.

DEDICATORIA

*A mi mamá,
por su amor incondicional
y por siempre creer en mí
incluso cuando ni yo lo hacía.*

*A mi hermano,
por su guía y respaldo
desde que tengo memoria.*

*A mi papá,
por ser la persona a quien me quiero
parecer todos los días de mi vida.*

Soy quien soy gracias a ustedes.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	I
DEDICATORIA.....	II
ÍNDICE DE CUADROS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
RESUMEN.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	2
A. DESCRIPCIÓN GENERAL	3
B. JUSTIFICACIÓN	4
C. OBJETIVOS	6
<i>Objetivo General</i>	6
<i>Objetivos Específicos</i>	6
D. ALCANCES Y LIMITACIONES	7
<i>Alcances</i>	7
<i>Limitaciones</i>	8
II. REVISIÓN DE LITERATURA	9
INTRODUCCIÓN A LAS COMUNIDADES ENERGÉTICAS	10
A. ¿Qué es una comunidad energética?	10
B. Las comunidades energéticas en la transición energética	14
C. Las comunidades energéticas en España.	15
D. Beneficios de formar parte de una comunidad energética.	17
E. Barreras identificadas para el establecimiento de comunidades energéticas.	19
MODELOS DE ANÁLISIS DE CANDIDATOS PARA UNA COMUNIDAD ENERGÉTICA	20
III. METODOLOGÍA	27
IV. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN	46
V. CASO DE USO DE LA APLICACIÓN	63
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES.....	74

VII. BIBLIOGRAFÍA.....	75
VIII. APÉNDICES	80
IX. ANEXOS.....	115

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.	Descripción	Página
Cuadro 1.	Principales similitudes y diferencias entre las CER y las CEC.	11
Cuadro 2.	Características cualitativas de comunidades energéticas a evaluar.	30
Cuadro 3.	Criterios cualitativos y cuantitativos para la evaluación de comunidades energéticas.	32
Cuadro 4.	Edificios públicos de Badajoz aptos para la participación en una comunidad energética.	39
Cuadro 5.	Edificios públicos de Cáceres aptos para la participación en una comunidad energética.	41
Cuadro 6.	Edificios públicos de Mérida aptos para la participación en una comunidad energética.	41
Cuadro 7.	Cuadro metodológico del proyecto.	43
Cuadro 8.	Agrupaciones de hojas de Excel de la aplicación informática.	47
Cuadro 9.	Tabla de caracterización de organizaciones candidatas utilizadas en el caso de estudio.	64
Cuadro 10.	Resultados de comunidades energéticas con balance económico neto positivo.	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.	Descripción	Página
Figura 1.	Ejemplo de comunidad energética.	12
Figura 2.	Mapa de proyectos de comunidades energéticas en España para el 2023.	16
Figura 3.	Implementación de comunidades energéticas paso a paso.	21
Figura 4.	Proceso iterativo de expansión de una comunidad energética.	22
Figura 5.	Diagrama de flujo del desarrollo del objetivo específico 1.	29
Figura 6.	Diagrama de flujo del desarrollo del objetivo específico 2.	34
Figura 7.	Diagrama de flujo del proceso de utilización de la aplicación informática.	35
Figura 8.	Matriz con distancias en metros entre miembros de una comunidad energética.	37
Figura 9.	Diagrama de flujo del desarrollo del objetivo específico 3.	39
Figura 10.	Tabla para el almacenamiento de datos generales de organizaciones candidatas.	48
Figura 11.	Tabla para el almacenamiento de datos mensuales de producción y consumo de las organizaciones candidatas.	48
Figura 12.	Hoja de Excel “Ingreso de Datos”.	49
Figura 13.	Formulario para la selección de un registro a editar.	50
Figura 14.	Formulario para la selección de un registro a eliminar.	51
Figura 15.	Hoja de Excel “Cálculo Combinaciones”.	52
Figura 16.	Fórmula aplicada en A1 de hoja Cálculo Combinaciones.	53
Figura 17.	Fórmula aplicada en A2 de hoja Cálculo Combinaciones.	53
Figura 18.	Resultante de códigos en hoja Cálculo Combinaciones.	54
Figura 19.	Resultante de códigos en hoja Cálculo Combinaciones.	55
Figura 20.	Resultante del código en hoja Comunidades Energéticas.	56
Figura 21.	Resultante 1 del código en hoja Datos ACC.	57
Figura 22.	Resultante 2 del código en hoja Datos ACC.	58
Figura 23.	Resultante del código en hoja “Datos CNC”.	59
Figura 24.	Gráfico de barras de CNC para una comunidad energética.	60
Figura 25.	Resultante del código en hoja Métricas.	60
Figura 26.	Resultante del código en hoja Resumen. Parte 1.	61
Figura 27.	Resultante del código en hoja Resumen. Parte 2.	62
Figura 28.	Hoja Ingreso de Datos en el caso de estudio.	65

Figura 29. Hoja Comunidades Energéticas en el caso de estudio. Parte 1.	65
Figura 30. Hoja Comunidades Energéticas en el caso de estudio. Parte 2.	66
Figura 31. Hoja Métricas en el caso de estudio.	67
Figura 32. Curva de consumo de la comunidad energética 21.	68
Figura 33. Curva de consumo de la comunidad energética 160.	69
Figura 34. Curva de consumo de la comunidad energética 161.	69
Figura 35. Curva de consumo de la comunidad energética 90.	70
Figura 36. Hoja Resumen en caso de estudio. Parte 1.	71
Figura 37. Hoja Resumen en caso de estudio. Parte 2.	71

RESUMEN

Esta investigación se desarrolló dentro del proyecto TRANSCOM, en la Universidad de Extremadura y consistió en el desarrollo de un modelo para la evaluación de comunidades energéticas, que considera las características individuales de los candidatos a formar parte de la comunidad y los resultados al unirse con otros posibles miembros, con el fin de identificar las comunidades que con base en las métricas establecidas presenta beneficios para los miembros de la comunidad.

Este proyecto se realiza con el fin de brindar a TRANSCOM una herramienta para el análisis proactivo de comunidades energéticas; donde se puedan identificar las organizaciones candidatas que mejor encajan según los perfiles de producción, consumo, la ubicación geográfica y las características de cada uno de los miembros de la comunidad. Las comunidades energéticas que se recomiendan constituir son priorizadas con base en los resultados que presentan en cuanto al balance económico por la compra y venta de energía excedente a la red externa.

Durante la revisión de la literatura, se encontró un vacío en los estudios que analizan a comunidades energéticas y sistemas de consumo colectivo, debido a que no se plantean modelos para el análisis previo de candidatos y que presenten resultados que sirvan de guía para la elección de los miembros que conformarán una comunidad energética. Por esta razón, la propuesta de un modelo que permita identificar los posibles integrantes de una comunidad energética mediante el análisis de los datos previos de producción y consumo que los candidatos registraron, es importante para proyectos como TRANSCOM pues establece una vía para la formación de más comunidades energéticas.

Para ello se desarrolló un modelo con criterios cualitativos para la aceptación y rechazo de las comunidades energéticas a establecer, y criterios cuantitativos para el análisis energético y económico que las comunidades presentan en el periodo de estudio. Dicho modelo fue implementado en Microsoft Excel mediante la programación de módulos en Visual Basic for Applications. Finalmente se aplicó un caso de estudio con diez edificios públicos de Extremadura, donde se logró identificar cuatro comunidades energéticas adecuadas para su formación basado en el cumplimiento de los criterios cualitativos y cuantitativos definidos en el modelo, además que presentan resultados favorables con respecto al balance económico por la compra y venta de energía a la red externa, con comunidades que presentan ahorros en un año superiores a los 1800 € para los miembros de la comunidad.

I. INTRODUCCIÓN

A. Descripción general

Este proyecto se realiza en la Universidad de Extremadura, la cual es una institución pública española fundada en 1973. En ella estudian más de 24000 alumnos de grado y posgrado, otros 8000 de doctorado, títulos propios o formación continua e imparten docencia más de 1500 profesores. La institución dispone de cuatro sedes, siendo estos el campus de Badajoz, el campus de Cáceres, el centro universitario de Mérida y el centro universitario de Plasencia, todos ubicados en la comunidad autónoma de Extremadura.

El proyecto se realiza en la Escuela de Ingenierías Industriales en el campus de Badajoz, en el Área de Proyectos de Ingeniería, junto al grupo de Ingeniería de los Procesos de Fabricación (TPR008). Dicho grupo cuenta con nueve investigadores doctores, dos técnicos de apoyo y más de 230 publicaciones realizadas desde 2001. El proyecto tiene el nombre de “Red Transfronteriza de Comunidades Energéticas en la Zona Euroace” (TRANSCOM-EUROACE), bajo la coordinación del Consorcio Agencia Extremeña de la Energía (AGENEX) y la Consejería para la Transición Ecológica y Sostenibilidad de la Junta de Extremadura. El proyecto se enmarca en lo establecido por la Comisión Europea (2018) en los Fondos Estructurales de la Unión Europea 2021 – 2027, específicamente en su segundo objetivo que cita: “una Europa más verde sin emisiones de carbono: transición a una energía limpia y equitativa”. De acuerdo con lo publicado por la Diputación de Badajoz (2023), el proyecto busca fomentar una transición energética justa e inclusiva, promoviendo inversiones en infraestructura sostenible y alentando la participación de actores tradicionalmente no involucrados en el sector energético, mediante la creación de un Servicio Transfronterizo de Asesoramiento Comunitario (STAC) en toda la región. Este servicio permitirá implementar un sistema de apoyo dirigido a actores interesados en impulsar y desarrollar comunidades energéticas.

El objetivo principal de la Red Transfronteriza de Comunidades Energéticas en la Zona Euroace es fomentar la creación de comunidades energéticas, manteniendo un enfoque transfronterizo entre las regiones de Alentejo y Centro (Portugal) y Extremadura (España), región conocida como EuroACE, sumado a la creación de una red que unifique y ofrezca beneficios a todas las comunidades energéticas que participan en el proyecto por medio de un trabajo colaborativo que integre a la sociedad civil, al sector privado y a las autoridades locales y regionales.

B. Justificación

Las comunidades energéticas son un modelo emergente en el contexto de la transición energética global que permiten a los ciudadanos participar colaborativamente en la producción y consumo de energía. Dicha participación ciudadana puede ser impulsada por personas particulares, pequeñas y medianas empresas, cooperativas y asociaciones, industrias, entidades del sector energético, entre otros; debido a que representan una solución innovadora que promueve la autosuficiencia, la sostenibilidad, la eficiencia y la descentralización energética de estos individuos ante la necesidad de un cambio frente al uso tradicional de combustibles fósiles, colaborando con la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y la mitigación del cambio climático.

En la actual situación de crisis climática y energética, con una alta volatilidad de los precios de los combustibles fósiles, situación agravada por la pandemia del virus SARS-CoV-2 y la guerra entre Rusia y Ucrania, en adición a una creciente demanda energética, la descentralización de la producción se ha convertido en un objetivo prioritario para muchos gobiernos y organizaciones internacionales. El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2023) en su memoria anual para el año 2022, describió que los precios de combustibles fósiles en España sufrieron fuertes incrementos con respecto al 2021, cercanos al 30% como consecuencia del contexto geopolítico entre Rusia y Ucrania (pp. 255-256). Las comunidades energéticas se alinea con las metas globales de transición energética y respalda la democratización de la energía en todo el mundo. Sin embargo para conseguir que más comunidades energéticas sean constituidas y funcionen adecuadamente, se debe trabajar priorizando la eficiencia operativa de las comunidades, para garantizar que las necesidades de dicha comunidad se satisfagan de manera equilibrada, sostenible en el tiempo y sin generar altos costos por la compra de electricidad a la red convencional para cada uno de sus miembros.

Hasta ahora, las comunidades energéticas se constituyen por la unión de diversos agentes (públicos y privados) movidos por relaciones preestablecidas e intereses comunes con respecto a la energía. Este modelo predominante puede ser entendido como un enfoque reactivo ante la oportunidad de mejorar la gestión energética de dichos agentes. Sin embargo, la administración pública, en su afán por promover la proliferación de comunidades energéticas, se plantea el reto de agrupar potenciales organizaciones candidatas para convertirse en miembros de comunidades energéticas de manera proactiva. A pesar de ese empeño, las administraciones públicas

encuentran dificultad en la complejidad para casar los perfiles energéticos de una gran cantidad de potenciales miembros de comunidades energéticas.

Por esta razón, el desarrollo de un modelo para la evaluación de las condiciones específicas que presentan organizaciones candidatas a formar parte de una comunidad energética no solo es pertinente, sino también estratégica para la expansión de este modelo en nuevas geografías y contextos. Analizar todas las combinaciones entre los posibles miembros de la comunidad, para encontrar las comunidades energéticas con los mejores resultados considerando los perfiles de consumo, producción y la capacidad de integrar activos para la generación energética de todos los miembros, resulta fundamental para garantizar que la comunidad mantenga un perfil energético sostenible y equilibrado en todo momento, adaptándose a las variaciones en la demanda y la oferta de energía.

En este punto, se considera conveniente que contar con un proceso de selección de miembros entre una gran cantidad de candidatos, basado en criterios objetivos, puede apoyar a promover la puesta en marcha de más comunidades energéticas con un enfoque proactivo desde el STAC creado en TRANSCOM. Para ello, se propone un análisis de perfiles de consumo y producción energética a través de una aplicación informática, en Microsoft Excel, que sirva para proveer información que ayude a la toma de decisiones para la formación de comunidades energéticas en la región de EuroACE.

C. Objetivos

Objetivo General

- Desarrollar un modelo de evaluación de comunidades energéticas considerando las características individuales, perfil de consumo y producción energética de organizaciones candidatas.

Objetivos Específicos

- Establecer un conjunto de criterios cuantitativos (técnicos) y cualitativos (de aceptación y rechazo), que valoren a las comunidades energéticas propuestas, considerando la variabilidad en el suministro y demanda energética y las características individuales de las organizaciones candidatas.
- Diseñar, programar e implementar una aplicación informática que evalúe a organizaciones candidatas a conformar una comunidad energética basado en sus perfiles de consumo, producción y la complementariedad con otros miembros potenciales de la comunidad en relación con los criterios de aceptación y rechazo establecidos.
- Aplicar el modelo de evaluación desarrollado en un caso de estudio con diez de organizaciones candidatas a constituir comunidades energéticas, con los datos de producción y consumo de edificios públicos de Extremadura en el año 2023.

D. Alcances y limitaciones

Alcances

El alcance del proyecto consistió en el desarrollo de un modelo implementado sobre una aplicación informática que contribuya con la evaluación de comunidades energéticas a partir de datos de organizaciones candidatas desde un enfoque proactivo para promover la proliferación de esta forma de colaboración ciudadana. El alcance contempló la aplicación del modelo a través de un caso de estudio con información y datos de edificios públicos de Extremadura. De dichos edificios se obtuvo la información de consumo y producción del año 2023, y se trataron como los candidatos potenciales a constituir comunidades energéticas.

Tras el desarrollo del modelo y su implementación en la aplicación, los candidatos seleccionados se podrán ver envueltos en el proceso técnico, logístico y jurídico para el establecimiento de una comunidad energética. Cabe destacar que esto no está incluido en el alcance de esta investigación y no se contempló para su inclusión en la aplicación. El caso de uso del modelo, y propiamente el análisis de organizaciones candidatas realizado por medio de la aplicación informática, se supone con edificaciones que ya cuentan con las instalaciones adecuadas para para la producción de energía, el análisis de la viabilidad financiera para la adquisición e instalación de equipo para la producción energética en las organizaciones candidatas no forma parte del alcance de este trabajo. El modelo realizado considera la selección de candidatos para una preliminar comunidad energética, no se considera un modelo de optimización debido a que el proyecto TRANSCOM, inicialmente desea la información preliminar de los candidatos antes de la toma de decisiones.

Los entregables de este proyecto son:

- 1) Caracterización de los candidatos: Descripción del perfil de consumo del candidato (consumidor, productor o prosumidor), cuantificación del consumo y producción, ubicación geográfica, fuente de producción de energía, tipo de edificio.
- 2) Criterios de selección: Definición de criterios cualitativos de los candidatos para la aceptación o rechazo en una comunidad energética y formulación de métricas para el análisis cuantitativo de los candidatos en una comunidad energética.
- 3) Aplicación implementada sobre hoja de cálculo: Archivo de Microsoft Excel habilitado para macros, en el cual se evalúan a los potenciales candidatos según su perfil para la creación de una comunidad energética.

- 4) Análisis de comunidades energéticas recomendadas: Tras el estudio realizado de todos los candidatos y las posibles combinaciones para el establecimiento de comunidades, se resaltan las comunidades con mejores resultados en cuanto a las métricas establecidas.

Limitaciones

Se identificaron dos limitaciones en este estudio: la primera de ellas referente al nivel de detalle, respecto al tiempo, que poseen los datos suministrados para el caso de estudio y la segunda, en los aspectos a considerar en el análisis de los candidatos debido a la viabilidad técnica.

En relación con la primera limitación, por motivos técnicos, los datos históricos de producción y consumo de los edificios públicos de Extremadura facilitados por AGENEX en el marco del proyecto TRANSCOM, se muestran agregados mensualmente. Este nivel de detalle se considera válido para el análisis de los candidatos a formar parte de comunidades energéticas. No obstante, una medida de la producción y consumo con un paso temporal menor brindaría una imagen más concreta de la complementariedad de los candidatos a lo largo del tiempo.

La segunda limitante de este proyecto hace referencia a la posibilidad de almacenamiento de energía mediante equipos externos, además de la producción y consumo de energía de los potenciales miembros. En este caso, por la naturaleza de los candidatos utilizados y la viabilidad técnica actual de los sistemas de baterías, la energía extra que se podría almacenar durante el funcionamiento de la comunidad energética se consideró que era vertido a la red de distribución.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

En este apartado se realiza una revisión de la literatura para establecer un marco de comprensión del contexto de este trabajo, concretamente para explicar los términos de comunidad energética, sus participantes, su rol en la transición energética, los beneficios y barreras que se han identificado para su establecimiento y el contexto en España para la formación de comunidades energéticas. En adición, se referencian artículos que desarrollan metodologías para la selección y análisis de miembros pertenecientes a comunidades energéticas y se identifica la brecha de conocimiento en la literatura que se intenta llenar con esta investigación.

Introducción a las Comunidades Energéticas

A. ¿Qué es una comunidad energética?

Las comunidades energéticas han tomado una importante relevancia en los últimos años, debido al papel que pueden cumplir en la transición energética para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 (ONU, 2015), y por su colaboración en la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero. Pese a esto, no fue hasta el 2018 cuando se formalizó una figura jurídica y un marco regulador referente a las comunidades energéticas en Europa. Concretamente, se destacan dos directivas del Parlamento Europeo y del Consejo que tratan estas comunidades. En estas directivas se definen a las comunidades energéticas desde dos puntos de vista, las comunidades energéticas renovables (CER) y las comunidades energéticas ciudadanas (CEC).

Por un lado, la Directiva (EU) 2018/2001 (2018) define a las CER de la siguiente forma:

Una entidad jurídica: que, con arreglo al Derecho nacional aplicable, se base en la participación abierta y voluntaria, sea autónoma y esté efectivamente controlada por socios o miembros que están situados en las proximidades de los proyectos de energías renovables que sean propiedad de dicha entidad jurídica y que esta haya desarrollado; cuyos socios o miembros sean personas físicas, pymes o autoridades locales, incluidos los municipios; cuya finalidad primordial sea proporcionar beneficios medioambientales, económicos o sociales a sus socios o miembros o a las zonas locales donde opera, en lugar de ganancias financieras.

Por otro lado, la Directiva (EU) 2019/944 (2019) se refiere a las CEC de la siguiente manera.

Una entidad jurídica que, se basa en la participación voluntaria y abierta, y cuyo control efectivo lo ejercen socios o miembros que sean personas físicas, autoridades locales, incluidos los municipios, o pequeñas empresas; cuyo objetivo principal consiste en ofrecer beneficios medioambientales, económicos o sociales a sus miembros o socios o a la localidad en la que desarrolla su actividad, más que generar una rentabilidad financiera, y participa en la generación, incluida la procedente de fuentes renovables, la distribución, el suministro, el consumo, la agregación, el almacenamiento de energía, la prestación de servicios de eficiencia energética o, la prestación de servicios de recarga para vehículos eléctricos o de otros servicios energéticos a sus miembros o socios.

A modo de resumen en el Cuadro 1 realizado por Falcón-Pérez (2023), se muestran las principales similitudes y diferencias entre las comunidades energéticas renovables y las comunidades energéticas ciudadanas para un mayor entendimiento de estos dos sistemas.

Cuadro 1. Principales similitudes y diferencias entre las CER y las CEC.

	Comunidad Energética Renovable (CER)	Comunidad Energética Ciudadana (CEC)
Similitudes	Con respecto a la personalidad jurídica, ambas directivas exponen que tanto la CER como la CEC deben tener personalidad jurídica propia, sin especificar en qué figura jurídica se deben constituir. Además, las dos comunidades han de constituirse bajo la participación voluntaria y abierta de sus socios por lo que ejercen un control efectivo.	
	Ambas organizaciones no persiguen ganancias financieras sino beneficios medioambientales, económicos o sociales, especificando la Directiva 2019/944 “en la localidad en que se desarrolle su actividad”.	
	Han sido introducidas en la normativa española.	
Diferencias	Se requiere autonomía de la entidad jurídica.	No se menciona

	Se ciñen a las fuentes de energía renovable.	Además de energía renovable, incluye cualquier tipo de energía, y recarga de vehículos y de otros servicios energéticos a sus miembros, aunque hace énfasis en la energía renovable.
	Debe estar situada en las proximidades de proyectos renovables.	Con el fin de fomentar el derecho a participar se ha eliminado el concepto de local.

Fuente: Falcón-Pérez, C. (2023)

Como se ha visto, la principal diferencia entre las figuras jurídicas que amparan a las comunidades energéticas en Europa es la fuente de energía que abastece a la comunidad. Los dos tipos de comunidad energética contribuyen a la descentralización de la producción y a las nuevas formas de participación en el uso de la energía. Teniendo en cuenta lo anterior, pero enfocando la definición en los aspectos técnicos, se puede resumir el concepto de comunidad energética haciendo referencia a Fajardo (2021), que señala que las comunidades energéticas (CE) se presentan como una asociación de consumidores que conjuntamente producen, distribuyen, consumen, almacenan o venden la energía excedente para satisfacer sus necesidades de manera independiente a la red tradicional de abastecimiento energético. Se ilustra un ejemplo de comunidad energética en la Figura 1.



Fuente: SmartGridsInfo.es (2023)

Figura 1. Ejemplo de comunidad energética.

Por la naturaleza de estas comunidades, algunos miembros no solo tienen un consumo energético asociado sino también una producción propia, es por esta razón que a los miembros de una comunidad energética se les considera como consumidores, pero a otros como prosumidores. Como indica Sánchez y Contreras (2012), el término prosumidor no es reciente, pues se define por Alvin Toffler en su obra *La Tercera Ola* de 1980, que explica que los prosumidores son personas que consumen lo que ellos mismos producen. En el contexto de las comunidades energéticas, esto es lo esperable en los miembros de la comunidad, con el fin de generar una red de colaboración para hacer frente a las necesidades de cada uno de los participantes de la comunidad. El Comité Económico y Social Europeo (2017), en su Dictamen sobre Cooperativas de productores-consumidores (prosumidores) de energía: oportunidades y retos en los países de la UE, define a los prosumidores de la siguiente forma:

Particulares, grupos de particulares o de hogares y explotaciones agrícolas capaces de operar de forma organizada, que son a la vez productores y consumidores de energía generada en pequeñas instalaciones ubicadas cerca de las casas o en edificios de viviendas y comerciales (mediante pequeños aerogeneradores, paneles fotovoltaicos, colectores solares y bombas de calor). Las pequeñas empresas, incluidas las empresas sociales y entes locales, pueden ser también prosumidores.

Como se ha comentado, la formación de una comunidad energética nace de la voluntad de los interesados por encontrar nuevas formas de consumo que den paso a sistemas de gestión de recursos justos y que encuentren formas ambientalmente responsables para la reducción en su factura de consumo eléctrico. Según Fajardo y Frantzeskaki (2021), el alcance de la responsabilidad de los miembros, las actividades previstas y los requisitos de entrada y salida a la comunidad se establecen en los estatutos de formalización, y es lo que regirá a la comunidad.

Con este tipo de comunidades se establece un nuevo medio de cooperación y formas de relacionarse entre los miembros, que fortalece la autoorganización e independencia de la sociedad en la transición energética global que se avecina en los próximos años.

Un modelo típico de comunidad energética se puede detallar como lo hacen Debusschere *et al.* (2022), en el que los intercambios de energía dentro de la comunidad ocurren entre los miembros y, secundariamente, con el proveedor de la red principal. Se busca satisfacer las necesidades de

cada uno de los integrantes con la producción propia de la comunidad y, en caso de déficit, la energía faltante se compraría a la red externa. Por el contrario, en caso de superávit, los excedentes se venden externamente.

B. Las comunidades energéticas en la transición energética

Haciendo referencia a Yang *et al.* (2024), la transición energética es un proceso de transformación orientado hacia una mayor sostenibilidad y eficiencia, que implica un cambio significativo en los principales elementos del sistema energético, no solo en los recursos energéticos que se utilizan, sino también en las prácticas de producción, almacenamiento, transmisión y consumo de energía.

Las comunidades energéticas se consideran entidades que contribuyen con este proceso de transformación, pues desempeñan un papel crucial para el desenvolvimiento de sistemas que lleven a un consumo energético sostenible, promoviendo la descentralización y facilitando la integración de recursos renovables a nivel local. Estas comunidades, enmarcadas en el concepto de economía compartida, permiten que individuos y grupos colaboren en la generación, consumo y almacenamiento de energía, promoviendo así prácticas amigables con el medio ambiente que benefician tanto a los participantes como al entorno (Cuenca, Jamil & Hayes, 2021).

A diferencia de los modelos tradicionales, las comunidades energéticas buscan reducir la dependencia de fuentes de energía centralizadas, favoreciendo la producción local y la utilización de fuentes renovables para satisfacer las necesidades energéticas. Como indican Cuenca *et al.* (2021), esto no solo ayuda a reducir los costos de transmisión y las tarifas de la red, sino que también fomenta la autosuficiencia energética y contribuye a los objetivos establecidos por organizaciones gubernamentales para la descarbonización.

Una característica importante de estas comunidades es la capacidad de integrar diversas fuentes de energía para el abastecimiento de las necesidades de consumo de sus miembros, como resalta Ceglia *et al.* (2023). No obstante, los sistemas eléctricos fotovoltaicos predominan como la fuente energética principal en la gran mayoría de comunidades energéticas a pesar de que la hibridación de diversas fuentes renovables es crucial para una transición energética ecológica completa. La combinación de fuentes renovables como la biomasa, sistemas térmicos que hagan uso de energía solar, plantas hidroeléctricas, aerogeneradores, entre otros, permite maximizar la eficiencia energética y la estabilidad de la red, especialmente en redes urbanas complejas que suelen depender en su mayoría del consumo de combustibles fósiles.

El estudio de Fouladvand *et al.* (2024), destaca la importancia de la disponibilidad de opciones energéticas alternativas, ya que permite a los hogares participar activamente en la transición energética de manera que influya directamente en los resultados ambientales, promoviendo prácticas sostenibles y una mayor autogestión energética. A su vez, su trabajo sugiere involucrar a la ciudadanía en los procesos de gobernanza energética, recomendando a los responsables políticos consultar a los hogares sobre las fuentes de energía a utilizar y empoderarlos en la toma de decisiones para acelerar la transición energética, enfatizando el valor de las comunidades energéticas como plataformas viables para alcanzar una mayor sostenibilidad. Sumado al establecimiento de políticas públicas orientadas a incentivar el uso de energías renovables que potencien la viabilidad económica de las comunidades energéticas, expandiendo su impacto positivo en el marco de los objetivos ambientales europeos y promoviendo un modelo de autogestión energética que empodere a los ciudadanos.

C. Las comunidades energéticas en España.

En el contexto español, las comunidades energéticas se caracterizan por su enfoque en reducir la pobreza energética y fomentar la participación ciudadana en la generación y gestión de energía renovable. Como explican Parreño *et al.* (2023) la formación de comunidades energéticas en este territorio ha proliferado, impulsadas por la necesidad de abordar la pobreza energética, la alta dependencia de fuentes externas y los altos costos energéticos. Como se ha mencionado y se explica en este artículo, en la práctica, las comunidades energéticas españolas se enfocan en la autogeneración de energía mediante instalaciones de paneles solares fotovoltaicos en edificios públicos y viviendas cercanas. Estas instalaciones colectivas permiten a los participantes cubrir su consumo energético y reducir sus costos de electricidad, con un énfasis particular en beneficiar a los hogares más vulnerables. En la Figura 2 se muestra un mapa con más de 40 comunidades energéticas en proceso de formación dentro España para el año de 2023.



Fuente: García, P. (2023)

Figura 2. Mapa de proyectos de comunidades energéticas en España para el 2023.

Para establecer una comunidad energética en España, es esencial considerar factores técnicos, como la ubicación de las instalaciones de generación y la capacidad de distribución de energía, así como factores sociales y económicos. Además, el marco regulatorio español exige que las comunidades energéticas se constituyan como entidades legales con participación voluntaria y abierta. Estas comunidades deben operar bajo un modelo de autogestión que no persiga beneficios financieros, sino sociales, ambientales y económicos para sus miembros y la comunidad local.

Ahondando en este tema, específicamente en España, la legislación respecto a las comunidades energéticas se apega a lo establecido por la Comisión Europea en la Directivas 2018/2001 (2018) y la Directiva 2019/944 (2019). En adición a esto, desde 2022 se ha desarrollado documentación mensual que contribuye a la búsqueda de la seguridad energética y la protección de consumidores vulnerables, con medidas que permiten cumplir con objetivos sostenibles y adaptarse de manera flexible a la volátil situación energética global.

