DESARROLLO DE VIDEOS DIDÁCTICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE HOMER PRO EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS ELÉCTRICOS



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

AUTORES
NEIDER STIVEN GONZÁLEZ MORA
ANDRÉS RICARDO MEDINA QUIJANO

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERÍA ELÉCTRICA (CICLOS PROPEDEUTICOS)

Bogotá D.C., agosto de 2025

DESARROLLO DE VIDEOS DIDÁCTICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE HOMER PRO EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS ELÉCTRICOS

MODALIDAD
PASANTIA INTERNA

Requisito para optar al título de Ingeniería Eléctrica

AUTORES
Neider Stiven González Mora
Andrés Ricardo Medina Quijano

Docente Tutor
Ing. PhD. Clara Inés Buriticá Arboleda

Codirector Entidad
Ing. PhD. Fredy Hernán Martínez Sarmiento

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERÍA ELÉCTRICA (CICLOS PROPEDEUTICOS)

Bogotá D.C., agosto de 2025

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor inagotable, su confianza ciega en mis capacidades y por cada sacrificio realizado para brindarme la oportunidad de estudiar y perseverar. Su apoyo económico, moral y emocional fue el pilar fundamental que me sostuvo en los momentos de mayor desafío. A mí hermana, y demás familiares cercanos, por su comprensión, paciencia y por ser mi refugio y fuente de inspiración constante. Su fe en mí y su estímulo fueron la fuerza impulsora para no desfallecer y alcanzar esta meta profesional.

(Andrés R. Medina)

A mis padres, con todo mi amor y respeto. Su apoyo incondicional, su paciencia infinita y sus palabras de aliento en los momentos de mayor incertidumbre han sido el motor que me ha impulsado a no rendirme. A mis hermanos, por ser mi refugio y mi equilibrio. Gracias por estar presentes, en la distancia o en la cercanía, con una palabra de aliento, un gesto de cariño o una sonrisa oportuna. Ustedes han sido una fuente de fuerza en los momentos difíciles y una inspiración constante para seguir adelante. Su compañía ha hecho más llevadero este proceso y más significativo este logro.

(Neider S. González)

AGRADECIMIENTOS

Extendemos nuestra gratitud a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, a la Facultad Tecnológica y al programa de Ingeniería Eléctrica, por proporcionarnos las herramientas, el conocimiento y el ambiente propicio para nuestro desarrollo académico y profesional.

Un especial agradecimiento a nuestra docente tutora, la Ing. PhD. Clara Inés Buriticá Arboleda, por su invaluable guía, su paciencia infinita, sus conocimientos y por la dedicación y el tiempo invertido en la dirección de este proyecto. Sus orientaciones fueron clave para superar los obstáculos y para que este trabajo alcanzara su máxima utilidad y calidad.

Finalmente, agradecemos a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron con sus conocimientos, su tiempo o su buena disposición en el desarrollo y validación del material audiovisual que constituye la esencia de este proyecto.

A todos ellos, nuestra gratitud por ser parte esencial de este importante capítulo de nuestras vidas.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN 11
1. INTRODUCCIÓN 13
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 14
3. JUSTIFICACIÓN 15
4. OBJETIVOS 16
4.1 Objetivo general 16
4.2 Objetivos específicos 16
5. MARCO TEORICO CONCEPTUAL 17
6. ESTADO DEL ARTE 22
6.1 Recursos internacionales. 22
6.1.1 Estructura y alcance. 23
6.1.2 Contenido técnico-pedagógico 25
6.1.3 Accesibilidad y formato. 26
6.1.4 Casos prácticos y recursos complementarios 27
6.2 Recursos nacionales 28
6.2.1 Estructura y alcance. 29
6.2.2 Contenido técnico-pedagógico 31
6.2.3 Accesibilidad y formato. 32
6.2.4 Casos prácticos y recursos complementarios 33
6.3 Brechas y oportunidades. 35
7. FUNCIONALIDADES DEL SOFTWARE HOMER PRO 37
7.1 Parametrización de la carga eléctrica 38
7.1.1 Añadir una carga al modelo 39
7.1.2 Datos horarios 40
7.1.3 Datos escalados para simulación 40
7.1.4 Variabilidad aleatoria 41
7.2 Costos 43
7.3 Curva de costos 44
7.4 Espacio de búsqueda 45
7.5 Modelado de componentes 45
7.5.1 Controlador 45