En esta documentación, de nombre “Plan + Seguridad Energética” se establecen medidas de rápido impacto que abarca temas como el ahorro y la eficiencia energética, la protección del consumidor y el impulso a la transición energética. En este último punto, se engloban aspectos de autoconsumo y comunidades energéticas; la medida 33 tomada por el Ministerio para la

Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2023) en el Plan + Seguridad Energética de Abril 2023, se define una limitación a las definiciones que se han dado para las comunidades energéticas; que establece un límite máximo de distancia para el autoconsumo a través de la red, siendo este límite una distancia máxima de 2 kilómetros entre miembros.

En adición a estos planes centrados en la seguridad energética, en el Boletín Oficial del Estado (BOE) se han publicado disposiciones que rigen a las comunidades energéticas. Según lo publicado en el BOE del 25 de julio de 2024 para ser beneficiario de los programas de soporte y seguimiento del gobierno español, la comunidad energética renovable o comunidad energética ciudadana, deberán estar formada por un mínimo de cinco socios o miembros, debiendo conservar su autonomía con relación a la administración de la comunidad. Estos puntos publicados en la legislación marcan límites y requisitos mínimos para la formación de comunidades energéticas en territorio español, que se deben considerar para el establecimiento de nuevas comunidades energéticas o la adición de nuevos socios a una comunidad ya establecida.

En resumen, y haciendo referencia a lo establecido por García (2021), las comunidades energéticas representan una vía para que España avance hacia una transición energética más inclusiva y sostenible. La implementación de estas comunidades puede contribuir a una mayor independencia energética, menores costos y un menor impacto ambiental. Las políticas de apoyo y el desarrollo de marcos regulatorios específicos son cruciales para superar las barreras actuales y permitir una expansión eficaz y sostenible de las comunidades energéticas en este territorio. Las experiencias de comunidades en diferentes regiones muestran cómo estas iniciativas pueden adaptarse a distintos entornos, desde áreas rurales hasta suburbanas, y abordan no solo la generación y distribución de energía, sino también el fortalecimiento de la cohesión social y la resiliencia comunitaria.

D. Beneficios de formar parte de una comunidad energética.

Se ha destacado el rol que cumplen las comunidades energéticas en la búsqueda de sistemas de consumo energético resilientes, sostenibles en el tiempo y que reduzcan la dependencia de sistemas centrados en el consumo de combustibles fósiles; estos aspectos deben instar a organismos gubernamentales a la acción para el desarrollo de más comunidades energéticas, pero también es relevante destacar los beneficios a los que los integrantes de las comunidades

se exponen por su participación en este tipo de sistemas de consumo, dando paso a motivaciones individuales que se presentan para la creación de más comunidades energéticas.

Inicialmente, formar parte de una comunidad energética brinda la posibilidad de reducir costos en la factura eléctrica gracias al autoconsumo y la autogeneración de energía. En la gran mayoría de casos se hará uso de fuentes renovables, lo que permite que los miembros de la comunidad energética reduzcan su dependencia de las tarifas establecidas por la red y de los precios volátiles de la electricidad en el mercado, generando así ahorros significativos a largo plazo.

En adición, y como explica Brummer (2018), en términos económicos las comunidades energéticas permiten generar ingresos adicionales que se derivan de la venta de energía y alquiler de terrenos o techos para instalaciones energéticas, así como del incremento en el empleo local debido a la construcción y mantenimiento de instalaciones renovables. Además, las comunidades energéticas fomentan una mayor autonomía energética, ya que los miembros tienen la capacidad de generar y gestionar su propia electricidad. Esto no solo les da control sobre sus costos energéticos, sino que también aumenta la resiliencia frente a interrupciones en el suministro de la red eléctrica, ya que la energía generada localmente puede cubrir la demanda de los miembros en situaciones de emergencia.

Socialmente, estas comunidades también generan beneficios significativos al promover la cooperación y el empoderamiento ciudadano. Como indica Lazdins *et al.* (2021) los miembros de una comunidad energética tienen voz en las decisiones sobre el uso y gestión de los recursos energéticos, lo cual fortalece la cohesión social y fomenta un modelo de consumo donde la participación e integración social es clave para el cumplimiento de los objetivos de la comunidad. Este sentido de colectividad y colaboración busca incentivar también una mayor aceptación y confianza en las energías renovables a nivel local.

En cuanto a los beneficios ambientales, como ya se ha comentado, la producción descentralizada de energía a partir de fuentes renovables reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuye a la mitigación del cambio climático. Sumado a que los miembros de las comunidades energéticas suelen desarrollar una mayor conciencia ambiental y una disposición hacia estilos de vida más sostenibles, lo que refuerza los objetivos de protección climática.

Esta transición energética impulsada desde el ámbito comunitario facilita la aceptación y confianza en las energías renovables, reduciendo la resistencia que en ocasiones enfrenta la instalación de proyectos de energía limpia, además que actúa como plataforma educativa para la

mejora en el conocimiento técnico de sus miembros sobre la generación y consumo de energía. (Brummer, 2018).

E. Barreras identificadas para el establecimiento de comunidades energéticas.

La implementación de las comunidades energéticas requieren del trabajo conjunto de distintos actores, tanto públicos como privados, para asegurar el buen funcionamiento de la comunidad y el cumplimiento de los objetivos establecidos con este sistema de consumo comunitario. Esta labor implica desafíos que se han identificado con diversos artículos de comunidades energéticas establecidas en Europa y América. En países como Reino Unido, Alemania y Estados Unidos, Brummer (2018) señala que el principal desafío radica en la complejidad del marco legal y de los requisitos de planificación. En la actualidad, las comunidades energéticas dependen fuertemente de la acción de los interesados por gestionar la organización inicial de la comunidad, en la mayoría de los casos sin asesoría y seguimiento de organismos gubernamentales. Por esta razón, la burocracia para establecer cooperativas y la obtención de financiamiento son obstáculos significativos, especialmente cuando se requieren permisos específicos o se deben seleccionar estructuras legales complejas para el establecimiento de la comunidad.

Aunque algunos países como España han avanzado en la promoción de comunidades energéticas mediante políticas específicas que tratan estos sistemas, las regulaciones en muchos países de la comunidad europea no facilitan la formación de estas comunidades. En particular, se hace frente a una situación con el sistema tradicional de abastecimiento energético, debido a que el monopolio de las grandes empresas de servicios eléctricos limita la flexibilidad para que los prosumidores compartan su energía excedentaria, lo cual reduce el atractivo económico de estas comunidades.

Como indican Cuenca *et al.* (2021), las regulaciones del mercado energético tradicional y las políticas de gestión de la red eléctrica suelen favorecer a las grandes compañías de generación energética, desincentivando a los prosumidores para la creación de comunidades energéticas, y reduciendo la inversión y participación en este tipo de modelos.

Desde el ámbito económico, existen costos iniciales asociados con la instalación de paneles solares, baterías, u otros medios de generación de energía que representan una barrera considerable, especialmente para los hogares de bajos ingresos. Como ya se ha explicado, las comunidades energéticas ofrecen el potencial de ahorro a mediano plazo, pese a ello la falta de financiamiento accesible y subsidios adecuados impide que muchas personas consideren esta

opción para su participación dentro de una comunidad. Asimismo, la viabilidad económica de estos sistemas depende de políticas con incentivos adecuados que, en muchos casos, aún no están completamente desarrolladas en algunos países.

También debe existir motivación por parte de la sociedad para la participación en comunidades energéticas y demás sistemas de consumo colectivo. Como explican Lazdins *et al.* (2021), hace falta un aumento en la conciencia social en relación con el consumo energético responsable y en la comprensión y difusión de los beneficios de las comunidades energéticas. Por lo general, los consumidores no están familiarizados con el concepto de prosumidor o con el funcionamiento de estos sistemas de consumo colectivo, lo cual genera desconfianza y falta de interés en estas alternativas. Adicionalmente, la cooperación entre los miembros de la comunidad y la comunicación efectiva con los responsables políticos también son desafíos críticos para el desarrollo de estos proyectos.

Con el fin de superar estas barreras, se deben implementar medidas coordinadas por medio de políticas públicas, apoyo institucional, y la participación de organismos privados para la contribución de la labor ciudadana para el desarrollo de este tipo de modelos. Con proyectos como TRANSCOM se busca cooperar para el establecimiento de más comunidades energéticas en la región de EuroACE, con sistemas de apoyo y seguimiento para el control de las comunidades, así como el establecimiento de programas de educación y sensibilización para que los ciudadanos comprendan e identifiquen los beneficios de estas comunidades.

Modelos de Análisis de Candidatos para una Comunidad Energética

Según datos publicados por el Observatorio de Comunidades Energéticas Energía Común (2024), en España se contabilizan alrededor de 350 comunidades energéticas activas en la actualidad, cada una de ellas comparten un objetivo común: alcanzar autonomía energética y poder mejorar la calidad en el suministro energético que reciben y en lo que pagan por este servicio. A modo de ejemplo, en la comunidad autónoma de Asturias, se estableció una comunidad energética con los residentes del pueblo de Peón, en un reporte realizado para la revista Bit del Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación y de la Asociación Española de Ingenieros de Telecomunicación, Cima y Cabrera (2024) enumeran los pasos tomados en el proceso de formación de dicha comunidad energética, como se observa en la Figura 3.

1	Evaluar la radiación solar, el consumo energético, las opciones tecnológicas y las posibilidades financieras.
2	Involucrar a los miembros para asegurar que comprendan los beneficios y responsabilidades.
3	Seleccionar el modelo de generación adecuado y dimensionar la instalación asegurando la aceptación de todos los participantes.
4	Contratar a una ingeniería especializada que ayude a realizar simulaciones y decidir entre un sistema de inyección directa, baterías o sistema mixto. Ajustar los coeficientes de reparto.
5	Calcular la aportación económica de cada participante considerando subvenciones y opciones de financiación, e informar a todos los participantes.
6	Constituir una figura jurídica (asociación o cooperativa), obtener un proyecto técnico y licencia de obras (para instalaciones >15 kW), y cumplir con los trámites legales de la región.
7	Realizar la instalación con profesionales y preparar la documentación necesaria para la legalización. Definir los coeficientes de reparto en base a la producción y el consumo.
8	Legalizar la instalación ante la Consejería de Industria de la Comunidad Autónoma, solicitar un contador inteligente y enviar el contrato de autoconsumo colectivo con los coeficientes de reparto.
9	Implementar un sistema de monitorización y plan de mantenimiento regular.
10	Revisar resultados, asegurar el cumplimiento de objetivos y ajustar el sistema si es necesario.

Fuente: Cima y Cabrera (2024)

Figura 3. Implementación de comunidades energéticas paso a paso.

En los pasos iniciales de análisis e involucramiento de miembros es donde proyectos como TRANSCOM, que buscan la formación proactiva de comunidades energéticas, han encontrado áreas de mejora debido a que la intención y voluntad por encontrar nuevas formas para el abastecimiento energético es llevado a cabo por los propios posibles miembros de la comunidad una vez que han encontrado disconformidades en su suministro o en su factura energética.

Cuando se menciona, la formación proactiva de comunidades energéticas hace referencia a que el análisis de los candidatos se realice sin la necesidad de que uno o más de los candidatos presenten disconformidades con su factura o con el servicio recibido; por el contrario que organizaciones como TRANSCOM tengan la capacidad de analizar una gran cantidad de candidatos y con base en sus perfiles de consumo y producción, identificar a las organizaciones que según estos perfiles y sus características, encajan adecuadamente para el establecimiento de una comunidad energética y que cumplen con la legislación determinada para estas comunidades.

Por esta razón, se revisa la literatura con el fin de encontrar modelos para el análisis de candidatos a formar parte de una comunidad energética. La investigación realizada por Debusschere *et al.* (2022), se enfoca en la expansión de comunidades energéticas existentes, por medio de la selección de nuevos miembros entre un grupo de candidatos. La selección del nuevo miembro de la comunidad se realiza por medio de un proceso iterativo donde el mejor candidato se agrega como nuevo miembro de la comunidad energética y se realizan simulaciones para analizar el comportamiento que tendría la comunidad con la adición de este nuevo integrante. En la Figura 4 se ejemplifica de manera sencilla el tema abarcado en dicha investigación.



Fuente: Debusschere *et al.* (2022)

Figura 4. Proceso iterativo de expansión de una comunidad energética.

Para el análisis de todo el set de candidatos, y la identificación del posible mejor nuevo miembro, en el modelo se utilizan dos métricas que se calculan durante todo el horizonte temporal analizado.

La primer métrica se basa en una puntuación de coincidencia que se le asigna al candidato, en el cual se basa en el cálculo del perfil de desajuste de la comunidad (*Community Mismatch Profile, CMP*). Este CMP se calcula en función del superávit o déficit que la comunidad presenta y se calcula con la Ecuación 2.1, los miembros de la comunidad energética (n) forman parte del conjunto N .

$$P_{comm,t}^{CMP} = \sum_{n \in N} P_n^{PV} - \sum_{n \in N} P_n^{load} \quad (2.1)$$

Donde:

$P_{n,t}^{PV}$ = Producción de un miembro n .

$P_{n,t}^{load}$ = Consumo de un miembro n .

Con esta métrica se puede obtener la curva de consumo de la comunidad energética existente y compararlo con el consumo neto de los candidatos, que se obtiene con la Ecuación 2.2, se indica que los candidatos (m) forman parte del conjunto M .

$$P_{m,t}^{net-load} = P_m^{load} - P_m^{PV} \quad (2.2)$$

Donde:

$P_{m,t}^{load}$ = Consumo del candidato m .

$P_{m,t}^{PV}$ = Producción del candidato m .

Con estos valores, se puede identificar si la comunidad energética sufre un déficit energético, y si con el valor neto de consumo de un candidato m puede ayudar a contrarrestar el déficit de la comunidad. Para la utilización de esta métrica, los autores proponen un sistema de puntuación para estimar el grado de coincidencia entre la necesidad de la comunidad y el perfil del candidato, la programación de este se observa en el Anexo 1.

La segunda métrica utilizada para el análisis de los candidato, considera el autoconsumo colectivo de la comunidad, que se define como el consumo que se abastece con producción local dentro

de la comunidad. El autoconsumo colectivo (*Collective Self-Consumption, CSC*) se calcula con la Ecuación 2.3.

$$CSC^h = \sum \left(\min \left(\sum_{n \in N} P_n^{load}, \sum_{n \in N} P_n^{PV} \right) \right) \quad (2.3)$$

Continúa con el análisis del autoconsumo colectivo con la adición de un candidato m como se muestra en la Ecuación 2.4 y con la Ecuación 2.5 se obtiene la contribución de cada candidato al autoconsumo colectivo de la comunidad energética, y de esta forma resaltar cuales candidatos son los que aportan a la comunidad debido a sus perfiles de consumo y producción.

$$CSC_m^{h'} = \sum \left(\min \left(\sum_{n \in N} P_n^{load} + P_m^{load}, \sum_{n \in N} P_n^{PV} + P_m^{PV} \right) \right) \quad (2.4)$$

$$\Delta CSC_m^h = CSC_m^{h'} - CSC^h \quad (2.5)$$

Estas dos métricas son el método heurístico que se utiliza en la investigación de Debusschere *et al.* (2022) para analizar las necesidades de producción y consumo de la comunidad energética, y con base en esto seleccionar el mejor candidato para unirse a la comunidad.

Otros documentos no se enfocan en el análisis de candidatos para la expansión o en la selección de candidatos para la formación de una comunidad energética, sino que establecen métricas para tener un criterio de evaluación del rendimiento que un edificio con producción propia está teniendo con respecto a su consumo. Esto se puede tomar de referencia para el análisis de miembros de una comunidad, y comparar su rendimiento con el que están presentando el resto de los integrantes de la comunidad energética. En la investigación de Luthander *et al.* (2015), se define el autoconsumo de un edificio como la relación entre la energía fotovoltaica utilizada directamente por el edificio entre la cantidad total neta generada por las instalaciones. Se calcula como se muestra en la Ecuación 2.6.

$$Autoconsumo = \frac{PV_e}{G_e + PV_e} \quad (2.6)$$

Donde:

PV_e = Energía fotovoltaica utilizada directamente dentro del edificio en kWh.

G_e = Generación total neta de electricidad del edificio en kWh.

En este trabajo también tratan el término de autosuficiencia, utilizado para expresar el grado en que la generación fotovoltaica local es suficiente para cubrir las necesidades energéticas del edificio. Se calcula con la Ecuación 2.7.

$$Autosuficiencia = \frac{PV_e}{D_e + PV_e} \quad (2.7)$$

Donde:

D_e = Demanda total de electricidad del edificio en kWh.

Con estos criterios se permite evaluar si un edificio con producción propia es capaz de satisfacer sus necesidades eléctricas de consumo. También se encuentra en la literatura análisis de miembros de una comunidad energética, cuando la producción supera la necesidad de un miembro, utilizando estos superávits energéticos para resaltar el aporte que un miembro puede realizar al resto de la comunidad.

En el artículo realizado por Araújo *et al.* (2023) se calcula la energía que puede compartir un edificio (i) perteneciente a una comunidad energética (EP_i) como se muestra en la Ecuación 2.8.

$$EP_i = \sum EX_i \cdot \frac{CL_i}{\sum CL_i} \quad (2.8)$$

Donde:

EX_i = Superávit energético del edificio i .

CL_i = Consumo energético neto del edificio i .

Con esta fórmula se permite analizar el aporte energético que un miembro de la comunidad puede suministrar a otros miembros que presentan déficit, considerando su consumo con respecto al del resto de miembros. Esto es relevante debido a que da una imagen del aporte que puede realizar el integrante, en función del consumo neto de cada integrante de la comunidad, permitiendo compartir de forma proporcional este excedente. En este mismo artículo también se analiza la energía que puede compartir un miembro de la comunidad con superávit, pero con base en un coeficiente estático, llamado factor de reparto. Este factor de reparto es independiente del consumo neto del resto de miembros, el objetivo de esto es asegurar que siempre exista distribución de excedentes a los miembros de la comunidad en caso de superávit de algún miembro. Este coeficiente es calculado con base al total de miembros presentes en la comunidad.

La energía que puede compartir un edificio, haciendo uso de esta metodología de coeficientes constantes se calcula como se muestra en la Ecuación 2.9.

$$EP_i = \sum EX_i \cdot F_i \quad (2.9)$$

Como se ha visto en la literatura, se encuentra conocimiento referente a métricas para el análisis de edificios con producción energética asociada, principalmente de las que hacen uso de instalaciones fotovoltaicas, de miembros de comunidades energéticas con superávits y los repartos de energía a efectuar; y también del análisis de candidatos para unirse a una comunidad energética existente con datos históricos del funcionamiento de la comunidad.

Sin embargo, se identifica una brecha de conocimiento en la literatura de investigaciones que tratan el tema del análisis inicial de candidatos para la formación de una comunidad energética. Concretamente de trabajos que consideren perfiles de edificios con consumo y producción energética asociada, y con base en criterios de selección establecidos, se genere un análisis de cuáles perfiles encajan entre sí para el establecimiento de una comunidad energética.

III. METODOLOGÍA

La revisión de literatura desarrollada se realizó con la búsqueda de documentación en bases de datos suscritas al Instituto Tecnológico de Costa Rica, concretamente se evaluaron publicaciones de los sitios EBSCO Host, IEEE Xplore Digital Library, ScienceDirect, Web of Science y Wiley Online Library.

Con el propósito de detallar de manera precisa los métodos y procedimientos necesarios para la ejecución de este proyecto, a continuación se presentan los objetivos específicos definidos en la investigación, junto con su descripción y plan a seguir para su obtención.

- Establecer un conjunto de criterios cuantitativos (técnicos) y cualitativos (de aceptación y rechazo), que valoren a las comunidades energéticas propuestas, considerando la variabilidad en el suministro y demanda energética y las características individuales de las organizaciones candidatas.

Este objetivo se cumple tras un análisis metódico en el que se consideren aspectos cuantitativos y cualitativos para evaluar la idoneidad de potenciales candidatos a conformar una comunidad energética y los resultados posteriores tras la unión de dichos candidatos en una comunidad. Se inicia con una revisión y uso de material bibliográfico para la identificación de criterios cualitativos a considerar para la formación de una comunidad energética y se continúa con la formulación y establecimiento de métricas relevantes a considerar en el análisis y se constituye un marco justo y detallado para la valoración objetiva de todas las organizaciones candidatas a conformar comunidades energéticas.

Los criterios cualitativos, que se consideran de aceptación o rechazo para la formación de una comunidad energética, se disponen con base en regulaciones específicas de la legislación española; la importancia de estos criterios radica en la necesidad de poder analizar a todas las comunidades energéticas propuestas de manera objetiva, transparente y con un proceso de selección claro y basado en criterios medibles que contribuyan con la equidad y estabilidad de la comunidad a largo plazo. Este análisis, cuenta con diversos criterios tanto de características individuales de cada organización candidata, así como los valores cuantitativos referentes a su producción y consumo; por lo que finalmente con base en el cumplimiento de los criterios cualitativos por parte de las comunidades energéticas propuestas, y los resultados cuantitativos obtenidos gracias a las métricas utilizadas, se genera fundamentación objetiva para la decisión de establecer una comunidad energética con las organizaciones candidatas interesadas.

En la Figura 5 se diagrama el flujo del proceso a seguir anteriormente mencionado para la consecución de este objetivo.

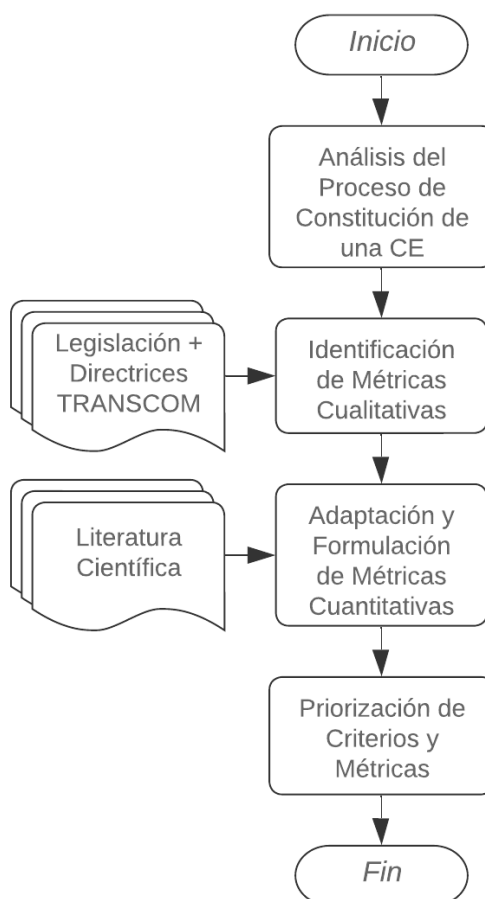


Figura 5. Diagrama de flujo del desarrollo del objetivo específico 1.

Gracias a la revisión bibliográfica realizada se identifican condiciones específicas para el establecimiento de una comunidad energética, como lo estipulado en la Orden TED/764/2024 publicado en el Boletín Oficial del Estado, que establece un mínimo de cinco miembros para las comunidades energéticas que se forman en territorio español. En cuanto a las características cualitativas de las organizaciones candidatas, la ubicación de los miembros y distancia entre sí es relevante debido a que para el cumplimiento de la legislación española la distancia entre miembros de un proyecto de autoconsumo colectivo no debe ser mayor a 2000 metros. El tipo de edificio que forma parte de la comunidad es importante de destacar debido a que por las definiciones que se han brindado para las comunidades energéticas, los miembros deben ser una

persona física, pymes, autoridades locales o municipios. Dentro de la categoría de municipio, se identifican de tipo sanitario, administrativo, cultural, transporte, residencial, docente o deportivo.

La fuente de producción energética también es relevante, debido a que el proyecto TRANSCOM se enmarca en el objetivo político de la Unión de una Europa más verde, hipocarbónica y en transición hacia una economía con cero emisiones netas de carbono, y en el objetivo específico de potenciar las energías renovables de conformidad con las Directivas europeas sobre energías renovables. Por esta razón, la fuente de producción de los miembros de la comunidad energética debe ser renovable. En el Cuadro 2 se enlistan las características cualitativas de las comunidades energéticas a tratar en este proyecto.

Cuadro 2. Características cualitativas de comunidades energéticas a evaluar.

Característica	Descripción
Fuente de energía	Fuentes renovables.
Tipo de edificio	Municipios, persona física, pymes o autoridades locales.
Distancia	< 2000 metros entre miembros de la comunidad.
Cantidad de miembros	> 5 miembros.

Como parte del análisis cuantitativo, con los datos mensuales de producción y consumo de las organizaciones candidatas y su agrupación en comunidades energéticas, se puede calcular la primer métrica. El Autoconsumo Colectivo (ACC), evidencia si la comunidad energética propuesta es capaz de cubrir su demanda con su producción o si por el contrario necesita de la red externa para suplir satisfactoriamente la demanda. Se calcula con la Ecuación 3.1 para una comunidad energética m .

$$ACC_m = \min \left(\sum_i^n Producción_i, \sum_i^n Consumo_i \right) \quad (3.1)$$

De esta forma, si el ACC_m es igual a la sumatoria del consumo de la comunidad, se puede concluir que la comunidad cumple con un autoconsumo pleno debido a que no depende de la red externa para satisfacer sus necesidades. Por el contrario, si el ACC_m es igual a la sumatoria de la producción de la comunidad, la comunidad energética tiene que comprar de la red externa para satisfacer sus necesidades. Dichas cantidades de ahorro o compra se cuantifican con el valor del kW/h en el mercado español, con su precio tanto de compra como de venta.

La segunda métrica se calcula con base en el consumo neto individual de cada miembro de la comunidad, para obtener la información de si la organización presenta déficit o superávit energético en algún momento, además de obtener la Curva Neta de Consumo (CNC) del candidato en el espacio temporal de que se analiza. Este cálculo se obtiene con la Ecuación 3.2 para un candidato i .

$$CNC_i = Producción_i - Consumo_i \quad (3.2)$$

Posteriormente se agrupan los candidatos en las comunidades energéticas, y mediante la sumatoria del CNC individual de los miembros se obtiene la CNC de toda la comunidad, de esta forma se puede visualizar si con la unión de los candidatos se puede cubrir los periodos de déficit que un candidato sufre en un momento temporal específico. Para una comunidad energética m esto se obtiene con la Ecuación 3.3.

$$CNC_m = \sum_i^n Producción_i - \sum_i^n Consumo_i \quad (3.3)$$

A mayor valor de CNC_m , mayor será la capacidad de la comunidad energética de satisfacer las necesidades de todos sus miembros, y obtener una retribución económica por los excedentes de que presenta. Por el contrario, si la comunidad energética presenta bajos valores de CNC_m o incluso negativos, evidenciará su dependencia a la red tradicional debido a que los perfiles de producción y consumo de sus miembros no se complementan adecuadamente.

Con estos valores mensuales de CNC_m se puede cuantificar monetariamente lo que la comunidad ahorra debido a una posible venta de excedentes a la red; o por el contrario el gasto en el que debe incurrir para cubrir su demanda. En la Ecuación 3.4 se muestra.

$$Monto\ económico = \begin{cases} CNC_m \cdot Precio\ de\ venta, & CNC_m > 0 \\ CNC_m \cdot Precio\ de\ compra, & CNC_m \leq 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

El precio de compra se establece según lo definido por la Red Eléctrica de España (2024), en su página oficial, donde indica que desde el 1 de Enero de 2024, el cálculo del término de facturación de energía activa (FEU) en €/kWh del precio voluntario del pequeño consumidor (PVPC), se ha modificado de acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 446/2023 de 13 de junio con el objetivo de reducir su volatilidad a través de su indexación a los precios de los mercados a plazo. El cálculo del coste tiene en cuenta el precio medio horario resultante del mercado diario, un nuevo componente como término de ajuste indexado a los precios de mercados a futuros,

servicios de ajuste del sistema y otros costes recogidos en normativa vigente. En 2023 según datos históricos de la página de la Red Eléctrica de España el precio de compra medio del kWh de energía se establece en 0,146848 €.

Por su parte, y según lo establecido en el Real Decreto 244/2019 de 5 de abril de 2022, para los sistemas de autoconsumo que cuenten con excedentes energéticos que viertan a la red eléctrica tradicional dichos excedentes, se les otorgará una compensación monetaria según el precio establecido en el periodo temporal específico. Según los datos históricos publicados en la página de la Red Eléctrica de España para 2023, el precio medio de la energía excedentaria del autoconsumo para el mecanismo de compensación simplificada se establece en 0,085720 € el kWh.

A modo de resumen, en el Cuadro 3 se enumeran los criterios cualitativos y cuantitativos a evaluar en las comunidades energéticas para su establecimiento.

Cuadro 3. Criterios cualitativos y cuantitativos para la evaluación de comunidades energéticas.

Criterios	Características	Descripción
Cualitativos	Fuente de producción	Los miembros de la comunidad con fuente de producción renovable.
	Tipo de edificio	El tipo de edificio de los miembros de la comunidad se cataloga como: Municipio, Autoridad local, Pyme o Persona física.
	Distancia máxima para el autoconsumo	La distancia entre miembros no supera los 2000 metros.
	Cantidad de miembros de la comunidad	La comunidad cuenta con un mínimo de cinco miembros.
Cuantitativos	Autoconsumo Colectivo (ACC)	$ACC_m = \min \left(\sum_i^n Producción_i, \sum_i^n Consumo_i \right)$
	Curva Neta de Consumo (CNC)	$CNC_m = \sum_i^n Producción_i - \sum_i^n Consumo_i$

- Diseñar una aplicación informática que evalúe a organizaciones candidatas a conformar una comunidad energética basado en sus perfiles de consumo, producción y la complementariedad con otros miembros potenciales de la comunidad en relación con los criterios de aceptación y rechazo establecidos.

Este objetivo se cumple siguiendo un enfoque sistemático en el que, por medio del desarrollo de la aplicación para la evaluación de las comunidades energéticas propuestas conformadas por las organizaciones candidatas, se diseña un sistema de selección que no considera únicamente el análisis individual de los interesados, sino también su interacción y complementariedad con otros aspirantes.

Conseguir lo anterior incluye lo siguiente: la diagramación del proceso a seguir para la selección de organizaciones candidatas a conformar una comunidad energética, acotando los criterios objetivos que se utilizan para la toma de decisiones, y la evaluación de todas las posibles combinaciones de candidatos, con el fin de identificar las comunidades energéticas que cumplen de mejor manera los criterios y métricas establecidas.