7.5.2 Paneles fotovoltaicos (FV) 47
7.5.2.1 MPPT 47
7.5.2.2 Datos de entrada avanzados 47
7.5.2.3 Temperatura 48
7.5.3 Aerogenerador 49
7.5.3.1 Curva de potencia 49
7.5.3.2 Pérdidas 50
7.5.3.3 Mantenimiento 50
7.5.4 Batería 51
7.5.4.1 Vida mínima de la batería 52
7.5.5 Convertidor 53
7.5.5.1 Datos de entrada del inversor 53
7.5.5.2 Datos de entrada del rectificador 53
7.5.6 Red 54
7.5.6.1 Tarifas simples 54
7.5.6.2 Precios en tiempo real 55
7.5.6.3 Cobros adicionales, capacidades y limitaciones 55
7.5.6.4 Tarifas programadas 56
7.5.6.5 Tabla de tarifas 56
7.5.6.6 Propiedades de las tarifas 57
7.5.6.7 Programa 58
7.5.6.8 Extensión de red 59
7.6 Modelado de recursos renovables 59
7.6.1 Solar GHI resource (Irradiación global horizontal) 60
7.6.2 Solar DNI resource (Irradiación directa normal) 61
7.6.3 Wind resource (Viento) 62
7.6.4 Temperature resource (Temperatura) 63
7.6.5 Fuel resource (Combustible) 64
7.6.6 Biomass resource (Biomasa) 65
7.6.7 Custom resource (recurso personalizado) 67
7.7 Análisis de sensibilidad en HOMER Pro 68
7.8 Visualización de resultados 68
8. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO DEL MATERIAL AUDIOVISUAL 74

8.1 Video 0: Introducción a la serie de vídeos de HOMER Pro 74
8.2 Video 1: Introducción a HOMER Pro 75
8.3 Video 2: Recorrido por HOMER Pro 75
8.4 Video 3: La pestaña de carga eléctrica en HOMER Pro 76
8.5 Video 4: El Componente RED 77
8.6 Video 5: El componente convertidor en HOMER Pro 77
8.7 Video 6: El componente almacenamiento en HOMER Pro 78
8.8 Video 7: El componente aerogenerador en HOMER Pro 79
8.9 Video 8: El componente PV (paneles fotovoltaicos) en HOMER Pro 79
8.10 Video 9: El componente generador en HOMER Pro 80
8.11 Video 10: El componente controlador en HOMER Pro 81
8.12 Video 11: Ingreso de datos de recursos en HOMER Pro 82
8.13 Video 12: La Ventana "Proyecto" en HOMER Pro 83
8.14 Video 13: Caso de estudio: Optimización de microrred para la Isla Tumbatu con HOMER Pro 84
8.15 Video 14: Caso de estudio: Simulación de comunidad energética en caño dulce con HOMER Pro 85
9. VALIDACIÓN DEL MATERIAL AUDIOVISUAL 87
9.1 Análisis de resultados de la encuesta: 87
9.1.1 Percepción general de la utilidad y comprensión: 87
9.1.2 Habilidades de aplicación y desafíos identificados: 88
9.1.3 Calidad del contenido y estructura de los videos: 89
9.2 Sugerencias y áreas de mejora futura: 90
10. CONCLUSIONES 92
11. RECOMENDACIONES 93
12. REFERENCIAS 94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Características y funciones, RETScreen. 18
Figura 2. Características y funciones, REopt 19
Figura 3. Principales capacidades de HOMER Pro 20
Figura 4. Principales vistas del software 37
Figura 5. Ventana principal, ubicación del proyecto 38
Figura 6. Ventana de carga 39
Figura 7. Ventana de carga eléctrica 40
Figura 8. Ventana de edición de variabilidad aleatoria 41
Figura 9. Ejemplo sin variabilidad aleatoria 42
Figura 10. Ejemplo con 20% de variabilidad diaria 42
Figura 11. Ejemplo con variabilidad “timestep” de 15% 43
Figura 12. Ejemplo de variabilidad 44
Figura 13. Ventana de configuración del controlador 46
Figura 14. Ventana de propiedades avanzadas 48
Figura 15. Propiedades avanzadas del aerogenerador 50
Figura 16. Ventana de pérdidas del aerogenerador 50
Figura 17. Pestaña de mantenimiento del aerogenerador 51
Figura 18. Ventana de configuración de almacenamiento 52
Figura 19. Ventana de definición de tarifas 57
Figura 20. Propiedades de tarifas 57
Figura 21. Cronograma de tarifas 58
Figura 22. Ventana de recursos disponibles 59
Figura 23. Selección del recurso GHI 60
Figura 24. Promedios mensuales para el recurso GHI 60
Figura 25. Selección del recurso del viento 62
Figura 26. Promedios mensuales para el recurso del viento 63
Figura 27. Promedios mensuales de temperatura 64
Figura 28. Ventana para importar recurso de temperatura 64
Figura 29. Ventana recurso de combustible 65
Figura 30. Promedios mensuales recurso de biomasa 66
Figura 31. Opciones para importar el recurso de biomasa 66
Figura 32. Propiedades del recurso de biomasa 67

Figura 33. Ventana de recurso personalizado 67
Figura 34. Pestaña de proyecto 68
Figura 35. Ventana Optimization Results 69
Figura 36. Ventana Cost Summary 69
Figura 37. Ventana Cash Flow 70
Figura 38. Ventana Electrical 71
Figura 39. Ventana Emissions 71
Figura 40. Ventana Time Series Detail Analysis 72
Figura 41. Ventana Sensitivity Cases 72
Figura 42. Pregunta 1 de la encuesta 88
Figura 43. Pregunta 3 de la encuesta 88
Figura 44. Pregunta 6 de la encuesta 88
Figura 45. Pregunta 13 de la encuesta 88
Figura 46. Pregunta 2 de la encuesta 89
Figura 47. Pregunta 5 de la encuesta 89
Figura 48. Pregunta 7 de la encuesta 89
Figura 49. Pregunta 16 de la encuesta 89
Figura 50. Pregunta 4 de la encuesta 90
Figura 51. Pregunta 10 de la encuesta 90
Figura 52. Pregunta 11 de la encuesta 90
Figura 53. Pregunta 15 de la encuesta 91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Recursos analizados en el ámbito internacional 23
Tabla 2. Recursos analizados en el ámbito nacional 29
Tabla 3. Descripción de las entradas avanzadas 47
Tabla 4. Descripción de las propiedades avanzadas de temperatura 48
Tabla 5. Parámetros específicos del aerogenerador 49
Tabla 6. Datos de entrada de mantenimiento 51
Tabla 7. Datos de entrada de la batería 52
Tabla 8. Datos de entrada del inversor 53
Tabla 9. Descripción de variables de entrada del rectificador 54
Tabla 10. Parámetros de tarifas simples 54
Tabla 11. Parametros de control 55
Tabla 12. Diferentes cobros de red 56
Tabla 13. Propiedades de tarifas de red 58
Tabla 14. Variables utilizadas en extension de red 59