En el diseño de la aplicación informática, se considera la capacidad de procesar gran cantidad de datos de manera intuitiva y rápida para el usuario, por lo que se realiza la estructuración de una base de datos para el ingreso de información de consumo y producción de las organizaciones que se analizan. Se realiza la programación de tres grandes bloques, el primero para la recepción y almacenamiento de datos, el segundo para la presentación de todas las comunidades energéticas posibles a conformar con la cantidad de organizaciones candidatas estudiadas; y el tercero referente al análisis y presentación de resultados de dichas comunidades con base en las métricas establecidas.

La construcción de esta aplicación representa un avance significativo hacia el enfoque proactivo que se le quiere dar a la creación de comunidades energéticas, donde a diferencia de la perspectiva reactiva utilizada actualmente que solo aborda problemas energéticos una vez han surgido, esta aplicación permite anticipar posibles desafíos y oportunidades al evaluar a candidatos antes de la formación de la comunidad.

Finalmente, se considera el desarrollo de copias de seguridad y establecimiento de la aplicación en un repositorio web para el resguardo de la aplicación realizada, en caso de presentar fallos o pérdidas del documento durante el uso del cliente final; además de un manual de uso para la explicación de las funcionalidades de la aplicación. En la Figura 6 se diagrama el proceso anteriormente explicado.

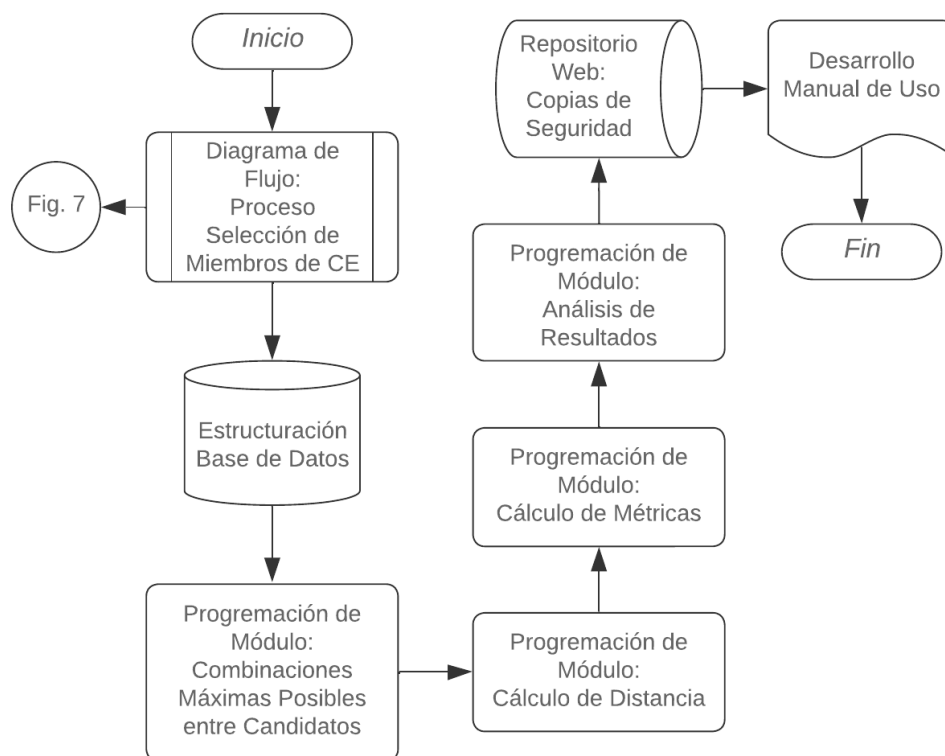


Figura 6. Diagrama de flujo del desarrollo del objetivo específico 2.

A continuación se diagrama el flujo presente en el proceso de utilización de la aplicación, considerando la selección de organizaciones aptas para ser candidatas a una comunidad energética y los criterios aplicados a las comunidades energéticas propuestas con el fin de evaluar su validez para su formación como comunidad. Se visualiza en la Figura 7.

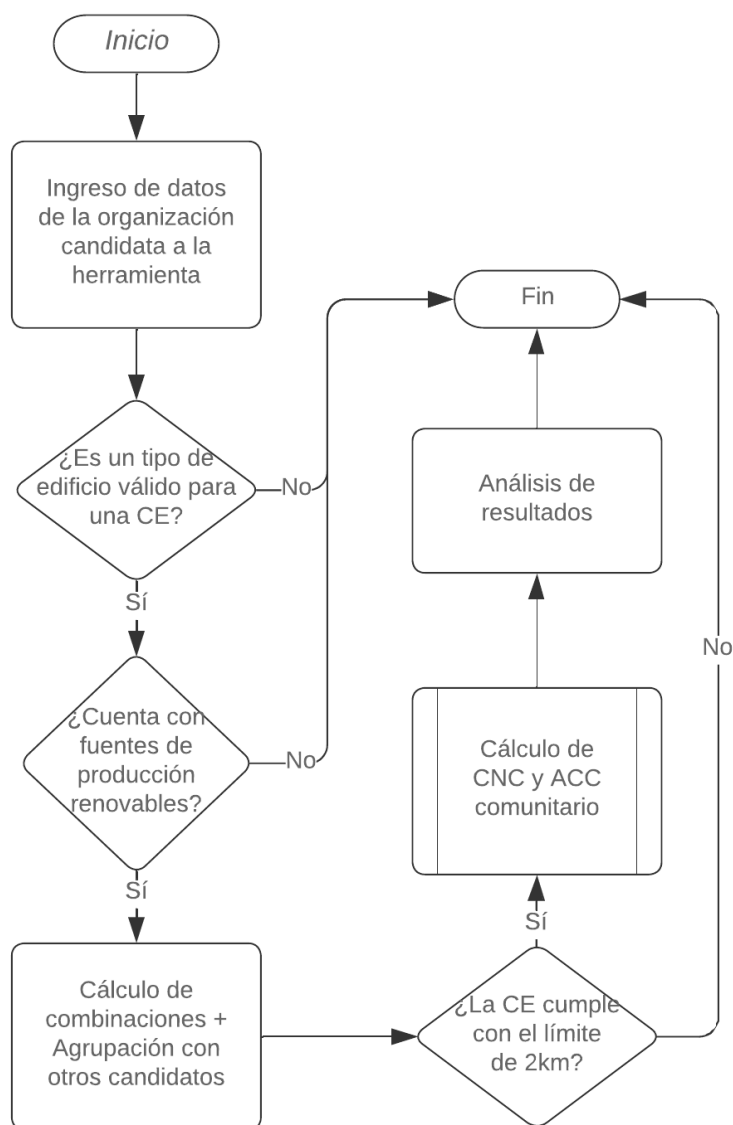


Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de utilización de la aplicación informática.

Con base en el número de organizaciones candidatas que entrarán en el análisis, se calcula el número máximo de comunidades energéticas que se pueden formar con dicha cantidad. Se destacan dos aspectos relevantes para el cálculo de este valor, el primero de ellos es que el orden dentro de las agrupaciones no es considerado.

A modo de ejemplo, si se establece que una comunidad energética está formada por un “Candidato 1”, “Candidato 2” y “Candidato 3”. Es lo mismo a que se diga que la comunidad está formada por el “Candidato 3”, “Candidato 2” y “Candidato 1”.

Con esto, se logra identificar que las agrupaciones que se realizan para el establecimiento de comunidades energéticas es mediante combinaciones y no por medio de permutaciones. Como indica Walpole, Myers y Myers (2012) en el libro de Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias, una combinación es realmente una partición con dos celdas, donde una celda contiene los r objetos seleccionados y la otra contiene los $(n - r)$ objetos restantes. El número de tales combinaciones se denota con $\binom{n}{r}$.

El segundo aspecto por tomar en cuenta es que en estas combinaciones no se consideran válidas las repeticiones dentro de la agrupación, por la naturaleza individual de los miembros, una organización no puede formar parte de una comunidad energética más de una vez. Teniendo esto presente, se calcula el número de combinaciones de n objetos distintos tomados de r a la vez con la Ecuación 3.5.

$$\binom{n}{r} = \frac{n!}{r!(n-r)!} \quad (3.5)$$

Con esta fórmula se calcula el número de combinaciones que se pueden hacer con la cantidad de organizaciones candidatas que se estudian, de tamaño variable r ; por esta razón en la Ecuación 3.6 se muestra el cálculo de la cantidad máxima de combinaciones a realizar con la cantidad de candidatos n .

$$\sum_5^n \binom{n}{r} \quad (3.6)$$

Se destaca que la sumatoria mostrada en la Ecuación 3.6 inicia con un r igual a 5 debido a que esta es la cantidad mínima de miembros que una comunidad energética puede tener para su establecimiento en territorio español.

Posteriormente se calcula la distancia entre miembros de la comunidad energética a partir de los valores de latitud y longitud registrados de cada organización candidata. Con esta información se obtiene la distancia en metros que separan a los candidatos de una comunidad energética. Esto se lleva a cabo con el fin de verificar el cumplimiento de la legislación española con respecto al autoconsumo colectivo, que indica que la distancia máxima entre candidatos no debe superar los 2000 metros. Para este cálculo se genera una matriz con los candidatos que pertenecen a una comunidad energética, como se muestra en la Figura 8.

$$[Distancia] = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & \cdots & D_{1j} \\ D_{21} & 0 & \cdots & \cdots \\ \vdots & \cdots & 0 & \cdots \\ D_{i1} & \cdots & \cdots & D_{ij} \end{bmatrix}$$

Figura 8. Matriz con distancias en metros entre miembros de una comunidad energética.

Cada elemento de la matriz muestra la distancia entre el candidato i con el candidato j . Así, la diagonal representa la distancia de un candidato con respecto a sí mismo, por lo que dicha distancia es igual a 0 metros. Se destaca que la matriz es simétrica con respecto a la diagonal. Consecuentemente, tomando los elementos situados por encima de la diagonal, se evalúa si la distancia existente entre un candidato y otro supera los 2000 metros. En ese caso, dicha comunidad energética queda descartada por no cumplir con uno de los criterios cualitativos definidos para las comunidades.

Con las comunidades energéticas que sí cumplen con estos criterios, se realiza el análisis cuantitativo basado en los perfiles de producción y consumo registrados de todos los miembros pertenecientes a la comunidad. Se calcula el autoconsumo colectivo (ACC) y la curva neta de consumo (CNC) con la Ecuación 3.1 y la Ecuación 3.3, respectivamente. Como parte del análisis de resultados, se realizan gráficos de barras para la visualización de la CNC a lo largo de los doce meses que se están analizando y de las comunidades energéticas con mejores resultados en cuanto al balance económico por la compra y venta de energía que posee la comunidad.

Por último, se realiza una copia de seguridad del documento en el repositorio web público Zenodo, que citando a la Biblioteca de la Universidad de Huelva (2024), es un repositorio de propósito general donde se pueden depositar datos de investigación, informes, software, herramientas informáticas, entre otros, en acceso abierto y está respaldado por fondos de la Unión Europea y gestionado desde el centro de datos del CERN (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*). Esto se realiza con el fin de tener un respaldo en caso de presentar problemas con el documento original, el documento se encuentra habilitado en el siguiente enlace:

<https://zenodo.org/records/14448282?token=eyJhbGciOiJIUzUxMiJ9.eyJpZCI6IjA2ZTRkMTAyLWQ3NzQtNGQ1NS05ZGY3LTVkYjBmNGQxZW00OSIsImRhdGEiOnt9LCJyYW5kb20iOiI3YW>

[NkNzdiMjRIZWVkoGRINThhOTZjMDAyY2FiYTM3YyJ9.uVkAu20NPxGZbih8lk29nof8TW664GtR1016S8Bq8NNWNL -HGy-uB6z2NMWNZ8caiRcH0zn2WiNwqzu2xDmRA](#)

- Aplicar el modelo de evaluación desarrollado en un caso de estudio con diez de organizaciones candidatas a constituir comunidades energéticas, con los datos de producción y consumo de edificios públicos de Extremadura en el año 2023.

Para la puesta en funcionamiento del modelo propuesto que se desarrolló, se toman los datos del año 2023 de edificios públicos de la comunidad autónoma de Extremadura y se consideran como las organizaciones candidatas interesadas en constituir comunidades energéticas entre sí.

Se recopilan los datos de producción y consumo energético de estos edificios, y se realiza un proceso inicial de limpieza, transformación y consolidación de datos, para la identificación y corrección de posibles errores antes de ingresar los datos a la aplicación, para garantizar la fiabilidad y precisión de los datos que se utilizan.

Una vez ingresados los datos a la aplicación, se realiza el proceso para la creación de todas las comunidades energéticas posibles con la cantidad de organizaciones candidatas estudiadas, para su posterior análisis de los resultados obtenidos de todas las comunidades energéticas posibles con base en los criterios cualitativos como cuantitativos, y se ahonda en los resultados de las comunidades energéticas con mejores resultados según los criterios establecidos.

La utilización de la aplicación en un entorno real es crucial para la confirmación de la capacidad del modelo desarrollado, debido a que proporciona evidencia empírica de la eficacia del modelo y ofrece un marco probado para futuras aplicaciones en el proyecto TRANSCOM; además que permite la identificación de ajustes para mejorar la implementación de la aplicación a mayor escala y en contextos de comunidades energéticas distintas. En la Figura 9 se muestra el proceso descrito para la realización de este objetivo.

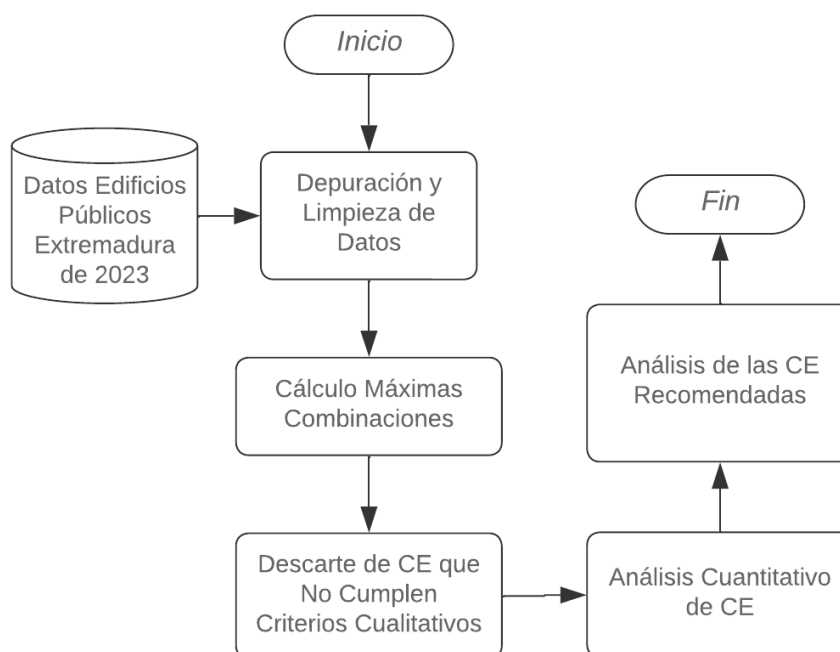


Figura 9. Diagrama de flujo del desarrollo del objetivo específico 3.

Se reciben los datos de producción y consumo de 220 edificios públicos de Extremadura, suministrados por la Agencia Extremeña de la Energía. En el Anexo 2 y Anexo 3 se observa una muestra de datos con la información presentada en el archivo de Excel.

De dichos 220 edificios se realiza la identificación de la ciudad a la cual pertenecen, destacando la presencia de gran parte de ellos en las tres ciudades más importantes y pobladas de Extremadura, siendo estas Badajoz, Cáceres y Mérida. Posteriormente se realiza el descarte de los edificios que no cuentan con fuentes de producción energética propia, y se destacan los siguientes edificios públicos, que debido al tipo de edificio en el que se catalogan (municipios), se consideran aptos para la participación en una comunidad energética. En el Cuadro 4 se muestran los edificios públicos válidos de la ciudad de Badajoz, con el tipo de municipio catalogado y su ubicación geográfica específica con latitud y longitud.

Cuadro 4. Edificios públicos de Badajoz aptos para la participación en una comunidad energética.

Nombre de la Organización	Tipo de Municipio	Latitud	Longitud
C.D.P.N.U. ESCUELA INFANTIL ALBAYADA	Docente	38,873699	-6,960841
C.D.P.N.U.E.I. LA LUNETAS	Docente	38,895806	-6,979602

Nombre de la Organización	Tipo de Municipio	Latitud	Longitud
C.D.P.N.U.E.I. LAS ACACIAS	Docente	38,898006	-6,979700
C.D.P.N.U.E.I. LOS DIMINUTOS	Docente	38,868474	-6,968426
C.D.P.N.U.E.I. SEÑORA DE BOTOA	Docente	38,873265	-6,965460
CDPNU EI LA SERENA	Docente	38,873418	-6,959263
CDPNU EI PASTORES DE BELEN	Docente	38,892359	-6,976269
CDPNU ESCUELA INFANTIL PEPE REYES	Docente	38,868416	-6,958928
CENTRO DE PROFESORES Y RECURSOS BADAJOZ	Administrativo	38,875166	-6,977807
ESCUELA OFICIAL DE IDIOMAS DE BADAJOZ	Docente	38,882486	-6,972139
FUNDECYT-PCTEX	Docente	38,886170	-7,003873
I.E.S. BARBARA DE BRAGANZA	Docente	38,871452	-6,969677
I.E.S. BIOCLIMÁTICO	Docente	38,869710	-6,991499
I.E.S. CASTELAR	Docente	38,879068	-6,977554
I.E.S. MAESTRO DOMINGO CACERES	Docente	38,872626	-6,985229
I.E.S. REINO AFTASI	Docente	38,877593	-6,946835
I.E.S. RODRIGUEZ MOÑO	Docente	38,874858	-6,983993
I.E.S. ZURBARÁN	Docente	38,874253	-6,974423
IES CIUDAD JARDÍN	Docente	38,865334	-6,967596
IES SAN JOSE	Docente	38,890956	-6,977847
IES SAN ROQUE	Docente	38,874260	-6,959255
CONSORCIO TEATRO LOPEZ DE AYALA	Cultural	38,876368	-6,972317
SERVICIO EXTREMEÑO PUBLICO EMPLEO	Administrativo	38,880076	-6,952707
CONSORCIO AGENCIA EXTREMEÑA DE ENERGÍA	Administrativo	38,871252	-6,980103

En el Cuadro 5 se presenta la información de los edificios de la ciudad de Cáceres.

Cuadro 5. Edificios públicos de Cáceres aptos para la participación en una comunidad energética.

Nombre de la Organización	Tipo de Municipio	Latitud	Longitud
C.E.I. LA RAYUELA	Docente	39,463049	-6,375405
C.E.I. SANTA BÁRBARA	Docente	39,453458	-6,387837
C.E.I. VIRGEN DE LA MONTAÑA	Docente	39,483402	-6,378225
E.I. FOFÓ	Docente	39,458253	-6,376400
E.I. LA COMETA	Docente	39,484071	-6,366148
E.I. SANTA LUCIA	Docente	39,447211	-6,389184
E.O.I. DE CACERES	Docente	39,469664	-6,379635
I.E.S. AL-QÁZERES	Docente	39,457985	-6,367570
I.E.S. EL BROCENSE	Docente	39,468533	-6,372024
I.E.S. NORBA CAESARINA	Docente	39,467473	-6,373193
I.E.S. PROFESOR HERNÁNDEZ-PACHECO	Docente	39,471337	-6,385748
I.E.S. VIRGEN DE GUADALUPE	Docente	39,467893	-6,373942
IES AGORA	Docente	39,466094	-6,385313
IES JAVIER GARCIA TELLEZ	Docente	39,459478	-6,370736
URVIPEXSA SA	Administrativo	39,475388	-6,373397
INTROMAC	Docente	39,481530	-6,345160
FUNDACION HELGA DE ALVEAR	Cultural	39,471959	-6,373104
UNIVERSIDAD LABORAL DE CACERES	Docente	39,479441	-6,351261
CONSORCIO GRAN TEATRO DE CÁCERES	Cultural	39,473282	-6,375534

En el Cuadro 6 se muestra la información de la ciudad de Mérida.

Cuadro 6. Edificios públicos de Mérida aptos para la participación en una comunidad energética.

Nombre de la Organización	Tipo de Municipio	Latitud	Longitud
ASAMBLEA DE EXTREMADURA	Administrativo	38,917383	-6,347326

Nombre de la Organización	Tipo de Municipio	Latitud	Longitud
C.D.P.N.U. LOS GURUMELLOS	Docente	38,914056	-6,337403
CENTRO PROFESORES MERIDA	Administrativo	38,913577	-6,340923
FOMENTO EXTREMEÑO DE INFRAESTRUCTURAS INDUSTRIALES	Administrativo	38,920662	-6,382833
FUNDESALUD	Sanitario	38,911223	-6,363303
GPEX, S.A.	Administrativo	38,913595	-6,334043
I.E.S SANTA EULALIA	Docente	38,912336	-6,337093
I.E.S. ALBARREGAS	Docente	38,922907	-6,337047
I.E.S. EMÉRITA AUGUSTA	Docente	38,908559	-6,334804
INSTITUTO MUJER EXTREMADURA	Administrativo	38,916770	-6,348055
MÉRIDA ESCUELA OFICIAL DE IDIOMAS	Docente	38,919393	-6,346948

Con la información de estos edificios, se realiza la limpieza y depuración de datos de consumo y producción para su utilización en el caso de estudio. Posteriormente, se hará la selección de los datos y edificios a utilizar en la aplicación informática. Con dichos edificios seleccionados se realiza el cálculo de las combinaciones posibles para la formación de comunidades, y el cálculo de métricas para su evaluación. A modo de resumen, se presenta en el Cuadro 7 la correspondiente ruta metodológica seguida en el trabajo de investigación, en el cual se especifican las actividades a realizar para la consecución de los objetivos planteados.

Cuadro 7. Cuadro metodológico del proyecto.

Objetivos Específicos	Herramientas	Actividades	Resultados
<p>Establecer un conjunto de criterios cuantitativos (técnicos) y cualitativos (de aceptación y rechazo), que valoren a las comunidades energéticas propuestas, considerando la variabilidad en el suministro y demanda energética y las características individuales de las organizaciones candidatas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Herramientas estadísticas - Indicadores clave de desempeño. 	<ul style="list-style-type: none"> - Formular las métricas a evaluar en las organizaciones candidatas que serán utilizadas en el modelo de selección. - Recopilar requisitos legislativos para filtrar candidatos a formar parte de una comunidad energética. - Caracterizar a las organizaciones candidatas a formar parte de comunidades energéticas en Extremadura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Identificación de las fórmulas para el cálculo de indicadores clave de desempeño. - Enumeración de los criterios cualitativos y cuantitativos de aceptación y rechazo para los candidatos a una comunidad energética. - Listado con la caracterización de las organizaciones candidatas interesadas en conformar comunidades energéticas en Extremadura.

<p>Diseñar una aplicación informática que evalúe a organizaciones candidatas a conformar una comunidad energética basado en sus perfiles de consumo, producción y la complementariedad con otros miembros potenciales de la comunidad en relación con los criterios de aceptación y rechazo establecidos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Microsoft Excel. - Lenguaje programación VBA (Visual Basic for Applications). - Herramientas estadísticas. - Diagrama de flujo. - Repositorio web ZENODO. 	<ul style="list-style-type: none"> - Programar una aplicación en Microsoft Excel habilitado para macros para la evaluación de las organizaciones candidatas a formar comunidades energéticas. - Definir el proceso de selección de miembros en una comunidad energética basado en los KPI establecidos. - Establecer un respaldo de seguridad alojado en la web para la copia de seguridad de la aplicación con el modelo de elaborado. - Diseñar un manual de uso dirigido a los encargados en el proyecto TRANSCOM para el entendimiento del uso de la aplicación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Modelo implementado sobre aplicación en Microsoft Excel para la selección de organizaciones candidatas a formar parte de una comunidad energética. - Descripción del proceso de análisis y selección de organizaciones candidatas a establecer comunidades energéticas. - Respaldo y copias de seguridad alojadas en la web. - Manual de uso.
---	---	--	--

<p>Aplicar el modelo de evaluación desarrollado en un caso de estudio con diez de organizaciones candidatas a constituir comunidades energéticas, con los datos de producción y consumo de edificios públicos de Extremadura en el año 2023.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Microsoft Excel. - Herramientas estadísticas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluar a organizaciones candidatas a conformar comunidades energéticas en Extremadura. - Identificar y priorizar las comunidades energéticas que se consideran viables para su establecimiento con respecto a los criterios y métricas establecidas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de las comunidades energéticas que cumplen con criterios cualitativos y métricas cuantitativas para su formación. - Listado de comunidades energéticas que se consideran aptas para el establecimiento según los criterios establecidos.
--	--	--	--

IV. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

La aplicación informática se desarrolla en Microsoft Excel, haciendo uso de la programación de macros con el lenguaje Visual Basic for Applications (VBA). La aplicación cuenta con 9 hojas de Excel, las cuales se pueden agrupar en tres grupos definidos por la función que tienen para el análisis de los candidatos y las comunidades energéticas. En el Cuadro 8 se muestran estas agrupaciones.

Cuadro 8. Agrupaciones de hojas de Excel de la aplicación informática.

Hoja de Excel	Grupo según función
Base de Datos Ingreso	Recepción y almacenamiento de datos de las organizaciones candidatas.
Ingreso de Datos	
Cálculo de Combinaciones	Formación de las comunidades energéticas a analizar según la cantidad de organizaciones candidatas.
Cálculo Distancias	
Comunidades Energéticas	
Datos ACC	Análisis de las comunidades energéticas y presentación de resultados.
Datos CNC	
Métricas	
Resumen	

En el Apéndice 1 se desarrolla un Manual de Uso dirigido al usuario final de la aplicación, con la explicación de cada una de las pantallas de la aplicación.

Al hacer uso de la aplicación, las hojas visibles para el usuario son “Ingreso de Datos”, “Comunidades Energéticas”, “Métricas” y “Resumen”; el resto de las hojas de la aplicación cumplen con un funcionamiento en segundo plano y no es necesario el acceso a ellas por parte del usuario final. A continuación se presenta cada una de estas hojas, explicando la funcionalidad y mostrando el código de los módulos utilizados en ellas.

Como parte de la estructuración de la base de datos, en la hoja “Base de Datos Ingreso” se establecen tablas en Microsoft Excel para el almacenamiento de la información que será utilizada con la aplicación. La primera de las tablas hace referencia a información básica de las organizaciones candidatas, con columnas que hacen referencia al nombre de la organización, su ubicación geográfica específica con valores de latitud y longitud. En la Figura 10 se observa la tabla de nombre “TablaCoord”.

Organización Candidata	Latitud	Longitud

Figura 10. Tabla para el almacenamiento de datos generales de organizaciones candidatas.

Para el almacenamiento de la información de producción y consumo de las organizaciones candidatas se hace uso de una segunda tabla de nombre TablaDatos, compuesta por columnas referentes al nombre de la organización candidata, mes, producción en kWh, consumo en kWh, como se observa en la Figura 11.

Organización Candidata	Mes	Producción (kWh)	Consumo (kWh)

Figura 11. Tabla para el almacenamiento de datos mensuales de producción y consumo de las organizaciones candidatas.

Durante la utilización de la aplicación, es en estas tablas donde se guarda la información que se utiliza para el cálculo de las métricas y para la formación de las máximas combinaciones posibles para el establecimiento de las comunidades energéticas.

En la Figura 12 se muestra la hoja “Ingreso de Datos” cuya principal funcionalidad es la recepción de los datos de las organizaciones candidatas que se analizarán, dichos datos corresponden al nombre de la organización, ubicación geográfica específica basado en la latitud y longitud y los valores de producción y consumo que tuvo la organización en un año.

Proyecto de Graduación Fabián Calvo Castillo
Herramienta Análisis de Comunidades Energéticas
Instituto Tecnológico de Costa Rica - Universidad de Extremadura

Ingreso de Datos de Organizaciones Candidatas

Ver Comunidades Energéticas

Ingrese el nombre de la organización candidata.

Ingrese la ubicación geográfica de la organización candidata. Formato 00,000000

Latitud Longitud

Ingrese los datos de producción y consumo para el mes respectivo en kWh

	Producción	Consumo
Enero		
Febrero		
Marzo		
Abril		
Mayo		
Junio		
Julio		
Agosto		
Septiembre		
Octubre		
Noviembre		
Diciembre		

Organizaciones candidatas que se analizarán

Guardar Nuevo Registro

Editar Registro

Guardar Edición

Eliminar Registro

Borrar Datos Almacenados

Figura 12. Hoja de Excel “Ingreso de Datos”.

Las celdas habilitadas para la escritura son la B16, C21, G21 y el rango C27:D38. Una vez llenada estas celdas con la información respectiva se presiona el botón “Guardar Nuevo Registro” para el almacenamiento de la información en la hoja “Base de Datos Ingreso”. Debido a que esta es la única hoja en la que el usuario ingresa información, el resto de las celdas de la hoja están protegidas con la contraseña: TRANSCOM.

El código de la macro para el guardado de esta información se encuentra en el Módulo 1 de nombre “RegistroDatos” en el Apéndice 2 y Apéndice 3 se muestra este código completo.

Otra programación que se ejecuta con el botón “Guardar Nuevo Registro” es el Módulo 2 llamado “ListadoPresentaciónOrganizacionesCandidatas” que se encarga de generar una lista iniciando en la celda J26 de la hoja “Ingreso Datos” con las organizaciones candidatas que se han guardado exitosamente, y que son las que se utilizarán para la formación de las comunidades energéticas. En el Apéndice 4 se muestra el código de este módulo.

Otra funcionalidad presente en la hoja “Ingreso de Datos” es el de “Editar Registro” que se encarga de editar un registro que ya se haya almacenado con los módulos explicados anteriormente. Presionado este botón se despliega el siguiente formulario que se observa en la Figura 13 para la selección del registro ya almacenado que se quiere editar.