RESUMEN

La formación de ingenieros eléctricos requiere el dominio de herramientas como HOMER Pro, fundamentales para el diseño y optimización técnico-económica de microrredes híbridas. Se identificó una brecha educativa crítica debido a la escasez de recursos estructurados, adaptados a principiantes y disponibles en español, lo que limitaba la adquisición de competencias clave. Este trabajo de grado tuvo como objetivo desarrollar videos didácticos que facilitaran el aprendizaje y la implementación del software. Para ello, se realizó un estado del arte que evidenció las deficiencias en los recursos existentes y se analizaron a fondo las funcionalidades de HOMER Pro, a partir de lo cual se produjeron 15 videos tutoriales, desde la interfaz básica hasta casos de estudio complejos. La validación se llevó a cabo con 20 estudiantes de ingeniería eléctrica, quienes aplicaron tres casos prácticos y respondieron una encuesta. El 90 % de los participantes indicó que los videos fueron suficientes para comprender el uso del software, y el 100 % manifestó que los ayudaron a configurar los componentes del sistema. Además, el 95 % recomendaría su uso en cursos universitarios. Aunque el 70 % completó con éxito las simulaciones, se identificaron dificultades en la interpretación de datos de salida y costos, lo que motivó a realizar una explicación más detallada para reforzar estos aspectos. Estos resultados demuestran que los videos didácticos en español facilitan el aprendizaje de HOMER Pro y fortalecen la formación de ingenieros capaces de diseñar soluciones energéticas sostenibles.

Palabras clave: HOMER Pro, simulación energética, ingeniería eléctrica, recursos educativos, microrredes híbridas.

ABSTRACT

The training of electrical engineers requires proficiency in tools such as HOMER Pro, which are essential for the technical and economic design and optimization of hybrid microgrids. A critical educational gap was identified due to the lack of pedagogically structured resources adapted for beginners and available in Spanish, limiting the acquisition of key competencies. This undergraduate thesis aimed to develop didactic videos to facilitate the learning and implementation of this software. To achieve this, a state-of-the-art review was conducted, confirming deficiencies in existing resources, and the functionalities of HOMER Pro were thoroughly analyzed. Based on this, 15 tutorial videos were produced, covering topics from the basic interface to complex case studies. Validation was carried out with 20 electrical engineering students who applied three practical case studies and responded to a satisfaction survey. Ninety percent of the participants reported that the videos were sufficient for understanding the software, and all of them stated that the videos helped them configure system components. Additionally, 95% recommended their use in university courses. Although 70% successfully completed the simulations, difficulties were identified in interpreting output data and costs, prompting a more detailed explanation to reinforce these aspects. These results demonstrate that the didactic videos in Spanish facilitate the learning of HOMER Pro and strengthen the training of engineers capable of designing sustainable energy solutions.

Keywords: HOMER Pro, energy simulation, electrical engineering, educational resources, hybrid microgrids.

1. INTRODUCCIÓN

La transición hacia sistemas energéticos sostenibles ha posicionado a las microrredes híbridas como una solución clave para garantizar acceso a electricidad en regiones con infraestructura limitada, combinando fuentes renovables (solar, eólica, biomasa) y convencionales (Restrepo et al., 2018). Estas microrredes no solo mejoran la calidad de vida en comunidades remotas, sino que también reducen la dependencia de combustibles fósiles, alineándose con los objetivos globales de descarbonización.

En este contexto, el software HOMER Pro emerge como una herramienta indispensable para el diseño y análisis técnico-económico de sistemas híbridos, permitiendo simular configuraciones, optimizar costos y evaluar su resiliencia ante incertidumbres ambientales o económicas. Su aplicación en proyectos internacionales, como el modelado de microrredes (Hüner, 2025), evidencia su capacidad para minimizar el costo nivelado de energía (LCOE) y las emisiones de CO_2. Sin embargo, su implementación efectiva en la formación de ingenieros eléctricos enfrenta un desafío crítico: la escasez de recursos educativos estructurados pedagógicamente y adaptados a usuarios sin experiencia previa.