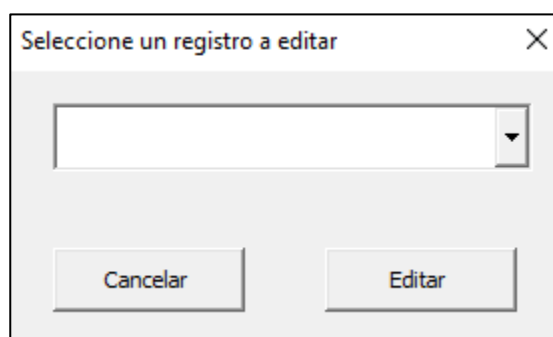
A screenshot of a Windows-style dialog box titled "Seleccione un registro a editar" with a close button (X) in the top right corner. The dialog contains a single-line text input field with a dropdown arrow on the right side. Below the input field are two buttons: "Cancelar" on the left and "Editar" on the right.

Figura 13. Formulario para la selección de un registro a editar.

Una vez seleccionado el registro que se quiere editar, se vuelve a desplegar los datos registrados en las celdas habilitadas para la edición, con esta funcionalidad se permite la corrección de algún dato erróneo en las coordenadas de la organización candidata, o en los datos anuales de producción y consumo que tuvo el candidato. Del Apéndice 5 al Apéndice 7 se muestra el código del botón “Editar Registro” y el formulario que se despliega respectivamente.

Una vez hechas las modificaciones en el registro, se presiona el botón “Guardar Edición” para la actualización de estos nuevos datos en las tablas registradas. En el Apéndice 8 y Apéndice 9 se muestra el código para este botón.

Con el botón “Eliminar Registro” se da la opción al usuario de eliminar una organización que fue almacenada, esto por medio del formulario que se ve en la Figura 14. Una vez seleccionado el

candidato y presionado el botón Eliminar, se borran los datos almacenados de la organización candidata seleccionada.

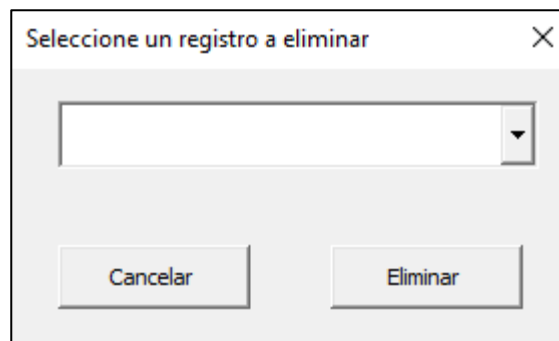


Figura 14. Formulario para la selección de un registro a eliminar.

En el Apéndice 10 y Apéndice 11 se muestra el código asignado al botón y el formulario que se despliega.

Mediante esta hoja, se consigue el ingreso de datos de manera sencilla en la aplicación, con la capacidad de visualizar cuáles son las organizaciones candidatas que se han registrado y con la posibilidad de modificar un registro en caso de necesitar un cambio o eliminación de un registro ya almacenado.

Con el botón "Borrar Datos Almacenados" se ejecuta el Módulo 4 de nombre "LimpiezaBaseDatos" que se encarga de eliminar todos los registros que se hayan almacenado. En el Apéndice 13 se presenta el código de este módulo. Es importante destacar que en este código, se hace hincapié en que la eliminación de estos datos se dará de forma permanente y el usuario debe estar seguro de ejecutar este módulo.

Con el último botón de esta hoja, "Ver Comunidades Energéticas" se da paso a la sección de la formación de las comunidades energéticas a analizar según la cantidad de organizaciones candidatas ingresadas. El Módulo 8 se ejecuta con este botón, de nombre "VisualizarCE", su código se presenta en el Apéndice 14.

De este código es importante destacar que para poder ejecutarse debe haber un mínimo de cinco organizaciones candidatas registradas para poder continuar con el análisis, en caso de no cumplirse, se dará un mensaje de alerta. Esto debido a uno de los criterios cualitativos que deben satisfacer las comunidades energéticas para su análisis, pues como se encontró en la literatura,

según la legislación española el mínimo de integrantes que debe poseer una comunidad energética para establecerse en España es de cinco miembros.

Una vez registrados cinco o más candidatos, al presionar el botón “Ver Comunidades Energéticas” se ejecutan los módulos “ListadoPresentaciónOrganizacionesCandidatas”, “ListadoCálculoCombinaciones”, “CálculoCombinacionesCandidatos” y “MatricesDistancia”.

El Módulo 5 de nombre “ListadoCálculoCombinaciones” se ejecuta en la hoja “Cálculo Combinaciones” y se encarga de generar una lista con los registros únicos de la TablaDatos con el fin de calcular la cantidad máxima de combinaciones que se pueden realizar con los candidatos. En la Figura 15 se observa la hoja “Cálculo Combinaciones”.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	7	Candidato 1								
2	29	Candidato 2								
3		Candidato 3								
4		Candidato 4								
5		Candidato 5								
6		Candidato 6								
7		Candidato 7								
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										

Figura 15. Hoja de Excel “Cálculo Combinaciones”.

En las celdas A1 y A2 se realiza el cálculo de cuántas son las máximas combinaciones que se pueden efectuar con las cantidad de candidatos definida. Esto se consigue con base en lo establecido en la Ecuación 6.4 y la Ecuación 6.5. En la Figura 16 y Figura 17 se presentan las fórmulas aplicadas a estas celdas.

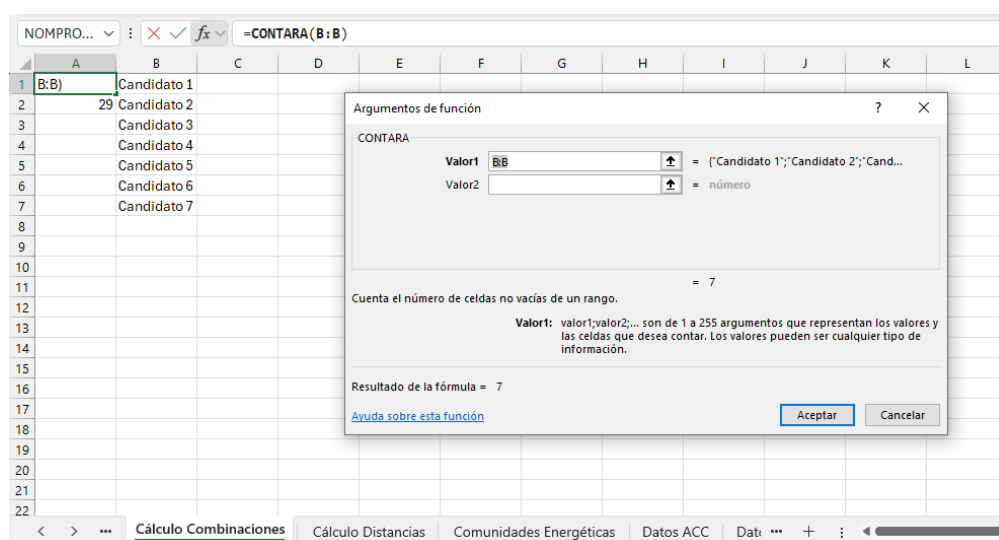


Figura 16. Fórmula aplicada en A1 de hoja Cálculo Combinaciones.

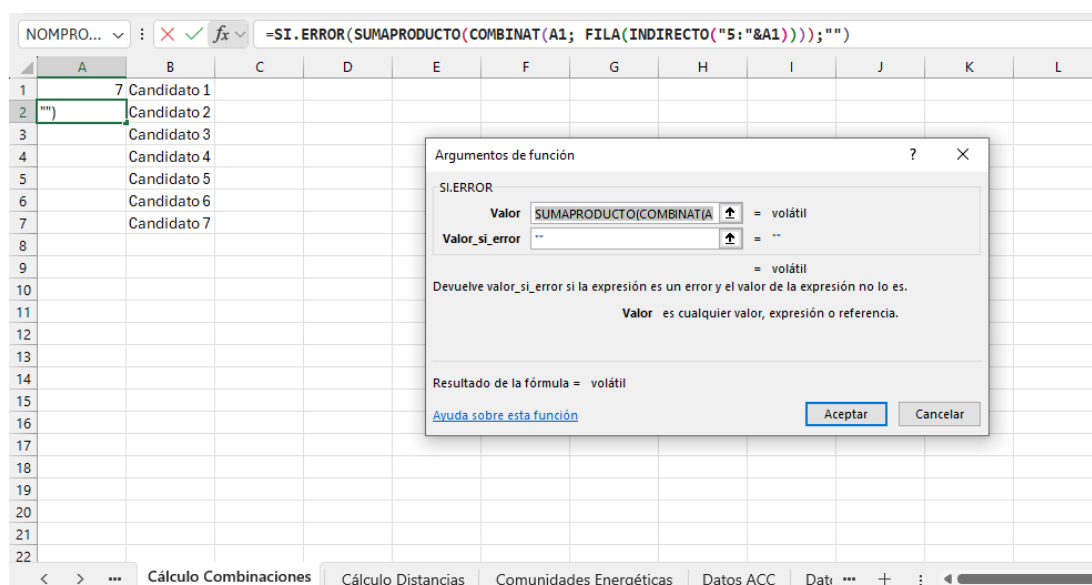


Figura 17. Fórmula aplicada en A2 de hoja Cálculo Combinaciones.

De esta forma se obtiene la cantidad de combinaciones, es decir de comunidades energéticas, que se puede generar con las organizaciones candidatas. Dichas comunidades con un mínimo de integrantes de cinco miembros, como se establece en la legislación española. Esta capacidad de la aplicación es sumamente útil para el análisis proactivo de las organizaciones candidatas en comunidades energéticas, debido a que se presentan todas las combinaciones posibles y posteriormente se podrán destacar las comunidades que mejores resultados presenten con base en las métricas y criterios establecidos de entre todas esas combinaciones posibles.

El Módulo 6 de nombre “CálculoCombinacionesCandidatos” se encarga de generar las combinaciones con los candidatos existentes. Se presenta el código de este módulo en los Apéndice 15 y Apéndice 16.

A modo de ejemplo, el resultado de este código se visualiza en la Figura 18 con un total de siete organizaciones candidatas.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	7	Candidato 1		CE 1	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 5		
2	29	Candidato 2		CE 2	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 6		
3		Candidato 3		CE 3	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 7		
4		Candidato 4		CE 4	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 5	Candidato 6		
5		Candidato 5		CE 5	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 5	Candidato 7		
6		Candidato 6		CE 6	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 6	Candidato 7		
7		Candidato 7		CE 7	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 6		
8				CE 8	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 7		
9				CE 9	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 4	Candidato 6	Candidato 7		
10				CE 10	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 5	Candidato 6	Candidato 7		
11				CE 11	Candidato 1	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 6		
12				CE 12	Candidato 1	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 7		
13				CE 13	Candidato 1	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 6	Candidato 7		
14				CE 14	Candidato 1	Candidato 3	Candidato 5	Candidato 6	Candidato 7		
15				CE 15	Candidato 1	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 6	Candidato 7		
16				CE 16	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 6		
17				CE 17	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 7		
18				CE 18	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 6	Candidato 7		
19				CE 19	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 5	Candidato 6	Candidato 7		
20				CE 20	Candidato 2	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 6	Candidato 7		
21				CE 21	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 6	Candidato 7		
22				CE 22	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 6	
23				CE 23	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 7	
24				CE 24	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 6	Candidato 7	
25				CE 25	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 5	Candidato 6	Candidato 7	
26				CE 26	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 6	Candidato 7	
27				CE 27	Candidato 1	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 6	Candidato 7	
28				CE 28	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 6	Candidato 7	
29				CE 29	Candidato 1	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 6	Candidato 7

Figura 18. Resultante de códigos en hoja Cálculo Combinaciones.

El último módulo que se ejecuta con el botón “Ver Comunidades Energéticas” es el número 7 de nombre “MatricesDistancia”, encargado de establecer la distancia entre los candidatos y verificar que no se sobrepase el límite de 2000 metros entre candidatos. Se presenta el código completo del Apéndice 17 al Apéndice 19.

El código tomando las coordenadas de latitud y longitud almacenadas de las organizaciones candidatas y calcula la distancia en metros entre dichos puntos, formando una matriz con los

miembros de la comunidad y los metros entre ellos, como se muestra en la Figura 8. En caso de que la distancia entre alguno de los miembros supere estos 2000 metros, se resalta en rojo el identificador de la comunidad energética; y en la columna M se enlistan las comunidades energéticas que sí cumplen con la restricción. En la Figura 19 se muestra un ejemplo de lo generado en la hoja Cálculo Distancias.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	CE 1		Candidato 1	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 5						CE 13
2		Candidato 1	0	2410,78092	1131,93194	1356,9357	3545,54747						
3		Candidato 2	2410,78092	0	3476,83581	3593,89756	2711,71695						
4		Candidato 3	1131,93194	3476,83581	0	354,489426	4015,16385						
5		Candidato 4	1356,9357	3593,89756	354,489426	0	3877,97705						
6		Candidato 5	3545,54747	2711,71695	4015,16385	3877,97705	0						
7													
8													
9	CE 2		Candidato 1	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 6						
10		Candidato 1	0	2410,78092	1131,93194	1356,9357	735,004064						
11		Candidato 2	2410,78092	0	3476,83581	3593,89756	3035,3824						
12		Candidato 3	1131,93194	3476,83581	0	354,489426	993,605799						
13		Candidato 4	1356,9357	3593,89756	354,489426	0	1336,0338						
14		Candidato 6	735,004064	3035,3824	993,605799	1336,0338	0						
15													
16													
17	CE 3		Candidato 1	Candidato 2	Candidato 3	Candidato 4	Candidato 7						
18		Candidato 1	0	2410,78092	1131,93194	1356,9357	254,420935						
19		Candidato 2	2410,78092	0	3476,83581	3593,89756	2647,74271						
20		Candidato 3	1131,93194	3476,83581	0	354,489426	973,242136						
21		Candidato 4	1356,9357	3593,89756	354,489426	0	1244,60748						
22		Candidato 7	254,420935	2647,74271	973,242136	1244,60748	0						

Figura 19. Resultante de códigos en hoja Cálculo Combinaciones.

Finalmente el código del botón “Ver Comunidades Energéticas” redirige al usuario a la hoja “Comunidades Energéticas”. En esta hoja se presenta un resumen de lo mencionado anteriormente como se observa en la Figura 20.

Volver

Con las 7 organizaciones candidatas registradas, se pueden establecer 29 comunidades energéticas.

Analizar Comunidades Energéticas

7 comunidades energéticas que cumplen con la restricción de los 2000 metros.

Comunidades Energética CE 16

Distancia < 2000 m CE 17

CE 18

CE 19

CE 20

CE 21

CE 28

Se enumeran a continuación con los respectivos miembros de cada comunidad.

CE 1	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 7	Candidato 3	Candidato 6		
CE 2	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 7	Candidato 3	Candidato 1		
CE 3	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 7	Candidato 3	Candidato 2		
CE 4	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 7	Candidato 6	Candidato 1		
CE 5	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 7	Candidato 6	Candidato 2		
CE 6	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 7	Candidato 1	Candidato 2		
CE 7	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 3	Candidato 6	Candidato 1		
CE 8	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 3	Candidato 6	Candidato 2		
CE 9	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 3	Candidato 1	Candidato 2		
CE 10	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 6	Candidato 1	Candidato 2		
CE 11	Candidato 4	Candidato 7	Candidato 3	Candidato 6	Candidato 1		
CE 12	Candidato 4	Candidato 7	Candidato 3	Candidato 6	Candidato 2		
CE 13	Candidato 4	Candidato 7	Candidato 3	Candidato 1	Candidato 2		
CE 14	Candidato 4	Candidato 7	Candidato 6	Candidato 1	Candidato 2		
CE 15	Candidato 4	Candidato 3	Candidato 6	Candidato 1	Candidato 2		
CE 16	Candidato 5	Candidato 7	Candidato 3	Candidato 6	Candidato 1		
CE 17	Candidato 5	Candidato 7	Candidato 3	Candidato 6	Candidato 2		
CE 18	Candidato 5	Candidato 7	Candidato 3	Candidato 1	Candidato 2		
CE 19	Candidato 5	Candidato 7	Candidato 6	Candidato 1	Candidato 2		
CE 20	Candidato 5	Candidato 3	Candidato 6	Candidato 1	Candidato 2		
CE 21	Candidato 7	Candidato 3	Candidato 6	Candidato 1	Candidato 2		
CE 22	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 7	Candidato 3	Candidato 6	Candidato 1	
CE 23	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 7	Candidato 3	Candidato 6	Candidato 2	
CE 24	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 7	Candidato 3	Candidato 1	Candidato 2	
CE 25	Candidato 4	Candidato 5	Candidato 7	Candidato 6	Candidato 1	Candidato 2	

Figura 20. Resultante del código en hoja Comunidades Energéticas.

De esta forma se presenta la cantidad total de comunidades energéticas que se pueden establecer, y se enlistan dichas comunidades energéticas con los miembros asignados a cada una de ellas. En adición, se destacan las comunidades energéticas que cumplen con otro criterio cualitativo establecido, de los 2000 metros de distancia entre candidatos. Es con base en esta lista de comunidades energéticas que cumplen con este criterio, a las que se les aplican las métricas cuantitativas establecidas.

En la hoja “Comunidades Energéticas” se encuentran dos botones, el primero de ellos ejecuta el Módulo 14 que se encarga de volver a la hoja anterior, en el Apéndice 20 se observa el código del módulo.

El segundo botón de la hoja, de nombre “Analizar Comunidades Energéticas” ejecuta los módulos “DatosComunidadesACC”, “TablaResumenACC”, “CalcularCNCComunidadesSeleccionadasCompleto” y “GenerarGraficosFinalesCNC”. Además de direccionar al usuario a la hoja Métricas.

El Módulo 10 ejecuta el código de nombre “DatosComunidadesACC” que se encarga de generar una tabla con la producción y consumo mensual de las comunidades energéticas que se establecieron anteriormente y cumplen con la restricción de los 2000 metros entre miembros. Generando una tabla en la hoja “DatosACC”. El código se presenta en los Apéndice 21 y Apéndice 22.

La tabla con la producción y consumo de las comunidades energéticas que se genera en la hoja “Datos ACC” se observa en la Figura 21.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	Comunidad	Mes	Producción	Consumo						
2	CE 13	Enero	48,2	49,1						
3	CE 13	Febrero	47,5	47,2						
4	CE 13	Marzo	45,6	49,3						
5	CE 13	Abril	49,2	49,3						
6	CE 13	Mayo	50,2	50,5						
7	CE 13	Junio	44,5	47,2						
8	CE 13	Julio	56,6	50,5						
9	CE 13	Agosto	55	52,5						
10	CE 13	Septiembre	52,6	50,9						
11	CE 13	Octubre	53,9	50,4						
12	CE 13	Noviembre	57,2	51,4						
13	CE 13	Diciembre	55,3	52,4						
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										

Figura 21. Resultante 1 del código en hoja Datos ACC.

Con el botón también se ejecuta el Módulo 11 de nombre “TablaResumenACC” que se encarga de generar una tabla resumen de las comunidades energéticas, y el cálculo de la métrica ACC. El código se muestra en los Apéndice 23 y Apéndice 24.

Con este código se obtiene una tabla resumen con el ACC alcanzado por la comunidad energética; por lo que se puede establecer si la comunidad se considera autosuficiente o no. En la Figura 22 se muestra.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Comunidad	Mes	Producción	Consumo		Comunidad	Total Producción	Total Consumo	ACC	¿Autosuficiente?
2	CE 1	Enero	53,4	52,4		CE 1	645	613,1	613,1	Sí
3	CE 1	Febrero	50,5	51,8		CE 2	621	605,1	605,1	Sí
4	CE 1	Marzo	53,1	51,4		CE 3	621	605,1	605,1	Sí
5	CE 1	Abril	51,6	51,1		CE 5	665,1	622,2	622,2	Sí
6	CE 1	Mayo	57,1	53,8		CE 6	641,1	614,2	614,2	Sí
7	CE 1	Junio	53,6	49,7		CE 8	556,2	587	556,2	No
8	CE 1	Julio	56,1	50,4		CE 9	532,2	579	532,2	No
9	CE 1	Agosto	55,3	49,9		CE 12	639,8	608,7	608,7	Sí
10	CE 1	Septiembre	51,7	51,3		CE 13	615,8	600,7	600,7	Sí
11	CE 1	Octubre	54,6	49,2		CE 17	593,4	597,4	593,4	No
12	CE 1	Noviembre	55,8	50,7		CE 18	569,4	589,4	569,4	No
13	CE 1	Diciembre	52,2	51,4		CE 23	744,1	726,7	726,7	Sí
14	CE 2	Enero	50	51,6		CE 24	720,1	718,7	718,7	Sí
15	CE 2	Febrero	48,2	49,5						
16	CE 2	Marzo	48,9	50,3						
17	CE 2	Abril	50	49,8						
18	CE 2	Mayo	52,8	51,8						
19	CE 2	Junio	48,5	48,7						
20	CE 2	Julio	55,2	49,9						
21	CE 2	Agosto	53,9	50,8						
22	CE 2	Septiembre	52,4	50,6						

Figura 22. Resultante 2 del código en hoja Datos ACC.

Con estos dos módulos ejecutados y con la métrica ACC ya calculada, el botón ejecuta el Módulo 12 llamado “CalcularCNC_Comunidades_Seleccionadas_Completo”, el código se muestra del Apéndice 25 al Apéndice 28.

Este módulo es el encargado de obtener los resultados para cada comunidad energética de la métrica CNC, se genera una tabla en la hoja “Datos CNC” y una tabla resumen con información relevante de cada comunidad. El resultado se ve en la Figura 23.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Meses	Comunida	CNC		Comunidad	Total CNC	Déficit en kW	Déficit en \$	Superávit en	Superávit en	Total Neto	
2	Enero	CE 1	1		CE 5	42,9	0	€0,00	42,9	€4,29	€4,29	
3	Febrero	CE 1	-1,3		CE 1	31,9	1,3	€0,25	33,2	€3,32	€3,07	
4	Marzo	CE 1	1,7		CE 12	31,1	0,6	€0,12	31,7	€3,17	€3,05	
5	Abril	CE 1	0,5		CE 6	26,9	7,2	€1,41	34,1	€3,41	€2,00	
6	Mayo	CE 1	3,3		CE 2	15,9	4,5	€0,88	20,4	€2,04	€1,16	
7	Junio	CE 1	3,9		CE 3	15,9	4,5	€0,88	20,4	€2,04	€1,16	
8	Julio	CE 1	5,7		CE 23	17,4	6,3	€1,23	23,7	€2,37	€1,14	
9	Agosto	CE 1	5,4		CE 13	15,1	7,7	€1,50	22,8	€2,28	€0,78	
10	Septiembre	CE 1	0,4		CE 24	1,4	16,9	€3,30	18,3	€1,83	-€1,47	
11	Octubre	CE 1	5,4		CE 17	-4	15,9	€3,10	11,9	€1,19	-€1,91	
12	Noviembre	CE 1	5,1		CE 18	-20	27,2	€5,31	7,2	€0,72	-€4,59	
13	Diciembre	CE 1	0,8		CE 8	-30,8	32,5	€6,34	1,7	€0,17	-€6,17	
14	Enero	CE 2	-1,6		CE 9	-46,8	48,1	€9,39	1,3	€0,13	-€9,26	
15	Febrero	CE 2	-1,3									
16	Marzo	CE 2	-1,4									
17	Abril	CE 2	0,2									
18	Mayo	CE 2	1									
19	Junio	CE 2	-0,2									
20	Julio	CE 2	5,3									
21	Agosto	CE 2	3,1									
22	Septiembre	CE 2	1,8									

Figura 23. Resultante del código en hoja “Datos CNC”.

Finalmente, el botón “Analizar Comunidades Energéticas” ejecuta el Módulo 13 de nombre “GenerarGraficosFinalesCNC” que toma la tabla generada en la hoja “Datos CNC” y realiza un gráfico de barras para cada comunidad energética para la visualización de la curva neta de consumo a lo largo del periodo de análisis. El código de este módulo se muestra del Apéndice 29 al Apéndice 31.

Este código genera un gráfico de barras como el que se ve en la Figura 24, este gráfico se presenta en la hoja “Métricas”.

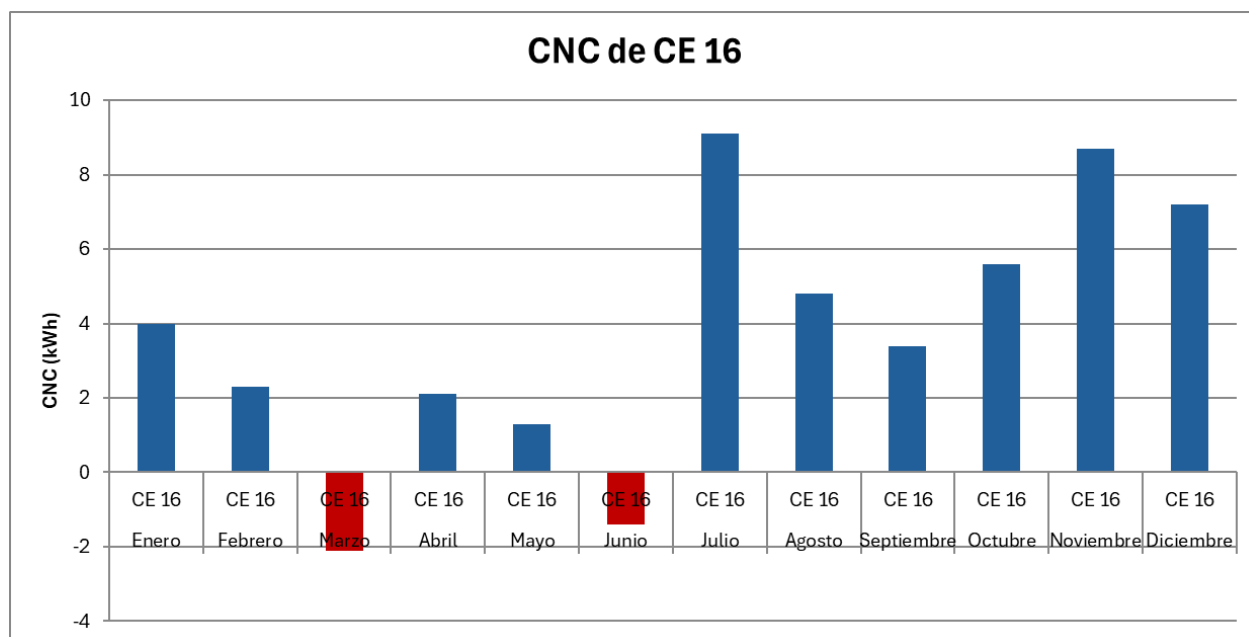


Figura 24. Gráfico de barras de CNC para una comunidad energética.

Es en esta hoja “Métricas” donde se presenta información resumida de las dos métricas que se calculan, y se da una imagen completa del análisis para todas las comunidades energéticas establecidas. En la Figura 25 se muestra esta hoja con las gráficas y tablas resumen anteriormente generadas.

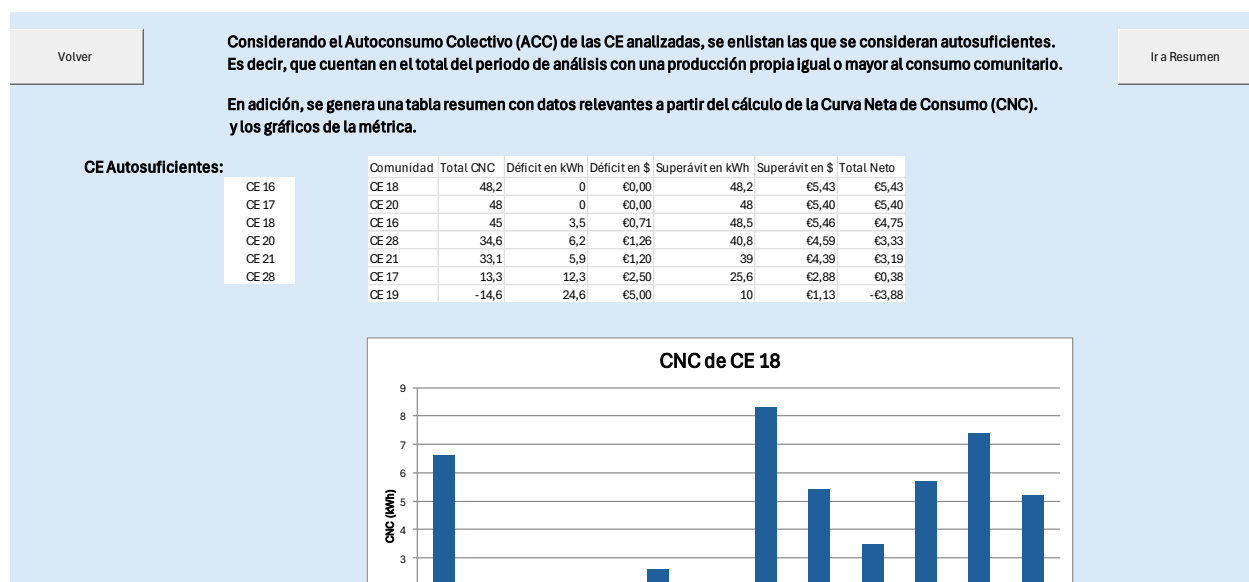


Figura 25. Resultante del código en hoja Métricas.

En la columna E se enlistan las comunidades energéticas que, según lo obtenido con la métrica ACC, se consideran autosuficientes, y se muestra una tabla resumen a su derecha con información obtenida a partir de la métrica CNC. Dicha información considera la curva total al final del periodo de análisis, y la cantidad en kWh y monetariamente que representan los periodos de déficit y superávit energético. Además, se calcula un valor neto monetario que da una imagen de cómo fue el comportamiento de la comunidad en cuanto a la venta de excedente energético o la necesidad de comprar energía a la red. Con base en este valor neto, se ordenan las gráficas de barras para la visualización de la curva a lo largo de los 12 meses.

Por último, se presenta una hoja llamada “Resumen”, donde se visualiza información concreta de las comunidades energéticas con valores adecuados con respecto a este valor neto. Se muestran las comunidades que poseen un Total Neto mayor, y se muestra nuevamente a los miembros que forman parte de estas comunidades. Esto se realiza con el Módulo 17, el código se muestra en los Apéndice 32 y Apéndice 33.

Este código resulta en la siguiente presentación de la hoja “Resumen”; se observa el gráfico y listado con integrantes de la comunidad en las Figura 26 y Figura 27.

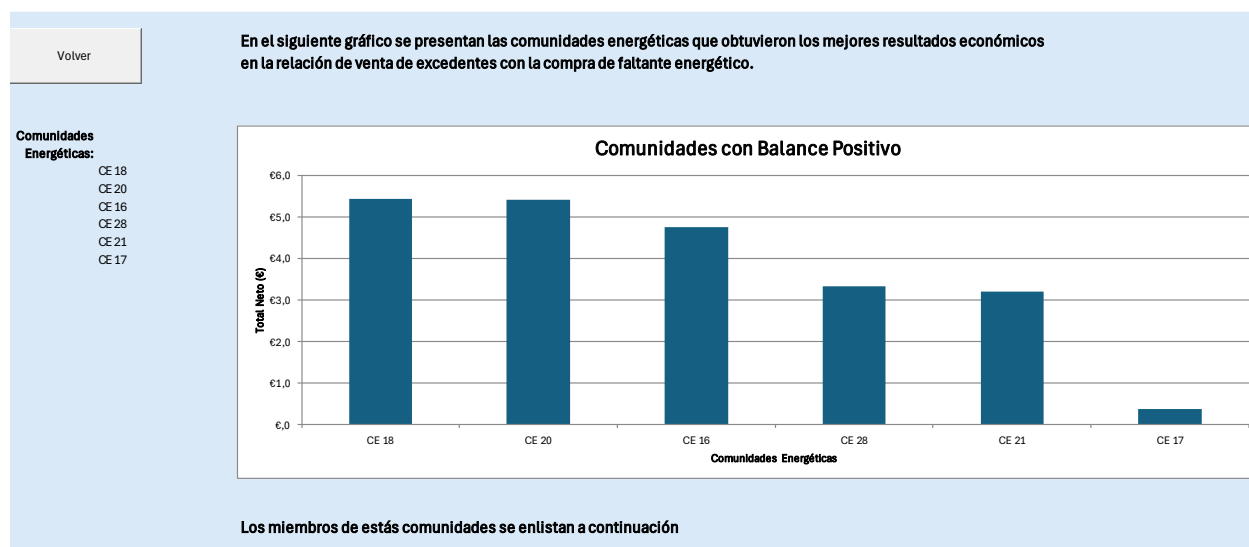


Figura 26. Resultante del código en hoja Resumen. Parte 1.

V. CASO DE USO DE LA APLICACIÓN

Como empleo de la aplicación se realizó un caso con organizaciones candidatas que se consideran interesadas en conformar comunidades energéticas, dichas organizaciones son las tabuladas en el Cuadro 6, específicamente diez edificios públicos de la ciudad de Mérida, Extremadura.

En el Cuadro 9 se realiza la caracterización de dichos edificios públicos, definiendo su perfil de consumo entre consumidor (solo registra consumo energético, producción no), productor (solo registra producción energética, consumo no) y prosumidor (registra tanto consumo como producción energética). Además se precisa la latitud y longitud de la organización candidata, su fuente de producción, y el tipo de edificio al que pertenece.

Organización Candidata	Perfil de Consumo	Latitud	Longitud	Fuente de Producción	Tipo de Edificio
Asamblea de Extremadura	Prosumidor	38,917383	-6,347326	Renovable: Solar	Municipio: Administrativo
Centro Educación Infantil Los Gurumelos	Prosumidor	38,914056	-6,337403	Renovable: Solar	Municipio: Docente
Centro de Profesores Mérida	Prosumidor	38,913577	-6,340923	Renovable: Solar	Municipio: Administrativo
Fomento Extremeño de Infrae. Industriales	Prosumidor	38,920662	-6,382833	Renovable: Solar	Municipio: Administrativo
GPEX S.A.	Prosumidor	38,911223	-6,363303	Renovable: Solar	Municipio: Administrativo
Instituto Santa Eulalia	Prosumidor	38,913595	-6,334043	Renovable: Solar	Municipio: Docente
Instituto Albarregas	Prosumidor	38,912336	-6,337093	Renovable: Solar	Municipio: Docente
Instituto Emérita Augusta	Prosumidor	38,922907	-6,337047	Renovable: Solar	Municipio: Docente
Instituto Mujer Extremadura	Prosumidor	38,908559	-6,334804	Renovable: Solar	Municipio: Administrativo
Escuela de Idiomas Mérida	Prosumidor	38,916770	-6,348055	Renovable: Solar	Municipio: Docente

Cuadro 9. Tabla de caracterización de organizaciones candidatas utilizadas en el caso de estudio.

Los valores de producción y consumo de estas organizaciones en el 2023 se muestran en el Apéndice 38.

Una vez registrados todos los datos requeridos en la aplicación informática, en la Figura 28 se observa lo almacenado en la hoja “Ingreso de Datos”.

Ingreso de Datos de Organizaciones Candidatas

[Ver Comunidades Energéticas](#)

Ingrese el nombre de la organización candidata.

Ingrese la ubicación geográfica de la organización candidata. Formato 00,000000

Latitud Longitud

Ingrese los datos de producción y consumo para el mes respectivo en kWh

	Producción	Consumo
Enero		
Febrero		
Marzo		
Abril		
Mayo		
Junio		
Julio		
Agosto		
Septiembre		
Octubre		
Noviembre		
Diciembre		

[Guardar Nuevo Registro](#)
[Editar Registro](#)
[Guardar Edición](#)
[Eliminar Registro](#)
[Borrar Datos Almacenados](#)

Organizaciones candidatas que se analizarán

- Asamblea de Extremadura
- Centro Educación Infantil Los Gurumelos
- Centro de Profesores Mérida
- Fomento Extremeño de Infrae. Industriales
- GPEX S.A.
- Instituto Santa Eulalia
- Instituto Albarregas
- Instituto Emérita Augusta
- Instituto Mujer Extremadura
- Escuela de Idiomas Mérida

Figura 28. Hoja Ingreso de Datos en el caso de estudio.

Con las diez organizaciones candidatas registradas, se hace uso de la funcionalidad de la aplicación para el cálculo de combinaciones y la presentación de las comunidades energéticas posibles, se expone el resultado en las Figura 29 y Figura 30.

Volver

Con las10organizaciones candidatas registradas, se pueden establecer638comunidades energéticas.

Analizar Comunidades Energéticas

256comunidades energéticas que cumplen con la restricción de los 2000 metros.

Se enumeran a continuación con los respectivos miembros de cada comunidad.

Comunidades Energética CE 7

Distancia < 2000 m

CE 8

CE 9

CE 10

CE 11

CE 12

CE 13

CE 14

CE 15

CE 16

CE 17

CE 18

CE 19

CE 20

CE 21

CE 37

CE 38

CE 39

CE 40

CE 41

CE 42

CE 43

CE 44

CE 45

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; Fomento Extr; GPEX S.A.

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; Fomento Extr; Instituto Santa Eulalia

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; Fomento Extr; Instituto Albarregas

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; Fomento Extr; Instituto Emérita Augusta

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; Fomento Extr; Instituto Mujer Extremadura

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; Fomento Extr; Escuela de Idiomas Mérida

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; GPEX S.A. Instituto Santa Eulalia

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; GPEX S.A. Instituto Albarregas

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; GPEX S.A. Instituto Emérita Augusta

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; GPEX S.A. Instituto Mujer Extremadura

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; GPEX S.A. Escuela de Idiomas Mérida

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; Instituto San; Instituto Albarregas

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; Instituto San; Instituto Emérita Augusta

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; Instituto San; Instituto Mujer Extremadura

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; Instituto San; Escuela de Idiomas Mérida

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; Instituto Albi; Instituto Emérita Augusta

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; Instituto Albi; Instituto Mujer Extremadura

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; Instituto Albi; Escuela de Idiomas Mérida

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; Instituto Emé; Instituto Mujer Extremadura

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; Instituto Emé; Escuela de Idiomas Mérida

Asamblea de Centro Educa; Centro de Pr; Instituto Muj; Escuela de Idiomas Mérida

Asamblea de Centro Educa; Fomento Extr; GPEX S.A. Instituto Santa Eulalia

Asamblea de Centro Educa; Fomento Extr; GPEX S.A. Instituto Albarregas

Asamblea de Centro Educa; Fomento Extr; GPEX S.A. Instituto Emérita Augusta

Asamblea de Centro Educa; Fomento Extr; GPEX S.A. Instituto Mujer Extremadura

Figura 29. Hoja Comunidades Energéticas en el caso de estudio. Parte 1.

CE 46	CE 26	Asamblea de Centro Educ Fomento Extr GPEX S.A.	Escuela de Idiomas Mérida
CE 47	CE 27	Asamblea de Centro Educ Fomento Extr Instituto San	Instituto Albarregas
CE 48	CE 28	Asamblea de Centro Educ Fomento Extr Instituto San	Instituto Emérita Augusta
CE 49	CE 29	Asamblea de Centro Educ Fomento Extr Instituto San	Instituto Mujer Extremadura
CE 50	CE 30	Asamblea de Centro Educ Fomento Extr Instituto San	Escuela de Idiomas Mérida
CE 51	CE 31	Asamblea de Centro Educ Fomento Extr Instituto Albi	Instituto Emérita Augusta
CE 52	CE 32	Asamblea de Centro Educ Fomento Extr Instituto Albi	Instituto Mujer Extremadura
CE 53	CE 33	Asamblea de Centro Educ Fomento Extr Instituto Albi	Escuela de Idiomas Mérida
CE 54	CE 34	Asamblea de Centro Educ Fomento Extr Instituto Emé	Instituto Mujer Extremadura
CE 55	CE 35	Asamblea de Centro Educ Fomento Extr Instituto Emé	Escuela de Idiomas Mérida
CE 56	CE 36	Asamblea de Centro Educ Fomento Extr Instituto Muj	Escuela de Idiomas Mérida
CE 72	CE 37	Asamblea de Centro Educ GPEX S.A.	Instituto San Instituto Albarregas
CE 73	CE 38	Asamblea de Centro Educ GPEX S.A.	Instituto San Instituto Emérita Augusta
CE 74	CE 39	Asamblea de Centro Educ GPEX S.A.	Instituto San Instituto Mujer Extremadura
CE 75	CE 40	Asamblea de Centro Educ GPEX S.A.	Instituto San Escuela de Idiomas Mérida
CE 76	CE 41	Asamblea de Centro Educ GPEX S.A.	Instituto Albi Instituto Emérita Augusta
CE 77	CE 42	Asamblea de Centro Educ GPEX S.A.	Instituto Albi Instituto Mujer Extremadura
CE 78	CE 43	Asamblea de Centro Educ GPEX S.A.	Instituto Albi Escuela de Idiomas Mérida
CE 79	CE 44	Asamblea de Centro Educ GPEX S.A.	Instituto Emé Instituto Mujer Extremadura
CE 80	CE 45	Asamblea de Centro Educ GPEX S.A.	Instituto Emé Escuela de Idiomas Mérida
CE 81	CE 46	Asamblea de Centro Educ GPEX S.A.	Instituto Muj Escuela de Idiomas Mérida
CE 82	CE 47	Asamblea de Centro Educ Instituto San	Instituto Albi Instituto Emérita Augusta
CE 83	CE 48	Asamblea de Centro Educ Instituto San	Instituto Albi Instituto Mujer Extremadura
CE 84	CE 49	Asamblea de Centro Educ Instituto San	Instituto Albi Escuela de Idiomas Mérida
CE 85	CE 50	Asamblea de Centro Educ Instituto San	Instituto Emé Instituto Mujer Extremadura
CE 86	CE 51	Asamblea de Centro Educ Instituto San	Instituto Emé Escuela de Idiomas Mérida
CE 87	CE 52	Asamblea de Centro Educ Instituto San	Instituto Muj Escuela de Idiomas Mérida
CE 88	CE 53	Asamblea de Centro Educ Instituto Albi	Instituto Emé Instituto Mujer Extremadura
CE 89	CE 54	Asamblea de Centro Educ Instituto Albi	Instituto Emé Escuela de Idiomas Mérida
CE 90	CE 55	Asamblea de Centro Educ Instituto Albi	Instituto Muj Escuela de Idiomas Mérida
CE 91	CE 56	Asamblea de Centro Educ Instituto Emé	Instituto Muj Escuela de Idiomas Mérida

Figura 30. Hoja Comunidades Energéticas en el caso de estudio. Parte 2.

En esta hoja se presentan los primeros resultados del caso de estudio, como se observa en la Figura 29 con la cantidad de organizaciones candidatas registradas, se pueden formar 638 combinaciones, es decir 638 comunidades energéticas con un mínimo de cinco miembros.

Como se observa tanto en la Figura 29 como en la Figura 30, se enumeran dichas comunidades energéticas y se presentan los miembros de cada comunidad en el cuadro de la derecha. En adición, se enlistan las comunidades energéticas cuyos miembros presentan una distancia entre sí menor a los dos kilómetros, específicamente 256 de las 638 comunidades energéticas son válidas según los límites de distancia para el autoconsumo establecidos en la legislación española.

Gracias al Módulo 6 llamado CálculoCombinacionesCandidatos programado en la aplicación, se calcula el número máximo de combinaciones con la cantidad de candidatos registrada, y se descartan 382 comunidades energéticas que no cumplen con una de las limitantes establecidas, por dicha razón no se siguen considerando para una análisis exhaustivo por medio del cálculo de las métricas.

Presionando el botón “Analizar Comunidades Energéticas” se calcula el ACC y la CNC para las 256 comunidades energéticas. Los resultados se muestran en la Figura 31.

Volver		<p>Considerando el Autoconsumo Colectivo (ACC) de las CE analizadas, se enlistan las que se consideran autosuficientes. Es decir, que cuentan en el total del periodo de análisis con una producción propia igual o mayor al consumo comunitario.</p> <p>En adición, se genera una tabla resumen con datos relevantes a partir del cálculo de la Curva Neta de Consumo (CNC). y los gráficos de la métrica.</p>						Ir a Resumen	
CE Autosuficientes:		Comunidad	Total CNC	Déficit en kWh	Déficit en \$	Superávit en kWh	Superávit en \$	Total Neto	
CE 17	CE 21	32908	15341	€2.252,80	48249	€4.135,90	€1.883,11		
CE 18	CE 160	24926	27232	€3.998,96	52158	€4.470,98	€472,02		
CE 19	CE 161	23296	29997	€4.405,00	53293	€4.568,28	€163,28		
CE 20	CE 90	20800	27327	€4.012,92	48127	€4.125,45	€112,53		
CE 21	CE 286	23456	33270	€4.885,63	56726	€4.862,55	-€23,08		
CE 55	CE 91	19170	29810	€4.377,54	48980	€4.198,57	-€178,97		
CE 56	CE 287	21826	35628	€5.231,90	57454	€4.924,96	-€306,94		
CE 88	CE 18	17231	30794	€4.522,04	48025	€4.116,70	-€405,33		
CE 89	CE 17	16400	32745	€4.808,54	49145	€4.212,71	-€595,83		
CE 90	CE 20	15601	34156	€5.015,74	49757	€4.265,17	-€750,57		
CE 91	CE 19	14770	35550	€5.220,45	50320	€4.313,43	-€907,02		
CE 151	CE 151	2385	31538	€4.631,29	33923	€2.907,88	-€1.723,41		
CE 158	CE 55	5015	36240	€5.321,77	41255	€3.536,38	-€1.785,39		
CE 159	CE 231	11188	45831	€6.730,19	57019	€4.887,67	-€1.842,52		
CE 160	CE 413	13844	52108	€7.651,96	65952	€5.653,41	-€1.998,55		

Figura 31. Hoja Métricas en el caso de estudio.

En esta hoja, se enlistan las comunidades energéticas con un ACC adecuado, que como se explicó anteriormente, es cuando dicho indicador es igual al valor de consumo comunitario. Esto indica, que en el periodo de análisis, la comunidad energética presenta mayor producción energética propia que consumo comunitario. Lo que da una primera imagen si los perfiles de consumo y producción de cada uno de los integrantes de la comunidad encajan para su asociación.

En adición a esto, se muestra una tabla con la sumatoria total de la CNC y se presenta información de la cantidad de energía (en kWh) que la comunidad energética tuvo de déficit o de superávit, además de cuantificar monetariamente cuanto es la cantidad de dinero (en euros) que la comunidad tiene que pagar por la compra de energía faltante a la red tradicional, o por el contrario la cantidad de euros que podrá tener de compensación por el vertido de sus excedentes a la red.

Con base en estos valores monetarios, se calcula un total neto que muestra el balance de la comunidad en cuanto a esta compra y venta de energía. Las comunidades energéticas con mejores resultados en este balance, es decir con valores mayores, se consideran que mediante su unión se presentaría un beneficio económico para los miembros de la comunidad y dichas comunidades se priorizan y enlistan primero en el cuadro resumen, además de que se presentan sus gráficos de curva de consumo en las primeras posiciones.

En el Cuadro 10 se presentan los resultados de las comunidades energéticas con balance positivo.

Cuadro 10. Resultados de comunidades energéticas con balance económico neto positivo.

Comunidad	Total CNC	Déficit en kWh	Déficit en \$	Superávit en kWh	Superávit en \$	Total Neto
CE 21	32908	15341	€2.252,80	48249	€4.135,90	€1.883,11
CE 160	24926	27232	€3.998,96	52158	€4.470,98	€472,02
CE 161	23296	29997	€4.405,00	53293	€4.568,28	€163,28
CE 90	20800	27327	€4.012,92	48127	€4.125,45	€112,53

De la Figura 32 a la Figura 35 se muestra la curva de consumo de las comunidades energéticas con un total neto positivo.

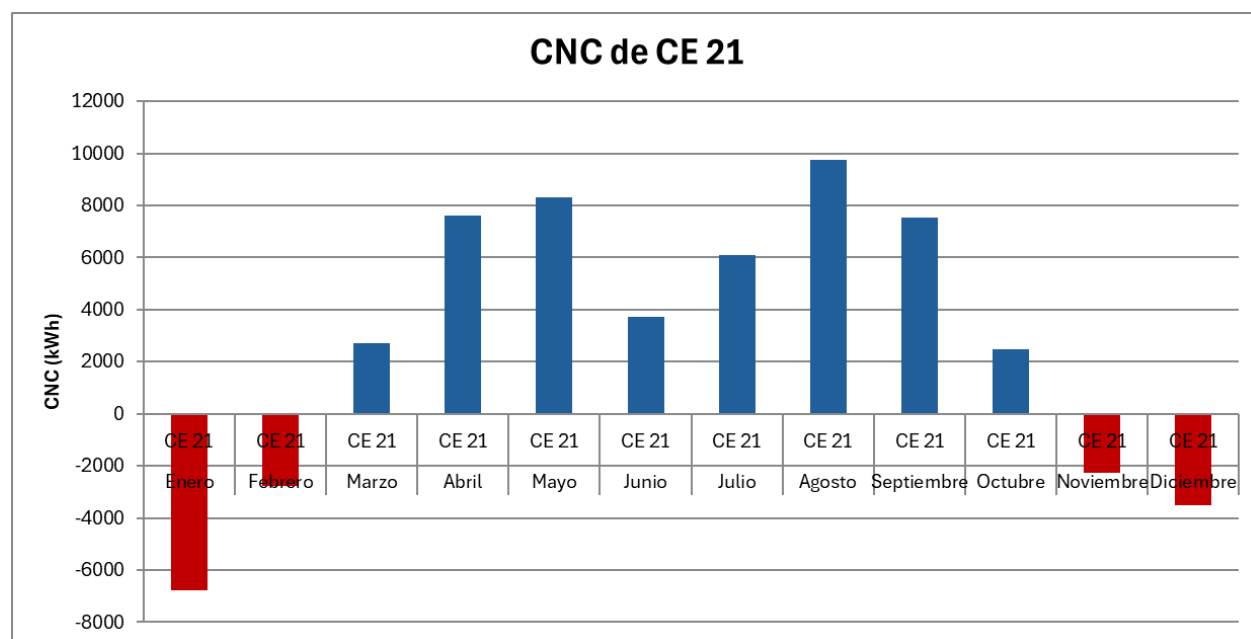


Figura 32. Curva de consumo de la comunidad energética 21.

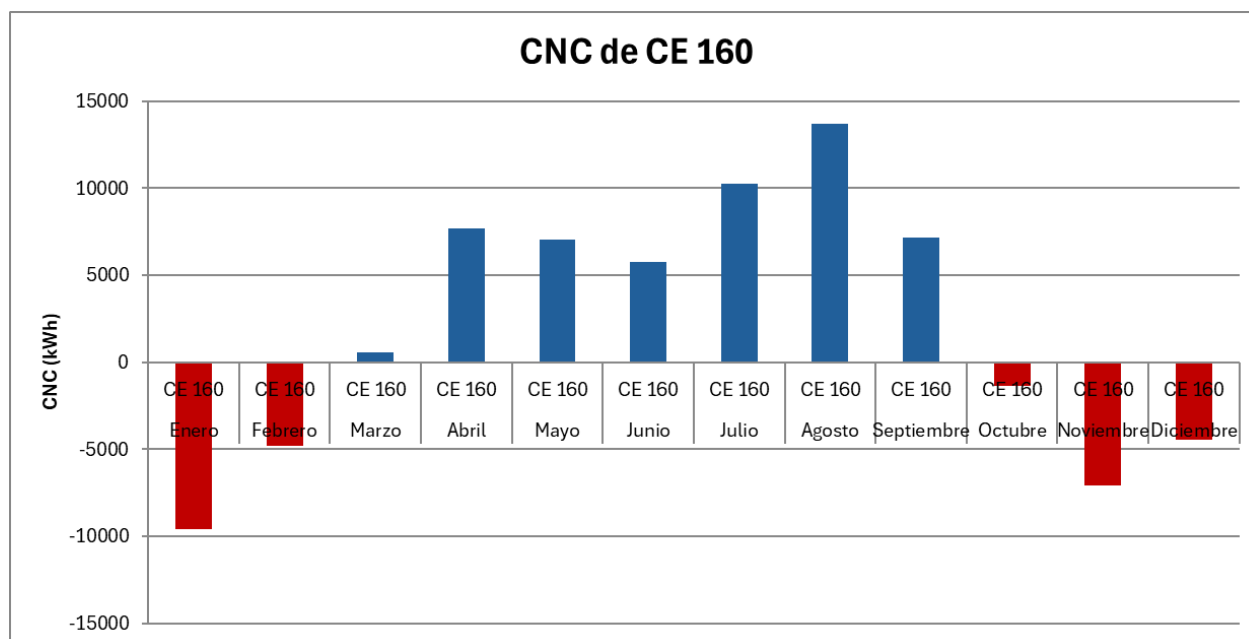


Figura 33. Curva de consumo de la comunidad energética 160.

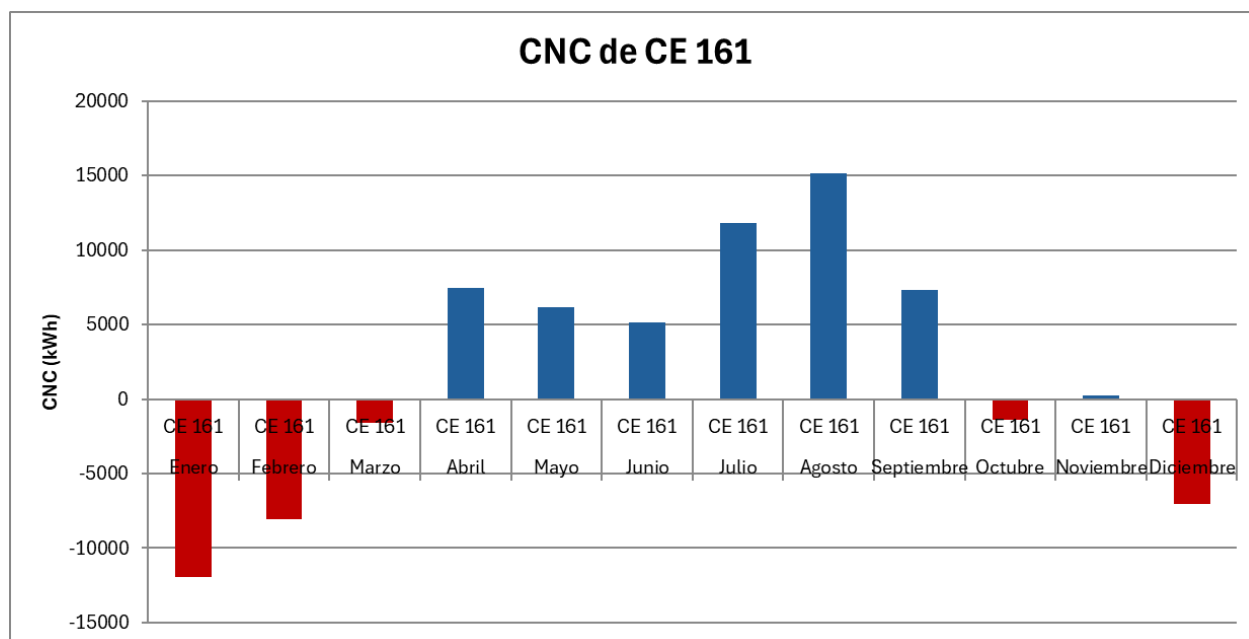


Figura 34. Curva de consumo de la comunidad energética 161.

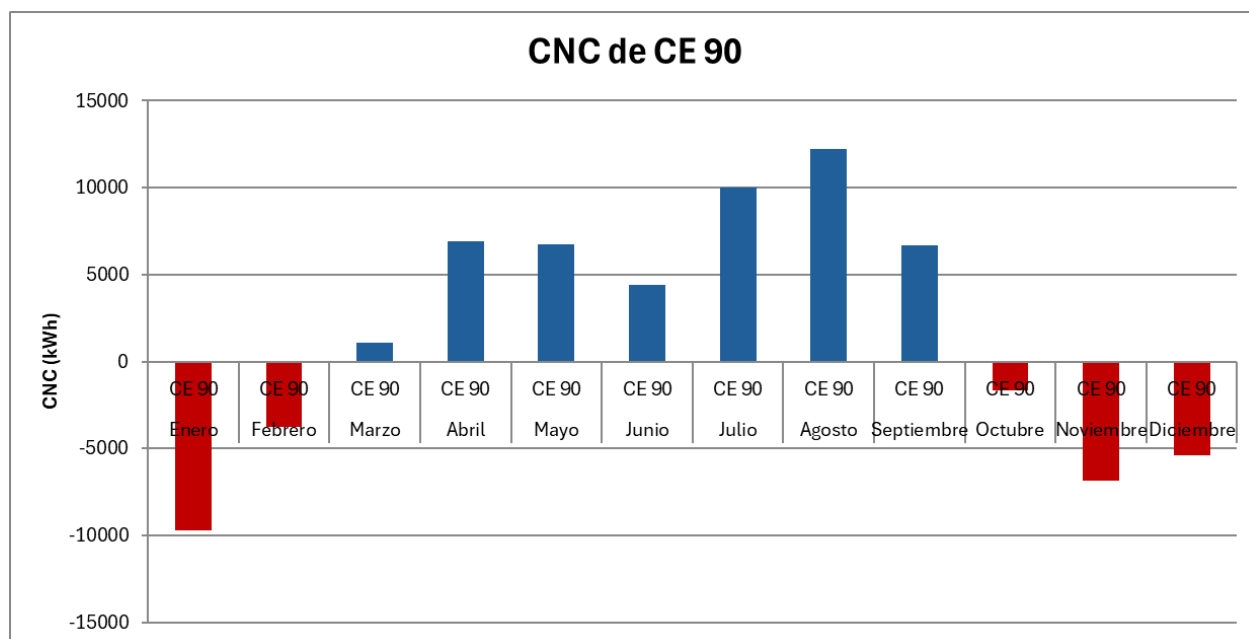


Figura 35. Curva de consumo de la comunidad energética 90.

Con estas figuras, se visualiza el comportamiento de las comunidades a lo largo de los meses y se identifica que los periodos de mayor déficit para las comunidades, y por lo tanto mayor dependencia de la red tradicional, se presenta a inicio y final de año. Lo que se relaciona con que sean periodos de invierno, y la producción de energía en esta estación por medio de celdas fotovoltaicas se ve altamente impactada.

Finalmente se visualiza la hoja “Resumen” en las que dichas dos comunidades energéticas con valores positivos en el balance neto calculado se enlistan y gráficamente se ordenan las comunidades con mejores resultados, como se ve en la Figura 36.

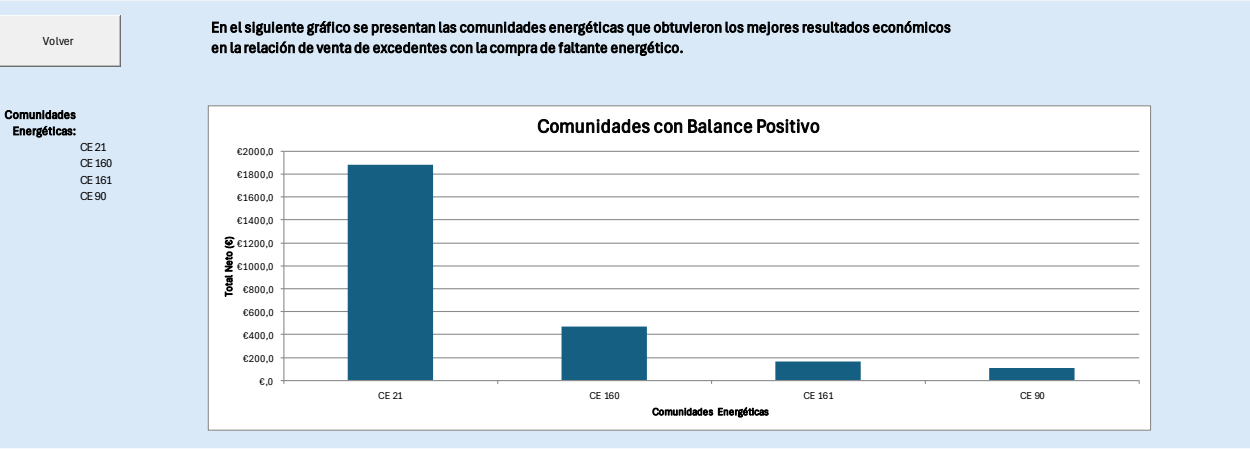


Figura 36. Hoja Resumen en caso de estudio. Parte 1.