A nivel global, materiales como manuales técnicos, cursos especializados y casos de estudio se centran en resultados técnicos, omitiendo metodologías didácticas que faciliten su replicabilidad en aulas. Aunque existen cursos como los que ofrece el distribuidor del software (UL Solutions) o plataformas eLearning como Udemy, estos no son gratuitos, a esto se suma la predominancia de contenidos en inglés y la falta de secuencias pedagógicas para principiantes. En el ámbito nacional, investigaciones como el dimensionamiento de microrredes aisladas (García-García & Osma-Pinto, 2023) validan su utilidad técnica, pero no abordan la creación de material educativo que traslade este conocimiento a estudiantes de pregrado.

Esta brecha entre la aplicación práctica del software y su integración en la formación académica subraya la necesidad urgente de desarrollar recursos en español que, más allá de explicar funcionalidades, guíen a los usuarios en la simulación de casos reales, el análisis de sensibilidad y la validación de escenarios. El presente trabajo de pasantía busca sistematizar los avances existentes y proponer lineamientos pedagógicos accesibles, con el fin de cerrar esta brecha y potenciar el rol de HOMER Pro como puente entre la teoría y la práctica en ingeniería eléctrica. A través de la creación de videos didácticos, este proyecto contribuirá a la formación de profesionales capacitados para diseñar soluciones energéticas sostenibles, alineadas con las demandas del sector en Latinoamérica.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el contexto de la formación en ingeniería eléctrica, el uso de herramientas computacionales especializadas ha demostrado ser indispensable tanto para el desarrollo académico como para la práctica profesional. No obstante, pese a la creciente demanda de ingenieros eléctricos capacitados en el uso de software aplicado, se ha identificado un déficit en la integración de estos recursos en algunas asignaturas del programa de Ingeniería Eléctrica. Esta carencia afecta el proceso formativo, limitando la adquisición de competencias relacionadas con la optimización de sistemas energéticos y la solución eficiente de problemas complejos.

El software HOMER Pro, reconocido en el ámbito de la investigación y desarrollo de sistemas de energía híbridos, se presenta como una herramienta clave en la simulación, análisis y optimización de soluciones energéticas basadas en fuentes renovables.

A través de su uso, es posible abordar desafíos asociados a la planificación energética, la integración de energías renovables y el diseño de microrredes, facilitando la toma de decisiones fundamentadas en criterios de eficiencia, sostenibilidad y viabilidad económica. (UL Solutions, 2022)

Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos y la relevancia de este software en la industria eléctrica, se ha evidenciado un uso limitado de HOMER Pro en el desarrollo académico de los estudiantes del programa de Ingeniería Eléctrica. Esto no solo limita la capacidad de los futuros profesionales para enfrentarse a las exigencias del sector energético actual, sino que también representa una oportunidad desaprovechada para mejorar la calidad de la enseñanza en temas relacionados con la sostenibilidad energética, la optimización de recursos y el uso de tecnologías limpias.

Ante esta problemática, resulta imprescindible fomentar la capacitación de los estudiantes en el uso del software HOMER Pro, integrando su enseñanza de manera transversal en las asignaturas pertinentes del programa. De esta manera, se contribuirá al desarrollo de competencias que permitirán a los estudiantes enfrentarse con mayor solvencia a los desafíos profesionales, promoviendo, a su vez, la adopción de soluciones tecnológicas eficientes y sostenibles en el ámbito energético.

En consecuencia, se propone el desarrollo de videos didácticos que permitan incentivar el uso del software HOMER Pro, orientados a facilitar su aprendizaje y aplicación en áreas claves como las microrredes y energías renovables. Estos videos, promoverán una formación más autónoma, brindando herramientas pedagógicas que faciliten la comprensión y uso eficiente del software. Así, se busca no solo fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje, sino también alinear las capacidades de los futuros profesionales con las demandas tecnológicas actuales del sector energético.

3. JUSTIFICACIÓN

La enseñanza de HOMER Pro en la formación de ingenieros eléctricos es crucial para garantizar que los estudiantes adquieran habilidades competitivas que los posicionen mejor en el mercado laboral. HOMER Pro es una herramienta avanzada para el diseño y simulación de sistemas de energía renovable y microrredes, ampliamente utilizada en la industria energética para evaluar la viabilidad técnica y económica de diferentes configuraciones energéticas (Lambert et al., 2005). Los ingenieros que dominen HOMER Pro estarán mejor capacitados para enfrentar los desafíos técnicos del sector, ya que tendrán la capacidad de modelar, simular y optimizar sistemas complejos de generación y almacenamiento de energía, habilidades que son fundamentales en la transición hacia un modelo energético más sostenible.