Además, se vuelven a presentar los miembros de estas comunidades para identificar las organizaciones candidatas para el establecimiento de una o varias comunidades; se expone en la Figura 37.

Los miembros de estas comunidades se enlistan a continuación									
CE 21	Asamblea de Extrem	Centro Educación Ir	Centro de Profesore	Instituto Mujer Extre	Escuela de Idiomas				
CE 160	Centro Educación Ir	Centro de Profesore	Instituto Albarregas	Instituto Mujer Extre	Escuela de Idiomas				
CE 161	Centro Educación Ir	Centro de Profesore	Instituto Emérita Au	Instituto Mujer Extre	Escuela de Idiomas				
CE 90	Asamblea de Extrem	Centro de Profesore	Instituto Albarregas	Instituto Mujer Extre	Escuela de Idiomas				

Figura 37. Hoja Resumen en caso de estudio. Parte 2.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Con este proyecto realizado para TRANSCOM EuroACE se logró desarrollar un modelo que permite evaluar las características individuales de las organizaciones candidatas, y su compatibilidad con otros posibles miembros de una comunidad, mediante el análisis de las comunidades propuestas por medio del cumplimiento de criterios cualitativos, y los resultados de métricas cuantitativas. En adición, se desarrolló una aplicación informática en Microsoft Excel que facilita la aplicación del modelo, y el análisis de las métricas, esta aplicación permite la identificación de todas las posibles combinaciones para el establecimiento de comunidades energéticas según la cantidad de organizaciones candidatas que se analizan. Además que permite analizar los perfiles de consumo y producción de los candidatos y su comportamiento al unirse con distintos miembros con características y perfiles distintos.

El modelo para la evaluación de las comunidades energéticas considera tanto criterios cualitativos como cuantitativos, permitiendo valorar a las comunidades de manera objetiva y en función de la variabilidad en el suministro y demanda energética que cada uno de los miembros presenta a lo largo del periodo de análisis. Este modelo se basa en una metodología estructurada y respaldada por la revisión de literatura que se realizó, donde se aborda un vacío identificado en los estudios previos de análisis de comunidades energéticas, los cuales no consideran el análisis proactivo de las comunidades antes de su formación. Este enfoque complementa los estudios ya publicados, que se centraron en el análisis de comunidades energéticas y modelos de consumo compartidos de asociaciones ya establecidas.

Este modelo y aplicación informática se probó con datos de producción y consumo energético de edificios públicos de la ciudad de Mérida en Extremadura durante el 2023. Aplicar este caso de estudio permitió verificar la funcionalidad de la aplicación y demostrar su capacidad para generar listas, gráficos y tablas resumen que faciliten el análisis de las posibles comunidades energéticas a establecer. Como se presentó en el caso de estudio, con las diez organizaciones candidatas y las 638 posibles comunidades energéticas a conformar, finalmente se identificaron cuatro comunidades energéticas que cumplen con las restricciones establecidas en la legislación española para la formación de una comunidad, y que algunas de ellas presentan beneficios económicos para los miembros que superan los 1.800 € al año. Mediante el análisis realizado en el modelo, se descartaron 634 comunidades energéticas que no se consideraron en la propuesta de comunidades, debido a su incumplimiento de los criterios y de los resultados obtenidos por la compra y venta de energía a la red eléctrica externa.

Recomendaciones

Desde un punto de vista práctico, se recomienda al proyecto TRANSCOM la valoración de las comunidades energéticas que presentaron resultados económicos favorables en cuanto a la compra y venta de energía excedente, para continuar con el proceso técnico, logístico y jurídico para el establecimiento de las comunidades; debido a que esto no entra dentro del alcance de este proyecto.

Desde un punto de vista académico, se recomienda la complementación del modelo de evaluación realizado con un modelo que optimice la selección de los candidatos para una posible comunidad energética en base a los datos históricos que se ingresen en la aplicación y las proyecciones que se pueden hacer con estos datos.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Araújo, I., Grase, B., Cerveira, A. & Baptista, J. (2023). Energy Sharing Models in Renewable Energy Communities. *2023 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)*. 1-6. [10.1109/ICECET58911.2023.10389585](https://doi.org/10.1109/ICECET58911.2023.10389585)
- Biblioteca Universidad de Huelva (2024). *Datos de investigación: Zenodo*. <https://guiasbuh.uhu.es/datosinvestigacion/zenodo>
- Brummer, V. (2018). Community energy – benefits and barriers: A comparative literature review of Community Energy in the UK, Germany and the USA, the benefits it provides for society and the barriers it faces. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 94, 187-196. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.013>
- Ceglia, F., Marrasso, E., Roselli, C. & Sasso, M. (2023). Energy and environmental assessment of a biomass-based renewable energy community including photovoltaic and hydroelectric systems. *Energy*. 282, 128348. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128348>
- Cima, C. & Cabrera, Y. (2024). El prometedor futuro de las comunidades energéticas. *Smart Efficiency*. 233, 20-23. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9743899>
- Comisión Europea (2018). *Un presupuesto moderno para una Unión que proteja, empodere y vele por la seguridad. El marco financiero plurianual para el período 2021-2027*. [Archivo PDF]. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:c2bc7dbd-4fc3-11e8-be1d-01aa75ed71a1.0019.02/DOC_2&format=PDF
- Comité Económico y Social Europeo (2017). *Dictamen del Comité Económico y Social Europeo sobre «Cooperativas de productores-consumidores (prosumidores) de energía: oportunidades y retos en los países de la UE» (Dictamen de iniciativa)* [Archivo PDF]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=OJ:C:2017:034:FULL&from=RO>
- Cuenca, J., Jamil, E. & Hayes, B. (2021). State of the Art in Energy Communities and Sharing Economy Concepts in the Electricity Sector. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 57(6), 5737-5746. [10.1109/TIA.2021.3114135](https://doi.org/10.1109/TIA.2021.3114135)
- Debusschere, V. & Mustika, A. & Pachurka, A. & Rigo-Mariani, R. (2022). New members selection for the expansion of energy communities. *Sustainability*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/su141811257>

- Diputación de Badajoz (2023). *TRANSCOM_EUROACE*. <https://transicionecologica.dip-badajoz.es/proyecto/transcom-euroace>
- Fajardo, G. & Frantzeskaki, M. (2021). REVESCO: Revista de estudios cooperativos. *Las comunidades energéticas en Grecia*. (137), 6-7. <https://dx.doi.org/10.5209/REVE.71866>
- Fajardo, G. (2021). El Autoconsumo de Energía Renovable, las Comunidades Energéticas y las Cooperativas. *Noticias de la Economía Pública, Social y Cooperativa*. (66), 34-51. https://ciriec.es/wp-content/uploads/2021/07/Revista_66_CIDEC.pdf
- Falcón-Pérez, C. (2023). Las Comunidades Energéticas Como Iniciativas Emergentes Que Luchan Contra El Cambio Climático. *Actualidad Jurídica Ambiental*, 136, 1–58. <https://doi.org/10.56398/ajacieda.00279>
- Fouladvand, J., Ateş, E., Sari, Y. & Okur, Ö. (2024). Does the availability of alternative energy choices lead to more environmentally friendly outcomes? The case of thermal energy communities and natural gas consumption. *Applied Energy*. 374, 123932. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123932>
- García, A. (2021). Cooperativas, comunidades energéticas y la normativa española. . *Noticias de la Economía Pública, Social y Cooperativa*. (66), 55-56. https://ciriec.es/wp-content/uploads/2021/07/Revista_66_CIDEC_tema.pdf
- García, P. (2023). El IDAE publica el mapa de más de 40 comunidades energéticas distribuidas por España. *Material Eléctrico*. <https://material-electrico.cdecomunicacion.es/fotovoltaica-autoconsumo/131141/idae-publica-mapa-comunidades-energeticas>
- Lazdins, R., Mutule, A. & Zalostiba, D. (2021). PV Energy Communities—Challenges and Barriers from a Consumer Perspective: A Literature Review. *Energies*. 14, 4873. <https://doi.org/10.3390/en14164873>
- Luthander, R., Widén, J., Nilsson, D. & Palm, J. (2015). Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. *Applied Energy*. 142, 80-94. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.028>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2023). *Memoria Anual del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2022*. [Archivo PDF]. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ministerio/servicios/publicaciones/2024/0208-MITECO-MemoriaAnual2022_AF.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2023). *Medidas del Plan + Seguridad Energética Abril 2023*. [Archivo PDF].

https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/ministerio/planes-estrategias/seguridad-energetica/planse-medidasdelplan-abril2023_tcm30-561538.PDF

Observatorio de Comunidades Energéticas Energía Común (2024). *Informe anual de indicadores 2023*. <https://www.energiacomun.org/recursos/publicaciones/informe-anual-de-indicadores-2023/>

Oficina de Transparencia y Datos Abiertos UEx (s.f.). *Grupo de Investigación: Ingeniería de los Procesos de Fabricación*. <https://opendata.unex.es/investiga/grupos-de-investigacion/TPR008>

Orden TED/764/2024, de 22 de julio, por la que se aprueban las bases reguladoras para la concesión de ayudas del nuevo programa de incentivos a proyectos piloto singulares de comunidades energéticas (Programa CE implementa), en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, financiado por la Unión Europea-Next Generation EU. *Boletín Oficial del Estado*, 179, de 25 de julio de 2024. <https://www.boe.es/boe/dias/2024/07/25/pdfs/BOE-A-2024-15412.pdf>

Organización de las Naciones Unidas (2015). *17 objetivos para transformar nuestro mundo*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea (2018). *Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables* [Archivo PDF]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001>

Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea (2019). *Directiva (UE) 2019/944 del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de junio de 2019 sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE* [Archivo PDF]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0944>

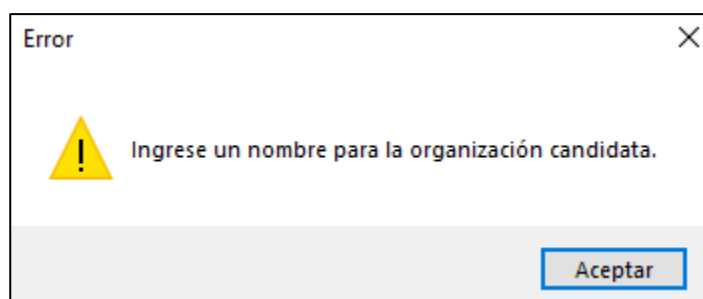
Parreño, A., Ramallo, A., Chinchilla, M. & Molina, A. (2023). Community energy solutions for addressing energy poverty: A local case study in Spain. *Energy and Buildings*. 296, 113418. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113418>

- Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. *Boletín Oficial del Estado*, 83, de 6 de abril de 2019. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2019/04/05/244>
- Real Decreto 446/2023, de 13 de junio, por el que se modifica el Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo, por el que se establece la metodología de cálculo de los precios voluntarios para el pequeño consumidor de energía eléctrica y su régimen jurídico de contratación, para la indexación de los precios voluntarios para el pequeño consumidor de energía eléctrica a señales a plazo y reducción de su volatilidad. *Boletín Oficial del Estado*, 141, de 14 de junio de 2023. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2023/06/13/446>
- Red Eléctrica Española (2024). Precio de la energía excedentaria del autoconsumo para el mecanismo de compensación simplificada (PVPC). https://www.esios.ree.es/es/analisis/1739?compare_indicators=1001&vis=1&start_date=01-12-2023T00%3A00&end_date=01-12-2023T23%3A55&compare_start_date=30-11-2023T00%3A00&groupby=hour
- Red Eléctrica Española (2024). *Término de facturación de energía activa del PVPC*. <https://www.esios.ree.es/es/pvpc?date=01-12-2023>
- Sánchez, J. & Contreras, P. (2012). De Cara al Prosumidor: Producción y consumo empoderando a la ciudadanía 3.0. *ICONO 14 Revista de Comunicación y Tecnologías Emergentes*, 10(3), 62-84. <https://doi.org/10.7195/ri14.v10i3.210>
- SmartGridsInfo.es (2023). Base de datos sobre regulaciones existentes para comunidades energéticas en países de la UE. <https://www.smartgridsinfo.es/2023/09/11/base-datos-regulaciones-existentes-comunidades-energeticas-paises-ue>
- Universidad de Extremadura (s.f.). *Presentación de la UEx*. <https://www.unex.es/conoce-la-uex/presentacion-de-la-uex/>
- Walpole, R., Myers, R. & Myers, S. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Novena edición. Pearson Educación.
- Yang, Y., Xia, S., Huang, P. & Qian, J. (2024). Energy transition: Connotations, mechanisms and effects. *Energy Strategy Reviews*. 52, 101320. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101320>

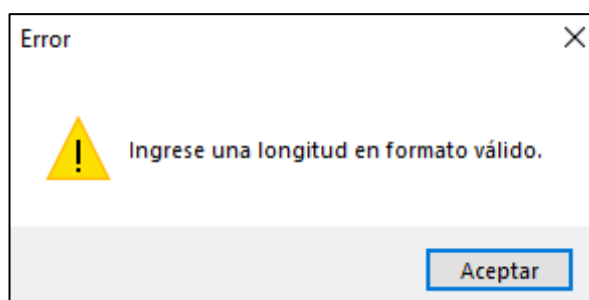
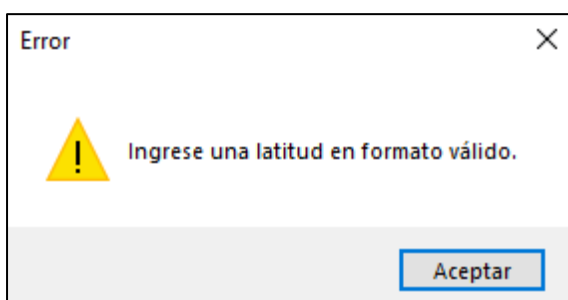
VIII. APÉNDICES

Apéndice 1. Manual de uso de la aplicación informática.

1. Abra el archivo de Microsoft Excel habilitado para Macros de nombre “Herramienta TFG FabiánCalvo TRANSCOM”.
2. En la hoja “Ingreso de Datos”, celda B16, ingrese el nombre de la organización candidata que se desea unir al grupo de candidatos a analizar. En caso de no ingresar un nombre para la organización candidata, al intentar guardar el registro, aparecerá el siguiente mensaje.

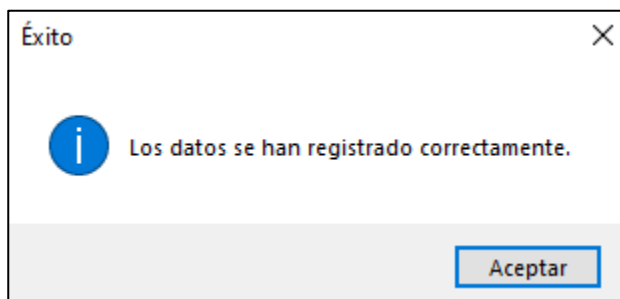


3. En las celdas C21 y G21 de esta hoja, ingrese la ubicación de la organización candidata con los datos de latitud y longitud respectivamente. Escríbalo en formato número, ejemplo: 00,000000. En caso de no ingresar estos datos en el formato adecuado, aparecerán los siguientes mensajes.

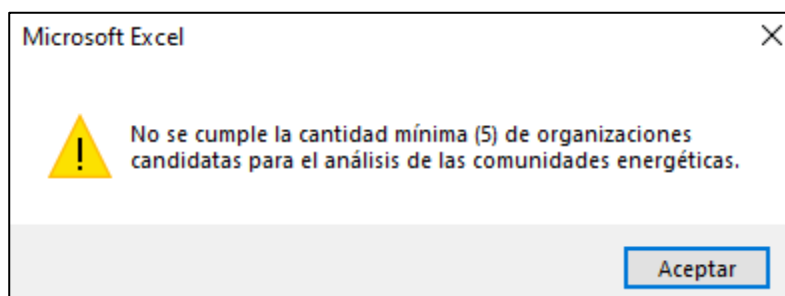


4. En el rango C27:D38 ingrese los valores mensuales registrados para la organización candidata, de producción y consumo respectivamente. Escríbalo en formato número, y todos los meses deben de tener un dato asignado, de no ser así no se podrá guardar el registro.

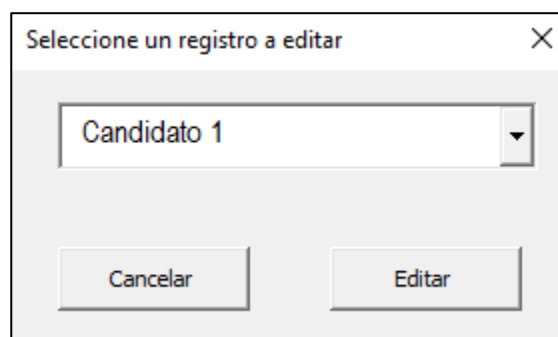
Una vez ingresados todos los datos en el formato adecuado, presionar el botón “Guardar Nuevo Registro” y aparecerá el siguiente mensaje.



Repetir este proceso de ingreso de datos para todas las organizaciones candidatas que se quieren analizar. Hay que recordar que la cantidad mínima de organizaciones candidatas a analizar es cinco, de no haber esta cantidad mínima de candidatos para el análisis, aparecerá el siguiente mensaje si se quiere avanzar en la aplicación.



5. En caso de necesitar editar registro ya guardado, presionar el botón "Editar Registro" se desplegará un formulario para la selección la organización candidata. Una vez seleccionado el candidato, presionar el botón Editar.



6. Una vez hechos las modificaciones en el registro que interesa, presionar el botón Guardar Edición para sobrescribir los datos almacenados en las tablas con los nuevos.

7. En caso de necesitar editar registro ya guardado, presionar el botón “Eliminar Registro” se desplegará un formulario para la selección la organización candidata. Una vez seleccionado el candidato, presionar el botón Eliminar.

Seleccione un registro a eliminar

Candidato 2

Cancelar Eliminar

8. Una vez ingresadas todas las organizaciones candidatas que se quieren analizar, presionar el botón “Ver Comunidades Energéticas”, se direcciona a la hoja respectiva.
9. En esta hoja se muestran las comunidades que se pueden formar con las organizaciones candidatas ingresadas, y se enlistan las que cumplen con la restricción de los 2km entre miembros para el autoconsumo, como se muestra en la imagen.

Volver	Con las 7 organizaciones candidatas registradas, se pueden establecer 29 comunidades energéticas.	Analizar Comunidades Energéticas
7 comunidades energéticas cumplen con la restricción de los 2000 metros.		
Comunidades Energética CE 4 Distancia < 2000 m CE 5 CE 6 CE 10 CE 14 CE 19 CE 25		
Se enumeran a continuación con los respectivos miembros de cada comunidad.		
CE 1	Candidato 1	Candidato 2
CE 2	Candidato 1	Candidato 2
CE 3	Candidato 1	Candidato 2
CE 4	Candidato 1	Candidato 2
CE 5	Candidato 1	Candidato 2
CE 6	Candidato 1	Candidato 2
CE 7	Candidato 1	Candidato 2
CE 8	Candidato 1	Candidato 2
CE 9	Candidato 1	Candidato 2
CE 10	Candidato 1	Candidato 2
CE 11	Candidato 1	Candidato 2
CE 12	Candidato 1	Candidato 2
CE 13	Candidato 1	Candidato 2
CE 14	Candidato 1	Candidato 2
CE 15	Candidato 1	Candidato 2
CE 16	Candidato 1	Candidato 2
CE 17	Candidato 1	Candidato 2
CE 18	Candidato 1	Candidato 2
CE 19	Candidato 1	Candidato 2

10. Presionando el botón “Analizar Comunidades Energéticas” se realiza el cálculo de las métricas ACC y CNC para las comunidades enlistadas que cumplen con la restricción de distancia. Dando como resultado lo que se muestra en la siguiente imagen.

Volver

Considerando el Autoconsumo Colectivo (ACC) de las CE analizadas, se enlistan las que se consideran autosuficientes. Es decir, que cuentan en el total del periodo de análisis con una producción propia igual o mayor al consumo comunitario.

En adición, se genera una tabla resumen con datos relevantes a partir del cálculo de la Curva Neta de Consumo (CNC), y los gráficos de la métrica.

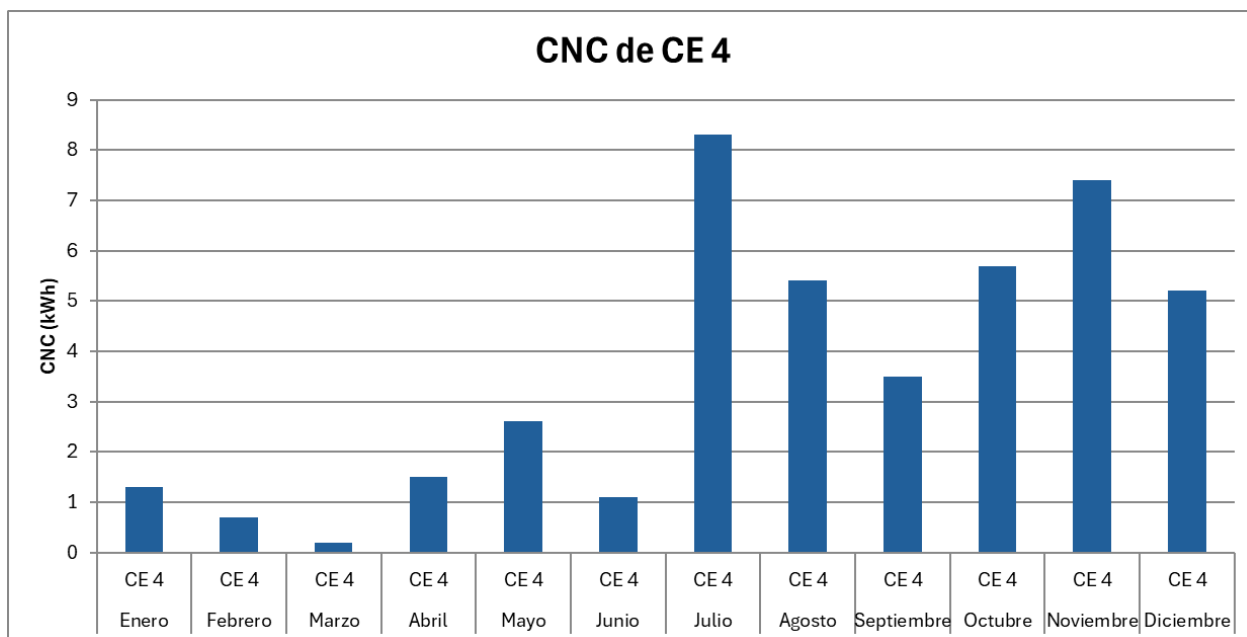
Ir a Resumen

CE Autosuficientes:

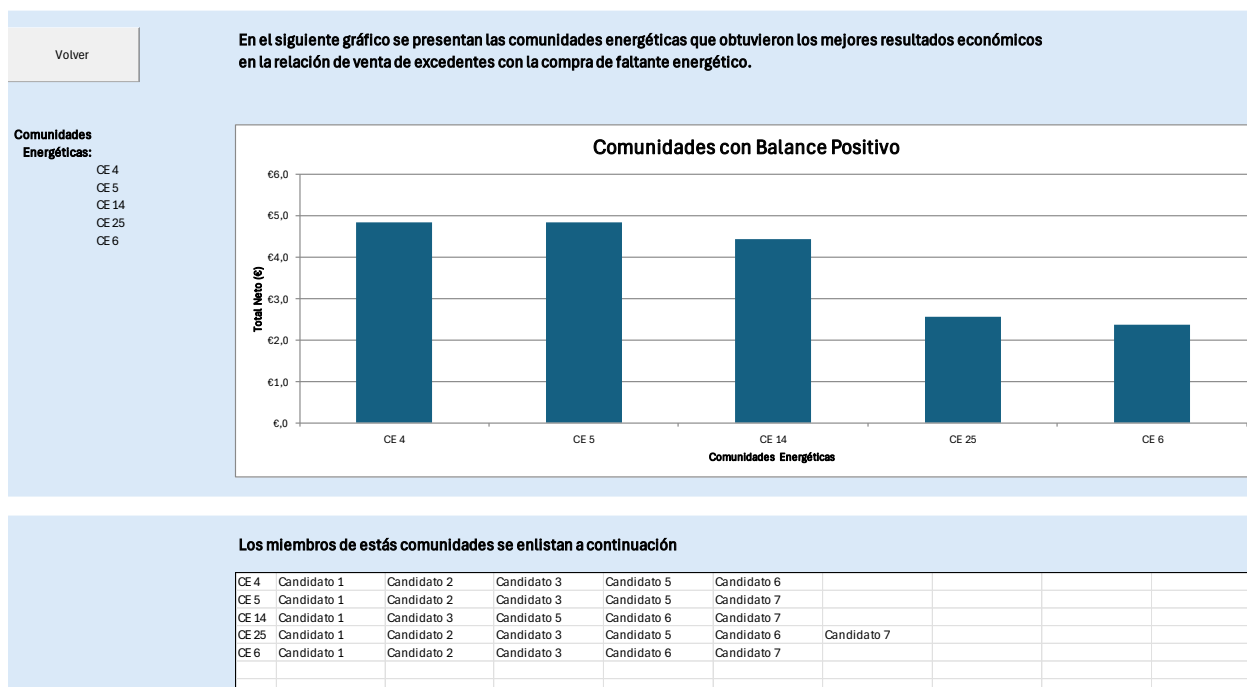
Comunidad	Total CNC	Déficit en kWh	Déficit en \$	Superávit en kWh	Superávit en \$	Total Neto
CE 4	42,9	0	€0,00	42,9	€4,83	€4,83
CE 5	42,9	0	€0,00	42,9	€4,83	€4,83
CE 6	42,1	3,5	€0,71	45,6	€5,13	€4,42
CE 14	28,4	7	€1,42	35,4	€3,99	€2,56
CE 19	26,9	7,2	€1,46	34,1	€3,84	€2,37
CE 10	7	16	€3,25	23	€2,59	-€0,67
CE 10	-19,8	29,7	€6,04	9,9	€1,11	-€4,93

Al lado derecho se enlistan las comunidades energéticas que se consideran autosuficientes según la métrica ACC, pues su producción en el periodo de análisis es mayor al consumo. En el cuadro se muestran los resultados de la métrica CNC, y se observa como las comunidades con mejores resultados en esta métrica, son las que se consideran autosuficientes. Además se calcula el valor neto que tendrá la comunidad, con respecto a la compra y venta de energía.

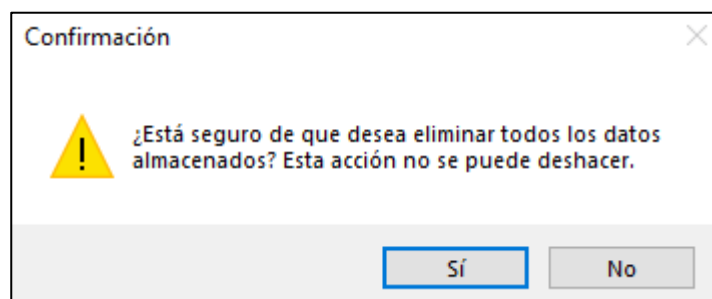
Para favorecer el análisis de las comunidades, para cada una de ellas se realizan gráficos de la CNC en los doce meses que se analizan, como se muestra en la siguiente imagen.



11. Presionando el botón “Ir a Resumen” se muestran las comunidades energéticas con mejores resultados en el balance neto que se calculó; y se vuelven a mostrar los miembros de dichas comunidades, como se muestra en las siguientes imágenes.



12. Una vez hecho el análisis, presionando los botones “Volver” de cada una de las hojas, se puede regresar a la hoja “Ingreso de Datos” y presionar el botón “Borrar Datos Almacenados” lo que borrará permanentemente los datos almacenados en las tablas. Al presionar este botón se mostrará el siguiente mensaje.



13. Presionando la opción “Sí”, se borrarán los datos guardados, dejando la aplicación lista para el análisis de otro grupo de organizaciones candidatas.

* Es relevante destacar que la hoja Ingreso de Datos se encuentra protegida con contraseña, dicha contraseña es TRANSCOM.

Apéndice 2. Código en VBA para RegistroDatos. Parte 1.

```

Sub RegistroDatos()
    Dim wsIngreso As Worksheet
    Dim wsBaseDatos As Worksheet
    Dim tblDatos As ListObject
    Dim tblCoord As ListObject
    Dim ultimaFilaDatos As ListRow
    Dim ultimaFilaCoord As ListRow
    Dim candidato As String
    Dim latitud As Double
    Dim longitud As Double
    Dim mes As String
    Dim produccion As Double
    Dim consumo As Double
    Dim i As Integer
    Dim respuesta As VbMsgBoxResult

    Set wsIngreso = ThisWorkbook.Sheets("Ingreso de Datos")
    Set wsBaseDatos = ThisWorkbook.Sheets("Base de Datos Ingreso")

    Set tblDatos = wsBaseDatos.ListObjects("TablaDatos")
    Set tblCoord = wsBaseDatos.ListObjects("TablaCoord")

    respuesta = MsgBox("Confirme los datos a guardar. Una vez guardados no se podrán editar.", vbYesNo + vbExclamation, "Confirmación")

    If respuesta = vbNo Then
        Exit Sub
    End If

    On Error Resume Next

    candidato = wsIngreso.Range("B16").Value
    On Error Resume Next
    latitud = wsIngreso.Range("C21").Value
    longitud = wsIngreso.Range("G21").Value
    On Error GoTo 0

    If IsEmpty(candidato) Or candidato = "" Then
        MsgBox "Ingrese un nombre para la organización candidata.", vbExclamation, "Error"
        Exit Sub
    End If

    If IsEmpty(wsIngreso.Range("C21").Value) Or Not IsNumeric(wsIngreso.Range("C21").Value) Then
        MsgBox "Ingrese una latitud en formato válido.", vbExclamation, "Error"
        Exit Sub
    End If

    If IsEmpty(wsIngreso.Range("G21").Value) Or Not IsNumeric(wsIngreso.Range("G21").Value) Then
        MsgBox "Ingrese una longitud en formato válido.", vbExclamation, "Error"
        Exit Sub
    End If

    For i = 27 To 38
        If IsEmpty(wsIngreso.Cells(i, 3).Value) Or Not IsNumeric(wsIngreso.Cells(i, 3).Value) Then
            MsgBox "El valor de producción en el mes " & i - 26 & " no es válido o está vacío.", vbExclamation, "Error"
            Exit Sub
        End If
        If IsEmpty(wsIngreso.Cells(i, 4).Value) Or Not IsNumeric(wsIngreso.Cells(i, 4).Value) Then

```

Apéndice 3. Código en VBA para RegistroDatos. Parte 2.

```

        MsgBox "El valor de consumo en el mes " & i - 26 & " no es válido o está vacío.", vbExclamation, "Error"
    Exit Sub
End If
Next i

Set ultimaFilaCoord = tblCoord.ListRows.Add
With ultimaFilaCoord
    .Range(1, 1).Value = candidato
    .Range(1, 2).Value = latitud
    .Range(1, 3).Value = longitud
End With

For i = 27 To 38
    mes = wsIngreso.Cells(i, 2).Value
    produccion = wsIngreso.Cells(i, 3).Value
    consumo = wsIngreso.Cells(i, 4).Value

    Set ultimaFilaDatos = tblDatos.ListRows.Add
    With ultimaFilaDatos
        .Range(1, 1).Value = candidato
        .Range(1, 2).Value = mes
        .Range(1, 3).Value = produccion
        .Range(1, 4).Value = consumo
    End With
Next i

wsIngreso.Range("B16").ClearContents
wsIngreso.Range("C21").ClearContents
wsIngreso.Range("G21").ClearContents
wsIngreso.Range("C27:C38").ClearContents
wsIngreso.Range("D27:D38").ClearContents

MsgBox "Los datos se han registrado correctamente.", vbInformation, "Éxito"
End Sub

```


Apéndice 4. Código en VBA para ListadoPresentaciónOrganizacionesCandidatas.

```

Sub ListadoPresentaciónOrganizacionesCandidatas()
    Dim wsIngreso As Worksheet
    Dim wsBaseDatos As Worksheet
    Dim tblDatos As ListObject
    Dim colCandidatos As Collection
    Dim celdaSalida As Range
    Dim fila As ListRow
    Dim candidato As Variant

    Set wsIngreso = ThisWorkbook.Sheets("Ingreso de Datos")
    Set wsBaseDatos = ThisWorkbook.Sheets("Base de Datos Ingreso")

    Set tblDatos = wsBaseDatos.ListObjects("TablaDatos")

    Set colCandidatos = New Collection
    Set celdaSalida = wsIngreso.Range("J26")

    On Error Resume Next
    For Each fila In tblDatos.ListRows
        candidato = fila.Range(1, 1).Value
        If candidato <> "" Then colCandidatos.Add candidato, CStr(candidato)
    Next fila
    On Error GoTo 0

    celdaSalida.Resize(WorksheetFunction.CountA(celdaSalida.EntireColumn)).ClearContents

    Dim i As Integer
    i = 0
    For Each candidato In colCandidatos
        celdaSalida.Offset(i, 0).Value = candidato
        i = i + 1
    Next candidato

End Sub

```

Apéndice 5. Código en VBA para el botón Editar Registro. Parte 1.

```

Sub EditarDatos()
    Dim wsIngreso As Worksheet
    Dim wsBaseDatos As Worksheet
    Dim tblDatos As ListObject
    Dim tblCoord As ListObject
    Dim candidato As String
    Dim foundRow As ListRow
    Dim i As Long
    Dim rngMeses As Range
    Dim rngProduccion As Range
    Dim rngConsumo As Range
    Dim foundCoord As ListRow

    frmSeleccionRegistro.Show

    Set wsIngreso = ThisWorkbook.Sheets("Ingreso de Datos")
    Set wsBaseDatos = ThisWorkbook.Sheets("Base de Datos Ingreso")
    Set tblDatos = wsBaseDatos.ListObjects("TablaDatos")
    Set tblCoord = wsBaseDatos.ListObjects("TablaCoord")

    candidato = wsIngreso.Range("B16").Value

    For Each foundCoord In tblCoord.ListRows
        If foundCoord.Range.Cells(1, 1).Value = candidato Then
            wsIngreso.Range("C21").Value = foundCoord.Range.Cells(1, 2).Value
            wsIngreso.Range("G21").Value = foundCoord.Range.Cells(1, 3).Value
            Exit For
        End If
    Next foundCoord

    wsIngreso.Range("C27:C38").ClearContents
    wsIngreso.Range("D27:D38").ClearContents

    Set rngMeses = wsIngreso.Range("C27:C38")
    Set rngProduccion = wsIngreso.Range("C27:C38")
    Set rngConsumo = wsIngreso.Range("D27:D38")

```

Apéndice 6. Código en VBA para el botón Editar Registro. Parte 2.

```
Dim rowIndex As Long
rowIndex = 0

For Each foundRow In tblDatos.ListRows
    If foundRow.Range.Cells(1, 1).Value = candidato Then
        rowIndex = rowIndex + 1
        rngMeses.Cells(rowIndex).Value = foundRow.Range.Cells(1, 2).Value
        rngProduccion.Cells(rowIndex).Value = foundRow.Range.Cells(1, 3).Value
        rngConsumo.Cells(rowIndex).Value = foundRow.Range.Cells(1, 4).Value
    End If
Next foundRow

Call ListadoPresentaciónOrganizacionesCandidatas

End Sub
```

Apéndice 7. Código en VBA para el formulario de selección de registro para editar.

```

Private Sub cmbCandidatos_Change()

End Sub

Private Sub UserForm_Initialize()
    Dim wsBaseDatos As Worksheet
    Dim tblCoord As ListObject
    Dim row As ListRow

    Set wsBaseDatos = ThisWorkbook.Sheets("Base de Datos Ingreso")
    Set tblCoord = wsBaseDatos.ListObjects("TablaCoord")

    Me.cmbCandidatos.Clear
    For Each row In tblCoord.ListRows
        Me.cmbCandidatos.AddItem row.Range.Cells(1, 1).Value
    Next row
End Sub

Private Sub btnSeleccionar_Click()
    If Me.cmbCandidatos.Value = "" Then
        MsgBox "Seleccione una organización candidata.", vbExclamation
        Exit Sub
    End If

    ThisWorkbook.Sheets("Ingreso de Datos").Range("B16").Value = Me.cmbCandidatos.Value

    Me.Hide
End Sub

Private Sub btnCancelar_Click()
    With ThisWorkbook.Sheets("Ingreso de Datos")
        .Range("B16").ClearContents
        .Range("C21").ClearContents
        .Range("G21").ClearContents
        .Range("C27:C38").ClearContents
        .Range("D27:D38").ClearContents
    End With

    Me.Hide
End Sub

```

Apéndice 8. Código en VBA para el botón Guardar Edición. Parte 1.

```

Sub GuardarEdicion()
    Dim wsIngreso As Worksheet
    Dim wsBaseDatos As Worksheet
    Dim tblDatos As ListObject
    Dim tblCoord As ListObject
    Dim candidato As String
    Dim i As Long
    Dim meses() As String
    Dim latitud As Variant
    Dim longitud As Variant
    Dim rngProduccion As Range
    Dim rngConsumo As Range
    Set wsIngreso = ThisWorkbook.Sheets("Ingreso de Datos")
    Set wsBaseDatos = ThisWorkbook.Sheets("Base de Datos Ingreso")
    Set tblDatos = wsBaseDatos.ListObjects("TablaDatos")
    Set tblCoord = wsBaseDatos.ListObjects("TablaCoord")
    candidato = wsIngreso.Range("B16").Value
    latitud = wsIngreso.Range("C21").Value
    longitud = wsIngreso.Range("G21").Value

    If candidato = "" Then
        MsgBox "Complete el campo de nombre.", vbExclamation, "Error"
        Exit Sub
    End If
    If IsNumeric(latitud) = False Or IsNumeric(longitud) = False Then
        MsgBox "Latitud y longitud deben ser valores numéricos.", vbExclamation, "Error"
        Exit Sub
    End If
    If latitud = "" Or longitud = "" Then
        MsgBox "Complete los campos de latitud y longitud.", vbExclamation, "Error"
        Exit Sub
    End If
    Set rngProduccion = wsIngreso.Range("C27:C38")
    Set rngConsumo = wsIngreso.Range("D27:D38")
    For i = 1 To 12
        If rngProduccion.Cells(i).Value = "" Or rngConsumo.Cells(i).Value = "" Then
            MsgBox "Complete todos los valores de producción y consumo.", vbExclamation, "Error"
        End If
    Next i
End Sub

```

Apéndice 9. Código en VBA para el botón Guardar Edición. Parte 2.

```

Exit Sub
End If
Next i
For i = tblDatos.ListRows.Count To 1 Step -1
    If tblDatos.ListRows(i).Range.Cells(1, 1).Value = candidato Then
        tblDatos.ListRows(i).Delete
    End If
Next i
For i = tblCoord.ListRows.Count To 1 Step -1
    If tblCoord.ListRows(i).Range.Cells(1, 1).Value = candidato Then
        tblCoord.ListRows(i).Delete
    End If
Next i
With tblCoord.ListRows.Add
    .Range.Cells(1, 1).Value = candidato
    .Range.Cells(1, 2).Value = latitud
    .Range.Cells(1, 3).Value = longitud
End With
meses = Split("Enero Febrero Marzo Abril Mayo Junio Julio Agosto Septiembre Octubre Noviembre Diciembre")
For i = 1 To 12
    With tblDatos.ListRows.Add
        .Range.Cells(1, 1).Value = candidato
        .Range.Cells(1, 2).Value = meses(i - 1)
        .Range.Cells(1, 3).Value = rngProduccion.Cells(i).Value
        .Range.Cells(1, 4).Value = rngConsumo.Cells(i).Value
    End With
Next i
With wsIngreso
    .Range("B16").ClearContents
    .Range("C21").ClearContents
    .Range("G21").ClearContents
    .Range("C27:C38").ClearContents
    .Range("D27:D38").ClearContents
End With
MsgBox "Datos actualizados correctamente.", vbInformation
Call ListadoPresentaciónOrganizacionesCandidatas
End Sub

```

Apéndice 10. Código en VBA para el botón Eliminar Registro.

```

Sub MostrarFormularioEliminar()
    frmEliminarRegistro.Show
End Sub

```

Apéndice 11. Código en VBA para el formulario de selección de registro para eliminar.

```

Private Sub cmbCandidatos_Change()

End Sub

Private Sub UserForm_Initialize()
    Dim wsBaseDatos As Worksheet
    Dim tblCoord As ListObject
    Dim row As ListRow

    Set wsBaseDatos = ThisWorkbook.Sheets("Base de Datos Ingreso")
    Set tblCoord = wsBaseDatos.ListObjects("TablaCoord")

    Me.cmbCandidatos.Clear
    For Each row In tblCoord.ListRows
        Me.cmbCandidatos.AddItem row.Range.Cells(1, 1).Value
    Next row

End Sub

Private Sub btnEliminar_Click()
    Dim wsBaseDatos As Worksheet
    Dim tblDatos As ListObject
    Dim tblCoord As ListObject
    Dim candidato As String
    Dim i As Long

    Set wsBaseDatos = ThisWorkbook.Sheets("Base de Datos Ingreso")
    Set tblDatos = wsBaseDatos.ListObjects("TablaDatos")
    Set tblCoord = wsBaseDatos.ListObjects("TablaCoord")
    candidato = Me.cmbCandidatos.Value

    If candidato = "" Then
        MsgBox "Seleccione una organización candidata.", vbExclamation, "Error"
        Exit Sub
    End If

    For i = tblDatos.ListRows.Count To 1 Step -1
        If tblDatos.ListRows(i).Range.Cells(1, 1).Value = candidato Then
            tblDatos.ListRows(i).Delete
        End If
    Next i

    For i = tblCoord.ListRows.Count To 1 Step -1
        If tblCoord.ListRows(i).Range.Cells(1, 1).Value = candidato Then
            tblCoord.ListRows(i).Delete
        End If
    Next i

    Call ListadoPresentaciónOrganizacionesCandidatas
    MsgBox "Candidato eliminado correctamente.", vbInformation
    Me.Hide

End Sub

Private Sub btnCancelar_Click()

    Me.Hide

End Sub

```

Apéndice 12. Código en VBA para el botón Guardar Nuevo Registro.

```
Sub Botón1_GuardadoDatos()
    Call RegistroDatos
    Call ListadoPresentaciónOrganizacionesCandidatas
End Sub
```

Apéndice 13. Código en VBA para LimpiezaBaseDatos.

```
Sub LimpiezaBaseDatos()
    Dim wsIngreso As Worksheet
    Dim wsBaseDatos As Worksheet
    Dim wsCalculo As Worksheet
    Dim tblDatos As ListObject
    Dim tblCoord As ListObject
    Dim respuesta As VbMsgBoxResult

    Set wsIngreso = ThisWorkbook.Sheets("Ingreso de Datos")
    Set wsBaseDatos = ThisWorkbook.Sheets("Base de Datos Ingreso")
    Set wsCalculo = ThisWorkbook.Sheets("Cálculo Combinaciones")

    Set tblDatos = wsBaseDatos.ListObjects("TablaDatos")
    Set tblCoord = wsBaseDatos.ListObjects("TablaCoord")

    respuesta = MsgBox("¿Está seguro de que desea eliminar todos los datos almacenados? Esta acción no se puede deshacer.", vbYesNo + vbExclamation, "Confirmación")

    If respuesta = vbNo Then
        Exit Sub
    End If

    On Error Resume Next
    If Not tblDatos.DataBodyRange Is Nothing Then
        tblDatos.DataBodyRange.Rows.Delete
    End If

    If Not tblCoord.DataBodyRange Is Nothing Then
        tblCoord.DataBodyRange.Rows.Delete
    End If
    On Error GoTo 0

    wsIngreso.Range("J26:J39").ClearContents
    wsCalculo.Range("B1:B" & wsCalculo.Cells(wsCalculo.Rows.Count, 2).End(xlUp).Row).ClearContents

    Call CálculoCombinacionesCandidatos
    Call MatricesDistancia

    MsgBox "Todos los datos se han eliminado correctamente.", vbInformation, "Limpieza exitosa"
End Sub
```

Apéndice 14. Código en VBA para VisualizarCE.

```
Sub VisualizarCE()
    Dim wsIngresoDatos As Worksheet
    Dim rango As Range
    Dim contador As Long

    Set wsIngresoDatos = ThisWorkbook.Sheets("Ingreso de Datos")

    Set rango = wsIngresoDatos.Range("J26:J35")

    contador = Application.WorksheetFunction.CountA(rango)

    If contador >= 5 Then
        Call ListadoPresentaciónOrganizacionesCandidatas
        Call ListadoCálculoCombinaciones
        Call CálculoCombinacionesCandidatos
        Call MatricesDistancia

        ThisWorkbook.Sheets("Comunidades Energéticas").Activate
    Else
        MsgBox "No se cumple la cantidad mínima (5) de organizaciones candidatas para el análisis de las comunidades energéticas.", vbExclamation
    End If
End Sub
```


Apéndice 15. Código en VBA para CálculoCombinacionesCandidatos.

```

Sub CálculoCombinacionesCandidatos()
    Dim wsCalculo As Worksheet
    Dim wsComunidades As Worksheet
    Dim candidatos As Range
    Dim resultadoCalculo As Range
    Dim resultadoComunidades As Range
    Dim n As Integer
    Dim r As Integer
    Dim i As Long
    Dim comb() As String
    Dim rowNumCalculo As Long
    Dim rowNumComunidades As Long
    Dim lastRow As Long

    Set wsCalculo = ThisWorkbook.Sheets("Cálculo Combinaciones")
    Set wsComunidades = ThisWorkbook.Sheets("Comunidades Energéticas")

    lastRow = wsCalculo.Cells(wsCalculo.Rows.Count, 2).End(xlUp).Row
    Set candidatos = wsCalculo.Range("B1:B" & lastRow)

    n = Application.WorksheetFunction.CountA(candidatos)

    wsCalculo.Range("D1:Z1000").Clear
    wsComunidades.Range("B7:J99").Clear

    Set resultadoCalculo = wsCalculo.Range("E1")
    Set resultadoComunidades = wsComunidades.Range("B7")

    rowNumCalculo = 0
    rowNumComunidades = 0

    For r = 5 To n
        ReDim comb(1 To r)
        Call CombinacionesRecurSivasDual(candidatos, comb, resultadoCalculo, rowNumCalculo, _
                                         resultadoComunidades, rowNumComunidades, 1, n, r)
    Next r
End Sub

```

Apéndice 16. Código en VBA para CombinacionesRecursivasDual.

```

Sub CombinacionesRecursivasDual(candidatos As Range, comb() As String, _
                                resultadoCalculo As Range, ByRef rowNumCalculo As Long, _
                                resultadoComunidades As Range, ByRef rowNumComunidades As Long, _
                                ByVal start As Integer, ByVal n As Integer, ByVal r As Integer)

    Dim i As Integer
    Dim j As Integer

    If r = 0 Then
        resultadoComunidades.Offset(rowNumComunidades, 0).Value = "CE " & (rowNumComunidades + 1)
        For i = 1 To UBound(comb)
            resultadoComunidades.Offset(rowNumComunidades, i).Value = comb(i)
        Next i
        rowNumComunidades = rowNumComunidades + 1

        resultadoCalculo.Offset(rowNumCalculo, -1).Value = "CE " & (rowNumCalculo + 1)
        For i = 1 To UBound(comb)
            resultadoCalculo.Offset(rowNumCalculo, i - 1).Value = comb(i)
        Next i
        rowNumCalculo = rowNumCalculo + 1
    Else
        For j = start To n
            If candidatos.Cells(j, 1).Value <> "" Then
                comb(UBound(comb) - r + 1) = candidatos.Cells(j, 1).Value
                CombinacionesRecursivasDual candidatos, comb, resultadoCalculo, rowNumCalculo, _
                    resultadoComunidades, rowNumComunidades, j + 1, n, r - 1
            End If
        Next j
    End If
End Sub

```

Apéndice 17. Código en VBA para MatricesDistancia. Parte 1.

```

Sub MatricesDistancia()
    Dim hojaDistancias As Worksheet
    Dim hojaDatos As Worksheet
    Dim tablaCandidatos As ListObject
    Dim comunidadesRango As Range
    Dim candidatos As Range
    Dim comunidad As Range
    Dim filaInicio As Long
    Dim columnaInicio As Long
    Dim lat1 As Double, lon1 As Double
    Dim lat2 As Double, lon2 As Double
    Dim i As Integer, j As Integer
    Dim distancia As Double
    Dim tieneDistanciaMayor2000 As Boolean
    Dim filaListaSinRojo As Long
    Dim filaListaComunidadesEnergéticas As Long
    Const RadioTierra As Double = 6371

    Set hojaDatos = ThisWorkbook.Sheets("Base de Datos Ingreso")
    Set hojaDistancias = ThisWorkbook.Sheets("Cálculo Distancias")
    Set hojaComunidades = ThisWorkbook.Sheets("Comunidades Energéticas")

    hojaDistancias.Cells.Clear
    hojaComunidades.Range("N8:N50").Clear

    hojaComunidades.Range("N8:N50").Interior.Color = RGB(218, 233, 248)

    Set tablaCandidatos = hojaDatos.ListObjects("TablaCoord")
    Set comunidadesRango = ThisWorkbook.Sheets("Cálculo Combinaciones").Range("D1:D" & ThisWorkbook.Sheets("Cálculo Combinaciones").Cells(ThisWorkbook.Sheets("Cálculo Combinaciones").Cells.Count - 1, 1).Row)

    filaInicio = 1
    filaListaSinRojo = filaInicio
    filaListaComunidadesEnergéticas = 8

    For Each comunidad In comunidadesRango
        If comunidad.Value <> "" Then
            tieneDistanciaMayor2000 = False
        End If
    Next comunidad

```

Apéndice 18. Código en VBA para MatricesDistancia. Parte 2.

```

hojaDistancias.Cells(filaInicio, 1).Value = comunidad.Value
Set candidatos = comunidad.Offset(0, 1).Resize(1, Application.CountA(comunidad.Offset(0, 1).Resize(1, 100)))

For i = 1 To candidatos.Cells.Count
    hojaDistancias.Cells(filaInicio + i, 2).Value = candidatos.Cells(i).Value
    hojaDistancias.Cells(filaInicio, 2 + i).Value = candidatos.Cells(i).Value
Next i

For i = 1 To candidatos.Cells.Count
    For j = 1 To candidatos.Cells.Count
        If i = j Then
            distancia = 0
        Else
            lat1 = Application.VLookup(candidatos.Cells(i).Value, tablaCandidatos.DataBodyRange, 2, False)
            lon1 = Application.VLookup(candidatos.Cells(i).Value, tablaCandidatos.DataBodyRange, 3, False)
            lat2 = Application.VLookup(candidatos.Cells(j).Value, tablaCandidatos.DataBodyRange, 2, False)
            lon2 = Application.VLookup(candidatos.Cells(j).Value, tablaCandidatos.DataBodyRange, 3, False)

            distancia = CalcularDistancia(lat1, lon1, lat2, lon2, RadioTierra)
        End If
        hojaDistancias.Cells(filaInicio + i, 2 + j).Value = distancia

        If distancia > 2000 Then
            tieneDistanciaMayor2000 = True
        End If
    Next j
Next i

If tieneDistanciaMayor2000 Then
    hojaDistancias.Cells(filaInicio, 1).Interior.Color = RGB(255, 0, 0)
Else
    hojaDistancias.Cells(filaListaSinRojo, 13).Value = comunidad.Value
    filaListaSinRojo = filaListaSinRojo + 1

    hojaComunidades.Cells(filaListaComunidadesEnergéticas, 14).Value = comunidad.Value
    hojaComunidades.Cells(filaListaComunidadesEnergéticas, 14).Interior.Color = RGB(218, 233, 248)
    filaListaComunidadesEnergéticas = filaListaComunidadesEnergéticas + 1

```

Apéndice 19. Código en VBA para MatricesDistancia. Parte 3.

```

        End If

        filaInicio = filaInicio + candidatos.Cells.Count + 3
    End If
Next comunidad
End Sub

Function CalcularDistancia(lat1 As Double, lon1 As Double, lat2 As Double, lon2 As Double, RadioTierra As Double) As Double
    Dim DiferenciaLatitud As Double
    Dim DiferenciaLongitud As Double
    Dim a As Double

    DiferenciaLatitud = (lat2 - lat1) * WorksheetFunction.Pi / 180
    DiferenciaLongitud = (lon2 - lon1) * WorksheetFunction.Pi / 180

    lat1 = lat1 * WorksheetFunction.Pi / 180
    lat2 = lat2 * WorksheetFunction.Pi / 180

    a = Sin(DiferenciaLatitud / 2) ^ 2 + Cos(lat1) * Cos(lat2) * Sin(DiferenciaLongitud / 2) ^ 2
    CalcularDistancia = RadioTierra * 2 * WorksheetFunction.Asin(Sqr(a)) * 1000
End Function

```

Apéndice 20. Código en VBA para Botón2_VolverIngresoDatos.

```
Sub Botón2_VolverIngresoDatos()

    Dim ws As Worksheet
    On Error Resume Next
    Set ws = ThisWorkbook.Sheets("Ingreso de Datos")
    On Error GoTo 0

    If ws Is Nothing Then
        MsgBox "La hoja 'Ingreso de Datos' no existe.", vbExclamation
    Else
        ws.Activate
    End If

End Sub
```

Apéndice 21. Código en VBA para DatosComunidadesACC. Parte 1.

```
Sub DatosComunidadesACC()
    Dim wsDatos As Worksheet, wsCalculoCombinaciones As Worksheet, wsACC As Worksheet, wsDistancias As Worksheet
    Dim tablaDatos As ListObject
    Dim comunidad As String, mes As Variant
    Dim celdaCE As Range, celdaCandidato As Range, celdaLista As Range
    Dim filaACC As Long
    Dim produccionTotal As Double, consumoTotal As Double
    Dim rangoCandidatos As Range

    Set wsDatos = ThisWorkbook.Sheets("Base de Datos Ingreso")
    Set wsCalculoCombinaciones = ThisWorkbook.Sheets("Cálculo Combinaciones")
    Set wsACC = ThisWorkbook.Sheets("Datos ACC")
    Set wsDistancias = ThisWorkbook.Sheets("Cálculo Distancias")

    Set tablaDatos = wsDatos.ListObjects("TablaDatos")

    If Application.WorksheetFunction.CountA(wsDistancias.Range("M:M")) = 0 Then
        Exit Sub
    End If

    wsACC.Range("A2:D" & wsACC.Cells(wsACC.Rows.Count, "A").End(xlUp).Row).ClearContents

    filaACC = 2

    For Each celdaLista In wsDistancias.Range("M1", wsDistancias.Cells(wsDistancias.Rows.Count, "M").End(xlUp))
        comunidad = celdaLista.Value

        Set celdaCE = wsCalculoCombinaciones.Range("D:D").Find(what:=comunidad, LookIn:=xlValues, lookat:=xlWhole)

        If Not celdaCE Is Nothing Then
            Set rangoCandidatos = wsCalculoCombinaciones.Range(celdaCE.Offset(0, 1), wsCalculoCombinaciones.Cells(celdaCE.Row, wsCalculoCombinaciones.Columns.Count))

            For Each mes In Array("Enero", "Febrero", "Marzo", "Abril", "Mayo", "Junio", "Julio", "Agosto", "Septiembre", "Octubre", "Noviembre", "Diciembre")

                produccionTotal = 0

                consumoTotal = 0

                For Each celdaCandidato In rangoCandidatos
                    If celdaCandidato.Value <> "" Then
                        produccionTotal = produccionTotal + WorksheetFunction.SumIfs(tablaDatos.ListColumns("Producción (kWh)").DataBodyRange, _
                            tablaDatos.ListColumns("Organización Candidata").DataBodyRange, celdaCandidato.Value, _
                            tablaDatos.ListColumns("Mes").DataBodyRange, mes)

                        consumoTotal = consumoTotal + WorksheetFunction.SumIfs(tablaDatos.ListColumns("Consumo (kWh)").DataBodyRange, _
                            tablaDatos.ListColumns("Organización Candidata").DataBodyRange, celdaCandidato.Value, _
                            tablaDatos.ListColumns("Mes").DataBodyRange, mes)

                    End If
                Next celdaCandidato

                wsACC.Cells(filaACC, 1).Value = comunidad
                wsACC.Cells(filaACC, 2).Value = mes
                wsACC.Cells(filaACC, 3).Value = produccionTotal
                wsACC.Cells(filaACC, 4).Value = consumoTotal

                filaACC = filaACC + 1
            Next mes
        End If
    Next celdaLista
End Sub
```

Apéndice 22. Código en VBA para DatosComunidadesACC. Parte 2.

```
produccionTotal = 0
consumoTotal = 0

For Each celdaCandidato In rangoCandidatos
    If celdaCandidato.Value <> "" Then
        produccionTotal = produccionTotal + WorksheetFunction.SumIfs(tablaDatos.ListColumns("Producción (kWh)").DataBodyRange, _
            tablaDatos.ListColumns("Organización Candidata").DataBodyRange, celdaCandidato.Value, _
            tablaDatos.ListColumns("Mes").DataBodyRange, mes)

        consumoTotal = consumoTotal + WorksheetFunction.SumIfs(tablaDatos.ListColumns("Consumo (kWh)").DataBodyRange, _
            tablaDatos.ListColumns("Organización Candidata").DataBodyRange, celdaCandidato.Value, _
            tablaDatos.ListColumns("Mes").DataBodyRange, mes)

    End If
Next celdaCandidato

wsACC.Cells(filaACC, 1).Value = comunidad
wsACC.Cells(filaACC, 2).Value = mes
wsACC.Cells(filaACC, 3).Value = produccionTotal
wsACC.Cells(filaACC, 4).Value = consumoTotal

filaACC = filaACC + 1
Next mes
End If
Next celdaLista
End Sub
```

Apéndice 23. Código en VBA para TablaResumenACC. Parte 1.

```

Sub TablaResumenACC()
    Dim wsACC As Worksheet, wsMetricas As Worksheet
    Dim ultimaFila As Long
    Dim comunidadActual As Variant
    Dim dictProduccion As Object, dictConsumo As Object
    Dim celda As Range
    Dim filaResumen As Long
    Dim filaMetricas As Long

    Set dictProduccion = CreateObject("Scripting.Dictionary")
    Set dictConsumo = CreateObject("Scripting.Dictionary")

    Set wsACC = ThisWorkbook.Sheets("Datos ACC")
    Set wsMetricas = ThisWorkbook.Sheets("Métricas")

    ultimaFila = wsACC.Cells(wsACC.Rows.Count, 1).End(xlUp).Row

    wsACC.Range("F:J").ClearContents
    wsMetricas.Range("B9:B1951").ClearContents
    wsMetricas.Range("B9:B1951").Interior.Color = RGB(218, 233, 248)

    wsACC.Cells(1, 6).Value = "Comunidad Energética"
    wsACC.Cells(1, 7).Value = "Total Producción"
    wsACC.Cells(1, 8).Value = "Total Consumo"
    wsACC.Cells(1, 9).Value = "ACC"
    wsACC.Cells(1, 10).Value = "¿Autosuficiente?"

    For Each celda In wsACC.Range("A2:A" & ultimaFila)
        comunidadActual = celda.Value

        If Not dictProduccion.exists(comunidadActual) Then
            dictProduccion(comunidadActual) = 0
            dictConsumo(comunidadActual) = 0
        End If

        dictProduccion(comunidadActual) = dictProduccion(comunidadActual) + wsACC.Cells(celda.Row, 3).Value
        dictConsumo(comunidadActual) = dictConsumo(comunidadActual) + wsACC.Cells(celda.Row, 4).Value
    
```