La creciente demanda de soluciones energéticas sostenibles en el mercado laboral exige profesionales que manejen software especializado para diseñar sistemas eficientes y rentables. Aquellos ingenieros que dominen HOMER Pro estarán en una posición más ventajosa para adaptarse a estas exigencias, dado que este software permite optimizar el uso de recursos renovables, integrar tecnologías híbridas y realizar análisis financieros detallados que maximizan la viabilidad económica de los proyectos energéticos (Connolly et al., 2010). El manejo de esta herramienta no solo fortalece la formación técnica de los estudiantes, sino que también los prepara para asumir roles estratégicos en el diseño y gestión de proyectos energéticos, áreas de creciente relevancia en el mercado global.

Además, enseñar HOMER Pro moderniza el enfoque educativo en ingeniería eléctrica, integrando herramientas tecnológicas de vanguardia que promueven una experiencia formativa más práctica y orientada a la resolución de problemas reales. Los estudiantes que adquieren competencias en software especializado como HOMER Pro no solo desarrollan una comprensión más profunda de los sistemas de energía renovable y microrredes, sino que también se posicionan como profesionales altamente capacitados para abordar los retos de la transición energética. Esta formación avanzada, alineada con las demandas actuales del mercado laboral, garantiza que los graduados estén mejor preparados para competir en un entorno profesional que prioriza la innovación y la sostenibilidad (Barton & Infield, 2004)

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Desarrollar videos didácticos para facilitar la implementación del software HOMER Pro en la formación de Ingenieros Eléctricos.

4.2 Objetivos específicos

- Elaborar el estado del arte de los recursos elaborados para la enseñanza del HOMER Pro en la simulación sistemas híbridos de generación para microrredes, tanto en el ámbito internacional como en el nacional, con su correspondiente base de datos de las fuentes de información consultadas, organizadas en un gestor de referencias.

- Realizar una investigación sobre las diferentes herramientas proporcionadas por el software HOMER Pro para la simulación de sistemas híbridos de generación en microrredes, logrando la realización de videos tutoriales con su correspondiente estructura y de fácil entendimiento, analizando el entorno del programa y las funcionalidades que ofrece.

- Validar y ajustar los videos didácticos para el uso del software HOMER Pro desarrollados mediante la simulación de 3 casos de estudio en sistemas híbridos de generación para microrredes, por parte de un grupo de personas no expertas en el manejo del software, mínimo 3 por cada caso de estudio.

5. MARCO TEORICO CONCEPTUAL

La transición hacia modelos energéticos sostenibles ha impulsado el desarrollo de microrredes como sistemas flexibles capaces de integrar fuentes de generación híbrida (renovables y convencionales), optimizando la eficiencia y resiliencia en entornos urbanos y rurales. Para diseñar y evaluar estas soluciones, herramientas de software de simulación como RETScreen, REopt y HOMER Pro se han consolidado como estándares globales, permitiendo modelar escenarios técnicos, analizar viabilidad económica y minimizar riesgos operativos. Estos programas no solo facilitan la comparación de configuraciones energéticas, sino que también incorporan variables económicas clave, como el costo nivelado de energía (LCOE), el retorno de inversión (ROI) y los gastos de operación y mantenimiento (O&M), fundamentales para garantizar la rentabilidad y sostenibilidad de los proyectos. Este marco integra, así, aspectos tecnológicos y financieros que sustentan la implementación de sistemas híbridos, estableciendo una base sólida para el desarrollo de recursos educativos adaptados a las necesidades actuales de la ingeniería eléctrica.