Apéndice 24. Código en VBA para TablaResumenACC. Parte 2.

```

For Each comunidadActual In dictProduccion.Keys
    Dim produccion As Double, consumo As Double, acc As Double, cnc As Double

    produccion = dictProduccion(comunidadActual)
    consumo = dictConsumo(comunidadActual)
    acc = Application.WorksheetFunction.Min(produccion, consumo)
    cnc = produccion - consumo

    wsACC.Cells(filaResumen, 6).Value = comunidadActual
    wsACC.Cells(filaResumen, 7).Value = produccion
    wsACC.Cells(filaResumen, 8).Value = consumo
    wsACC.Cells(filaResumen, 9).Value = acc
    wsACC.Cells(filaResumen, 10).Value = IIf(consumo = acc, "Sí", "No")

    If consumo = acc Then
        With wsMetricas.Cells(filaMetricas, 2)
            .Value = comunidadActual
            .Interior.Color = RGB(255, 255, 255)
            .HorizontalAlignment = xlCenter
        End With
        filaMetricas = filaMetricas + 1
    End If

    filaResumen = filaResumen + 1
Next comunidadActual

With wsACC.Sort
    .SortFields.Clear
    .SortFields.Add Key:=wsACC.Range("K2:K" & filaResumen - 1), _
        SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlDescending, DataOption:=xlSortNormal
    .SetRange wsACC.Range("F1:K" & filaResumen - 1)
    .Header = xlYes
    .Apply
End With
End Sub

```

Apéndice 25. Código en VBA para CalcularCNC_Comunidades_Seleccionadas_Completo.
Parte 1.

```
Sub CalcularCNC_Comunidades_Seleccionadas_Completo()
    Dim wsDatos As Worksheet
    Dim wsCalculoCombinaciones As Worksheet
    Dim wsDistancias As Worksheet
    Dim wsCNC As Worksheet
    Dim wsMetricas As Worksheet
    Dim tablaDatos As ListObject
    Dim tablaCNC As ListObject
    Dim comunidad As Range
    Dim celdaCandidato As Range
    Dim mes As String
    Dim produccionTotal As Double
    Dim rowCNC As ListRow
    Dim i As Integer
    Dim comunidadNombre As String
    Dim comunidadRango As Range
    Dim miembrosInicio As Range
    Dim resumenInicio As Range
    Dim totalCNC As Double
    Dim cantidadDeficit As Double
    Dim cantidadSuperavit As Double
    Dim costoDeficit As Double
    Dim gananciaSuperavit As Double
    Dim totalNeto As Double
    Dim valorW2 As Double
    Dim valorX2 As Double
    Dim rangoLimpiar As Range

    Set wsDatos = ThisWorkbook.Worksheets("Base de Datos Ingreso")
    Set wsCalculoCombinaciones = ThisWorkbook.Worksheets("Cálculo Combinaciones")
    Set wsDistancias = ThisWorkbook.Worksheets("Cálculo Distancias")
    Set wsCNC = ThisWorkbook.Worksheets("Datos CNC")
    Set wsMetricas = ThisWorkbook.Worksheets("Métricas")

    Set tablaDatos = wsDatos.ListObjects("TablaDatos")

    valorW2 = wsCNC.Range("W2").Value
```

Apéndice 26. Código en VBA para CalcularCNC_Comunidades_Seleccionadas_Completo. Parte 2.

```

valorX2 = wsCNC.Range("X2").Value

With wsCNC
    .Range("E:K").ClearContents
    .Range("E1").Value = "Comunidad"
    .Range("F1").Value = "Total CNC"
    .Range("G1").Value = "Déficit en kWh"
    .Range("H1").Value = "Déficit en $"
    .Range("I1").Value = "Superávit en kWh"
    .Range("J1").Value = "Superávit en $"
    .Range("K1").Value = "Total Neto"
End With

Set rangoLimpiar = wsMetricas.Range("G8:M" & wsMetricas.Rows.Count)
With rangoLimpiar
    .ClearContents
    .Interior.Color = RGB(218, 233, 248)
End With

On Error Resume Next
Set tablaCNC = wsCNC.ListObjects("TablaCNC")
If Not tablaCNC Is Nothing Then
    tablaCNC.DataBodyRange.Delete
Else
    Set tablaCNC = wsCNC.ListObjects.Add(xlSrcRange, wsCNC.Range("A1:C1"), , xlYes)
    tablaCNC.Name = "TablaCNC"
    tablaCNC.HeaderRowRange(1).Value = "Meses"
    tablaCNC.HeaderRowRange(2).Value = "Comunidad Energética"
    tablaCNC.HeaderRowRange(3).Value = "CNC"
End If
On Error GoTo 0

Set resumenInicio = wsCNC.Range("E2")

For Each comunidad In wsDistancias.Range("M1", wsDistancias.Cells(wsDistancias.Rows.Count, "M").End(xlUp))
    If comunidad.Value <> "" Then
        comunidadNombre = comunidad.Value
    
```


Apéndice 27. Código en VBA para CalcularCNC_Comunidades_Seleccionadas_Completo. Parte 3.

```

Set comunidadRango = wsCalculoCombinaciones.Range("D:D").Find(comunidadNombre, LookIn:=xlValues, lookat:=xlWhole)
If Not comunidadRango Is Nothing Then
    Set miembrosInicio = comunidadRango.Offset(0, 1)

    For i = 1 To 12
        mes = Choose(i, "Enero", "Febrero", "Marzo", "Abril", "Mayo", "Junio", _
            "Julio", "Agosto", "Septiembre", "Octubre", "Noviembre", "Diciembre")

        produccionTotal = 0

        For Each celdaCandidato In wsCalculoCombinaciones.Range(miembrosInicio, miembrosInicio.End(xlToRight))
            If celdaCandidato.Value <> "" Then
                produccionTotal = produccionTotal + WorksheetFunction.SumIfs(tablaDatos.ListColumns("CNC").DataBodyRange,
                    tablaDatos.ListColumns("Organización Candidato").DataBodyRange, _
                    tablaDatos.ListColumns("Mes").DataBodyRange, _
                    celdaCandidato.Value)
            End If
        Next celdaCandidato

        Set rowCNC = tablaCNC.ListRows.Add
        rowCNC.Range(1).Value = mes
        rowCNC.Range(2).Value = comunidadNombre
        rowCNC.Range(3).Value = produccionTotal
    Next i
End If

totalCNC = Application.WorksheetFunction.SumIf(tablaCNC.ListColumns("Comunidad Energética").DataBodyRange, comunidadNombre)
cantidadDeficit = Abs(Application.WorksheetFunction.SumIfs(tablaCNC.ListColumns("CNC").DataBodyRange, _
    tablaCNC.ListColumns("Comunidad Energética").DataBodyRange, _
    tablaCNC.ListColumns("CNC").DataBodyRange, "<0"))

costoDeficit = cantidadDeficit * valorW2
cantidadSuperavit = Application.WorksheetFunction.SumIfs(tablaCNC.ListColumns("CNC").DataBodyRange, _
    tablaCNC.ListColumns("Comunidad Energética").DataBodyRange, _
    tablaCNC.ListColumns("CNC").DataBodyRange, ">0")

gananciaSuperavit = cantidadSuperavit * valorX2
totalNeto = gananciaSuperavit - costoDeficit

resumenInicio.Value = comunidadNombre

```

Apéndice 28. Código en VBA para CalcularCNC_Comunidades_Seleccionadas_Completo.

Parte 4.

```

        resumenInicio.Offset(0, 1).Value = totalCNC
        resumenInicio.Offset(0, 2).Value = cantidadDeficit
        resumenInicio.Offset(0, 3).Value = costoDeficit
        resumenInicio.Offset(0, 3).NumberFormat = "$#,##0.00"
        resumenInicio.Offset(0, 4).Value = cantidadSuperavit
        resumenInicio.Offset(0, 5).Value = gananciaSuperavit
        resumenInicio.Offset(0, 5).NumberFormat = "$#,##0.00"
        resumenInicio.Offset(0, 6).Value = totalNeto
        resumenInicio.Offset(0, 6).NumberFormat = "$#,##0.00"

        Set resumenInicio = resumenInicio.Offset(1, 0)
    End If
Next comunidad

With wsCNC.Sort
    .SortFields.Clear
    .SortFields.Add Key:=wsCNC.Range("K2:K" & wsCNC.Cells(wsCNC.Rows.Count, "E").End(xlUp).Row), _
        SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlDescending, DataOption:=xlSortNormal
    .SetRange wsCNC.Range("E1:K" & wsCNC.Cells(wsCNC.Rows.Count, "E").End(xlUp).Row)
    .Header = xlYes
    .Apply
End With

wsCNC.Range("E1:K" & wsCNC.Cells(wsCNC.Rows.Count, "E").End(xlUp).Row).Copy
wsMetricas.Range("G8").PasteSpecial Paste:=xlPasteValuesAndNumberFormats
wsMetricas.Range("G8").PasteSpecial Paste:=xlPasteFormats

Application.CutCopyMode = False
End Sub

```

Apéndice 29. Código en VBA para GenerarGraficosFinalesCNC. Parte 1.

```

Sub GenerarGraficosFinalesCNC()
    Dim wsCNC As Worksheet
    Dim wsMetricas As Worksheet
    Dim tablaCNC As ListObject
    Dim chartObj As ChartObject
    Dim lastChartTop As Double
    Dim graficoColumnaInicio As Double
    Dim anchoGrafico As Double, alturaGrafico As Double
    Dim separacionFilas As Double
    Dim columnasAncho As Double, filasAlto As Double
    Dim comunidadNombre As String
    Dim datosComunidad As Range
    Dim celdaComunidad As Range
    Dim ultimaFilaResumen As Long
    Dim serie As Series

    Set wsCNC = ThisWorkbook.Worksheets("Datos CNC")
    Set wsMetricas = ThisWorkbook.Worksheets("Métricas")
    Set tablaCNC = wsCNC.ListObjects("TablaCNC")

    If tablaCNC Is Nothing Then
        MsgBox "La tabla 'TablaCNC' no existe.", vbExclamation
        Exit Sub
    End If

    If tablaCNC.DataBodyRange Is Nothing Then
        MsgBox "La tabla 'TablaCNC' no contiene datos.", vbExclamation
        Exit Sub
    End If

    For Each chartObj In wsMetricas.ChartObjects
        chartObj.Delete
    Next chartObj

    ultimaFilaResumen = wsMetricas.Cells(wsMetricas.Rows.Count, "G").End(xlUp).Row
    lastChartTop = wsMetricas.Cells(ultimaFilaResumen + 3, "G").Top
    graficoColumnaInicio = wsMetricas.Columns("G").Left

```

Apéndice 30. Código en VBA para GenerarGraficosFinalesCNC. Parte 2.

```

columnasAncho = 10
filasAlto = 20
separacionFilas = 3 * wsMetricas.Rows(1).Height

anchoGrafico = wsMetricas.Columns("G").Width * columnasAncho
alturaGrafico = wsMetricas.Rows(1).Height * filasAlto

For Each celdaComunidad In wsCNC.Range("E2", wsCNC.Cells(wsCNC.Rows.Count, "E").End(xlUp))
    If celdaComunidad.Value <> "" Then
        comunidadNombre = celdaComunidad.Value

        wsCNC.ListObjects("TablaCNC").Range.AutoFilter Field:=2, Criterial:=comunidadNombre

        On Error Resume Next
        Set datosComunidad = tablaCNC.DataBodyRange.SpecialCells(xlCellTypeVisible)
        On Error GoTo 0

        If Not datosComunidad Is Nothing Then
            Set chartObj = wsMetricas.ChartObjects.Add(Left:=graficoColumnaInicio, _
                                                        Top:=lastChartTop, _
                                                        Width:=anchoGrafico, _
                                                        Height:=alturaGrafico)

            With chartObj.Chart
                .ChartType = xlColumnClustered
                .SetSourceData Source:=datosComunidad
                .HasTitle = True
                .ChartTitle.Text = "CNC de " & comunidadNombre

                .Axes(xlCategory).HasTitle = False
                .Axes(xlCategory).TickLabels.NumberFormat = "MMM"
                .Axes(xlCategory).TickLabels.Font.Size = 10

                .Axes(xlValue).HasTitle = True
                .Axes(xlValue).AxisTitle.Text = "CNC"

                .HasLegend = False
            End With
        End If
    End If
Next

```

Apéndice 31. Código en VBA para GenerarGraficosFinalesCNC. Parte 3.

```

        For Each serie In .SeriesCollection
            Dim i As Long
            For i = 1 To serie.Points.Count
                If serie.Values(i) < 0 Then
                    serie.Points(i).Format.Fill.ForeColor.RGB = RGB(192, 0, 0)
                Else
                    serie.Points(i).Format.Fill.ForeColor.RGB = RGB(33, 95, 154)
                End If
            Next i
        Next serie
    End With

    lastChartTop = lastChartTop + alturaGrafico + separacionFilas
End If
End If
Next celdaComunidad

wsCNC.ListObjects("TablaCNC").Range.AutoFilter Field:=2

End Sub

```

Apéndice 32. Código en VBA para GenerarGraficoResumenFinal. Parte 1.

```

Sub GenerarGraficoResumenFinal()
    Dim wsMetricas As Worksheet
    Dim wsResumen As Worksheet
    Dim ultimaFila As Long
    Dim comunidades() As String
    Dim valores() As Double
    Dim i As Long, j As Long
    Dim chartObject As chartObject

    Set wsMetricas = ThisWorkbook.Sheets("Métricas")
    Set wsResumen = ThisWorkbook.Sheets("Resumen")

    ultimaFila = wsMetricas.Cells(wsMetricas.Rows.Count, 7).End(xlUp).Row

    j = 0
    For i = 9 To ultimaFila
        If wsMetricas.Cells(i, 13).Value > 0 Then
            j = j + 1
        End If
    Next i

    If j = 0 Then
        For Each chartObject In wsResumen.ChartObjects
            chartObject.Delete
        Next chartObject

        MsgBox "No se encontraron Comunidades Energéticas con balance positivo.", vbExclamation, "Sin Balance Positivo"
        Exit Sub
    End If

    ReDim comunidades(1 To j)
    ReDim valores(1 To j)

    j = 1
    For i = 9 To ultimaFila
        If wsMetricas.Cells(i, 13).Value > 0 Then
            comunidades(j) = wsMetricas.Cells(i, 7).Value

```

Apéndice 33. Código en VBA para GenerarGraficoResumenFinal. Parte 2.

```

        comunidades(j) = wsMetricas.Cells(i, 7).Value
        valores(j) = wsMetricas.Cells(i, 13).Value
        j = j + 1
    End If
Next i

For Each chartObject In wsResumen.ChartObjects
    chartObject.Delete
Next chartObject

Set chartObject = wsResumen.ChartObjects.Add(Left:=wsResumen.Range("E7").Left, _
                                              Top:=wsResumen.Range("E7").Top, _
                                              Width:=wsResumen.Range("E7:N7").Width, _
                                              Height:=300)

With chartObject.Chart
    .ChartType = xlColumnClustered

    .SeriesCollection.NewSeries
    .SeriesCollection(1).Values = valores
    .SeriesCollection(1).XValues = comunidades

    .HasTitle = True
    .ChartTitle.Text = "Comunidades con Balance Positivo"
    .HasLegend = False

    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Text = "Comunidades Energéticas"
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Text = "Total Neto (€)"
    .Axes(xlValue).MinimumScale = 0
    .Axes(xlValue).TickLabels.NumberFormat = "€#,##0"
End With
End Sub

```

Apéndice 34. Módulo 15 del botón Analizar Comunidades Energéticas.

```

Sub Botón3_CalcularMétricas()

    On Error GoTo ManejoErrores

    Call DatosComunidadesACC
    Call TablaResumenACC
    Call CalcularCNC_Comunidades_Seleccionadas_Completo
    Call GenerarGraficosFinalesCNC

    Dim wsMetricas As Worksheet
    Set wsMetricas = ThisWorkbook.Sheets("Métricas")
    wsMetricas.Activate

    Exit Sub

ManejoErrores:
    MsgBox "Se produjo un error: " & Err.Description, vbCritical
End Sub

```

Apéndice 35. Módulo 16 del botón Volver a hoja Comunidades Energéticas.

```
Sub Botón4_VolverComunidadesEnergéticas()

    Dim ws As Worksheet
    On Error Resume Next
    Set ws = ThisWorkbook.Sheets("Comunidades Energéticas")
    On Error GoTo 0

    If ws Is Nothing Then
        MsgBox "La hoja 'Comunidades Energéticas' no existe.", vbExclamation
    Else
        ws.Activate
    End If

End Sub
```

Apéndice 36. Módulo 18 del botón Volver a hoja Métricas.

```
Sub Botón5_VolverMétricas()

    Dim ws As Worksheet
    On Error Resume Next
    Set ws = ThisWorkbook.Sheets("Métricas")
    On Error GoTo 0

    If ws Is Nothing Then
        MsgBox "La hoja 'Métricas' no existe.", vbExclamation
    Else
        ws.Activate
    End If

End Sub
```

Apéndice 37. Módulo 19 del botón Ir a Resumen.

```
Sub Botón6_CalcularResumenFinal()

    On Error GoTo ManejoErrores

    Call GenerarGraficoResumenFinal

    Dim wsResumen As Worksheet
    Set wsResumen = ThisWorkbook.Sheets("Resumen")
    wsResumen.Activate

    Exit Sub

ManejoErrores:
    MsgBox "Se produjo un error: " & Err.Description, vbCritical
End Sub
```

Apéndice 38. Producción y consumo mensual de edificios públicos de Mérida registrados en 2023.

Organización Candidata	Mes	Producción (kWh)	Consumo (kWh)
Asamblea de Extremadura	Enero	3607	6332
Asamblea de Extremadura	Febrero	4001	4903
Asamblea de Extremadura	Marzo	4771	4585
Asamblea de Extremadura	Abril	5019	4060
Asamblea de Extremadura	Mayo	5452	4184
Asamblea de Extremadura	Junio	5408	6165
Asamblea de Extremadura	Julio	5897	5246
Asamblea de Extremadura	Agosto	5808	4425
Asamblea de Extremadura	Septiembre	5164	4286
Asamblea de Extremadura	Octubre	4438	4220
Asamblea de Extremadura	Noviembre	3614	4244
Asamblea de Extremadura	Diciembre	3351	5350
Centro Educación Infantil Los Gurumelos	Enero	2058	4656
Centro Educación Infantil Los Gurumelos	Febrero	2297	4267
Centro Educación Infantil Los Gurumelos	Marzo	2775	3109
Centro Educación Infantil Los Gurumelos	Abril	2946	1267
Centro Educación Infantil Los Gurumelos	Mayo	3253	1682
Centro Educación Infantil Los Gurumelos	Junio	3271	2635
Centro Educación Infantil Los Gurumelos	Julio	3604	2754
Centro Educación Infantil Los Gurumelos	Agosto	3548	708
Centro Educación Infantil Los Gurumelos	Septiembre	3136	1779
Centro Educación Infantil Los Gurumelos	Octubre	2643	2116
Centro Educación Infantil Los Gurumelos	Noviembre	2086	2954
Centro Educación Infantil Los Gurumelos	Diciembre	1908	2942
Centro de Profesores Mérida	Enero	2489	2452
Centro de Profesores Mérida	Febrero	2784	2314
Centro de Profesores Mérida	Marzo	3328	2040
Centro de Profesores Mérida	Abril	3543	1541

Centro de Profesores Mérida	Mayo	3874	1612
Centro de Profesores Mérida	Junio	3859	1652
Centro de Profesores Mérida	Julio	4225	1250
Centro de Profesores Mérida	Agosto	4156	1106
Centro de Profesores Mérida	Septiembre	3657	1457
Centro de Profesores Mérida	Octubre	3110	2009
Centro de Profesores Mérida	Noviembre	2507	2278
Centro de Profesores Mérida	Diciembre	2313	1693
Fomento Extremeño de Infrae. Industriales	Enero	5816	10054
Fomento Extremeño de Infrae. Industriales	Febrero	6394	9311
Fomento Extremeño de Infrae. Industriales	Marzo	7844	8121
Fomento Extremeño de Infrae. Industriales	Abril	7830	5651
Fomento Extremeño de Infrae. Industriales	Mayo	8587	6304
Fomento Extremeño de Infrae. Industriales	Junio	8291	6593
Fomento Extremeño de Infrae. Industriales	Julio	9072	6752
Fomento Extremeño de Infrae. Industriales	Agosto	9041	7136
Fomento Extremeño de Infrae. Industriales	Septiembre	7962	3901
Fomento Extremeño de Infrae. Industriales	Octubre	7134	5664
Fomento Extremeño de Infrae. Industriales	Noviembre	5675	5847
Fomento Extremeño de Infrae. Industriales	Diciembre	5370	7954
GPEX S.A.	Enero	9514	16692
GPEX S.A.	Febrero	10535	13830
GPEX S.A.	Marzo	13068	12358
GPEX S.A.	Abril	13145	11314
GPEX S.A.	Mayo	14659	11750
GPEX S.A.	Junio	14344	18236
GPEX S.A.	Julio	15872	19117
GPEX S.A.	Agosto	15805	21340

GPEX S.A.	Septiembre	13817	13875
GPEX S.A.	Octubre	12172	14588
GPEX S.A.	Noviembre	9426	14539
GPEX S.A.	Diciembre	8756	15467
Instituto Santa Eulalia	Enero	3983	16064
Instituto Santa Eulalia	Febrero	4454	16788
Instituto Santa Eulalia	Marzo	5325	12005
Instituto Santa Eulalia	Abril	5670	6250
Instituto Santa Eulalia	Mayo	6198	7859
Instituto Santa Eulalia	Junio	6175	7391
Instituto Santa Eulalia	Julio	6761	3867
Instituto Santa Eulalia	Agosto	6650	2688
Instituto Santa Eulalia	Septiembre	5852	6692
Instituto Santa Eulalia	Octubre	4976	9407
Instituto Santa Eulalia	Noviembre	4011	14448
Instituto Santa Eulalia	Diciembre	3702	11719
Instituto Albarregas	Enero	5151	10665
Instituto Albarregas	Febrero	5717	8678
Instituto Albarregas	Marzo	6817	8742
Instituto Albarregas	Abril	7170	6167
Instituto Albarregas	Mayo	7789	7782
Instituto Albarregas	Junio	7727	6423
Instituto Albarregas	Julio	8425	3655
Instituto Albarregas	Agosto	8297	3009
Instituto Albarregas	Septiembre	7378	6870
Instituto Albarregas	Octubre	6342	9941
Instituto Albarregas	Noviembre	5164	10594
Instituto Albarregas	Diciembre	4789	7692
Instituto Emérita Augusta	Enero	5099	12968
Instituto Emérita Augusta	Febrero	5679	11908
Instituto Emérita Augusta	Marzo	6957	11050
Instituto Emérita Augusta	Abril	7034	6229
Instituto Emérita Augusta	Mayo	7766	8606
Instituto Emérita Augusta	Junio	7533	6875
Instituto Emérita Augusta	Julio	8275	1954
Instituto Emérita Augusta	Agosto	8234	1487
Instituto Emérita Augusta	Septiembre	7177	6485
Instituto Emérita Augusta	Octubre	6355	9982
Instituto Emérita Augusta	Noviembre	5046	3175
Instituto Emérita Augusta	Diciembre	4712	10230
Instituto Mujer Extremadura	Enero	3701	4826
Instituto Mujer Extremadura	Febrero	4067	4444
Instituto Mujer Extremadura	Marzo	4985	3872
Instituto Mujer Extremadura	Abril	4983	2980
Instituto Mujer Extremadura	Mayo	5464	3187
Instituto Mujer Extremadura	Junio	5276	4758
Instituto Mujer Extremadura	Julio	5773	5621

Instituto Mujer Extremadura	Agosto	5753	4881
Instituto Mujer Extremadura	Septiembre	5066	2962
Instituto Mujer Extremadura	Octubre	4537	4111
Instituto Mujer Extremadura	Noviembre	3595	4233
Instituto Mujer Extremadura	Diciembre	3417	4517
Escuela de Idiomas Mérida	Enero	1586	1950
Escuela de Idiomas Mérida	Febrero	1754	1734
Escuela de Idiomas Mérida	Marzo	2178	1731
Escuela de Idiomas Mérida	Abril	2191	1213
Escuela de Idiomas Mérida	Mayo	2443	1517
Escuela de Idiomas Mérida	Junio	2390	1264
Escuela de Idiomas Mérida	Julio	2645	1159
Escuela de Idiomas Mérida	Agosto	2634	1009
Escuela de Idiomas Mérida	Septiembre	2303	1310
Escuela de Idiomas Mérida	Octubre	2028	1822
Escuela de Idiomas Mérida	Noviembre	1567	1940
Escuela de Idiomas Mérida	Diciembre	1459	1473

IX. ANEXOS

Input: $p_{comm,t}^{CMP}$, $p_{m,t}^{net-load}$.

```

1 foreach  $m \in \mathcal{M}$  do
2   foreach  $t \in \mathcal{T}$  do
3     if  $p_{comm,t}^{CMP} > 0$  and  $p_{m,t}^{net-load} > 0$  then
4       (surplus EC, deficit candidate)
5        $s_{m,t} = p_{m,t}^{net-load}$ ;
6     else if  $p_{comm,t}^{CMP} < 0$  and  $p_{m,t}^{net-load} < 0$  then
7       (deficit EC, surplus candidate)
8        $s_{m,t} = -p_{m,t}^{net-load}$ ;
9     else
10       $s_{m,t} = 0$ ;
11    end
12  end
13  Total score for whole horizon:  $S_m^{P/C,h} = \sum_{t \in \mathcal{T}} s_{m,t}$ .
14 end

```

Anexo 1. Programación del sistema de puntuación de candidatos.

CUPS	Razón Social	CIF	Tipo de p	Tarifa	Nº de factura	Potenciai	Potenciai	Potenciai	Potenciai	Potenciai
ES0273000000002027CX0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE CORIA	S1000221J	2.0TD		PNR301N0160619	13,856	0	13,856	0	
ES0273000000002027CX0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE CORIA	S1000221J	2.0TD		PNR301N0170315	13,856	0	13,856	0	
ES0273000000002027CX0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE CORIA	S1000221J	2.0TD		PNR301N0173666	13,856	0	13,856	0	
ES0273000000002027CX0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE CORIA	S1000221J	2.0TD		PO2301S0375316	13,856	0	13,856	0	
ES0273000000002027CX0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE CORIA	S1000221J	2.0TD		PO2301S0375319	13,856	0	13,856	0	
ES0273000000002027CX0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE CORIA	S1000221J	2.0TD		PO2301Y0374407	13,856	0	13,856	0	
ES0273000000002027CX0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE CORIA	S1000221J	2.0TD		PO2301Y0374404	13,856	0	13,856	0	
ES0273000000002027CX0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE CORIA	S1000221J	2.0TD		PNR308N0020919	13,856	0	13,856	0	
ES0273000000002027CX0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE CORIA	S1000221J	2.0TD		PNR301N0310622	13,856	0	13,856	0	
ES0273000000002027CX0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE CORIA	S1000221J	2.0TD		PNR301N0314599	13,856	0	13,856	0	
ES0273000000002027CX0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE CORIA	S1000221J	2.0TD		PNR301N0317811	13,856	0	13,856	0	
ES0273000000002027CX0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE CORIA	S1000221J	2.0TD		PNR301N0360027	13,856	0	13,856	0	
ES0021000002345732PM0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE HOYOS	S1000220B	2.0TD		PMR301N0194957	13,2	0	13,2	0	
ES0021000002345732PM0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE HOYOS	S1000220B	2.0TD		PMR301N0207803	13,2	0	13,2	0	
ES0021000002345732PM0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE HOYOS	S1000220B	2.0TD		PO2301S0374986	13,2	0	13,2	0	
ES0021000002345732PM0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE HOYOS	S1000220B	2.0TD		PO2301Y0374074	13,2	0	13,2	0	
ES0021000002345732PM0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE HOYOS	S1000220B	2.0TD		PMR308N0032253	13,2	0	13,2	0	
ES0021000002345732PM0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE HOYOS	S1000220B	2.0TD		PMR301N0396006	13,2	0	13,2	0	
ES0021000002345732PM0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE HOYOS	S1000220B	2.0TD		PMR301N0398629	13,2	0	13,2	0	
ES0021000002345732PM0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE HOYOS	S1000220B	2.0TD		PMR301N0403285	13,2	0	13,2	0	
ES0021000002345732PM0F	C DE PROFESORES Y RECURSOS DE HOYOS	S1000220B	2.0TD		PMR301N0410382	13,2	0	13,2	0	

Anexo 2. Datos generales recibidos por AGENEX de edificios públicos de Extremadura.

Potencia: ▾	Potenci ▾	Fecha de emis ▾	Fecha Desde ▾	Fecha Hasta ▾	Consumo activa kWh P1 ▾	Producción activa kWh P ▾
0	0	12/04/2023	31/12/2022	31/01/2023	708	622
0	0	17/04/2023	31/01/2023	28/02/2023	710	683
0	0	18/04/2023	28/02/2023	31/03/2023	485	414
0	0	23/05/2023	31/10/2022	30/11/2022	413	390
0	0	23/05/2023	30/11/2022	31/12/2022	405	354
0	0	23/05/2023	30/11/2022	31/12/2022	405	354
0	0	23/05/2023	31/10/2022	30/11/2022	413	390
0	0	29/06/2023	31/03/2023	19/04/2023	58	50
0	0	13/07/2023	19/04/2023	30/04/2023	37	30
0	0	17/07/2023	30/04/2023	31/05/2023	104	84
0	0	18/07/2023	31/05/2023	30/06/2023	120	76
0	0	17/08/2023	30/06/2023	31/07/2023	105	60
0	0	12/04/2023	22/11/2022	22/01/2023	268	202
0	0	18/04/2023	22/01/2023	20/03/2023	364	330
0	0	23/05/2023	25/09/2022	22/11/2022	231	184
0	0	23/05/2023	25/09/2022	22/11/2022	231	184
0	0	01/08/2023	20/03/2023	19/04/2023	123	102
0	0	02/08/2023	19/04/2023	24/04/2023	19	15
0	0	03/08/2023	24/04/2023	21/05/2023	82	71
0	0	04/08/2023	21/05/2023	20/06/2023	107	81
0	0	07/08/2023	20/06/2023	19/07/2023	124	80

Anexo 3. Datos de producción y consumo recibidos por AGENEX de edificios públicos de Extremadura.