Microrredes

Las microrredes son sistemas eléctricos descentralizados capaces de operar de forma independiente o en sincronización con la red eléctrica principal. Están compuestas por unidades de generación distribuida (como paneles solares, turbinas eólicas, generadores diésel), sistemas de almacenamiento (baterías, supercondensadores) y cargas eléctricas controladas localmente (Onu et al., 2023). Estas redes están diseñadas para brindar suministro confiable y resiliente en comunidades aisladas, zonas rurales o infraestructuras críticas como hospitales y universidades. Una característica distintiva de las microrredes es su capacidad de "modo isla", lo que significa que pueden desconectarse de la red principal durante fallos o emergencias y seguir operando de manera autónoma. Su implementación permite mejorar la seguridad energética, reducir pérdidas de transmisión y fomentar el uso de energías renovables, contribuyendo al Objetivo de Desarrollo Sostenible 7 (energía asequible y no contaminante) (Arunachalam et al., 2023)

Generación híbrida

La generación híbrida implica la integración de diferentes tecnologías de producción energética en un solo sistema, combinando fuentes renovables (solar fotovoltaica, eólica, hidroeléctrica) con fuentes convencionales (diésel, gas natural) y sistemas de almacenamiento. Esta configuración permite suplir las limitaciones de las fuentes renovables, especialmente su intermitencia, asegurando así un suministro continuo y estable (Biswash et al., 2022). Los sistemas híbridos son especialmente útiles en regiones donde la red eléctrica es débil o inexistente, y su diseño puede optimizarse para reducir el consumo de combustibles fósiles, disminuir costos operativos y minimizar las emisiones de CO_2 (Çetinbaş et al., 2019). Además, la flexibilidad de estos sistemas permite adaptarse a la variabilidad de la demanda y a condiciones climáticas cambiantes, lo que los convierte en una opción preferente en entornos rurales o de difícil acceso.

Software de simulación

El diseño y evaluación de microrredes híbridas requiere el uso de software especializado que permita modelar la interacción entre múltiples componentes energéticos, fuentes renovables, generadores convencionales, sistemas de almacenamiento y cargas, bajo diversas condiciones operativas. Estas herramientas permiten simular comportamientos dinámicos, realizar análisis económicos y de sensibilidad, y optimizar el diseño de los sistemas. Entre los programas más utilizados destacan **RETScreen**, **REopt** y **HOMER Pro**

RETScreen es un software de gestión de energías limpias desarrollado por el Gobierno de Canadá que ayuda a planificar, implementar, monitorear y reportar proyectos energéticos de manera eficiente y rentable. Está diseñado para evaluar la viabilidad técnica y financiera de proyectos de energías renovables, eficiencia energética y cogeneración, y es utilizado globalmente por profesionales, instituciones educativas y sectores públicos y privados.(Natural Resources, Canada, 2010). La figura 1 presenta las características y funciones del software.

Figura 1

Características y funciones, RETScreen.



*Nota. El esquema resume las p*rincipales características y funciones del software RETScreen. Elaborado a partir de Renewable energy integration in healthcare systems: A case study of a hospital in Azad Jammu and Kashmir (Naveed et al., 2024)

REopt es una plataforma avanzada de análisis y optimización energética desarrollada por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) de EE.UU. Su función principal es ayudar en la planificación de sistemas energéticos integrados para maximizar su valor económico, resiliencia y sostenibilidad. (Akhtar & Iqbal, 2024). Las funcionalidades clave se muestran en la figura 2.

Figura 2

Características y funciones, REopt



*Nota. El esquema resume las p*rincipales características y funciones del software REopt, elaborado a partir de About REopt: Renewable Energy Integration & Optimization, (NREL, 2025)

REopt se utiliza ampliamente en edificios comerciales para optimizar el autoconsumo energético, en campus universitarios y hospitales para diseñar microrredes resilientes, en instalaciones industriales para integrar energías renovables en procesos intensivos, en comunidades aisladas para planificar sistemas híbridos renovables-diésel, y en infraestructuras críticas como centros de datos o bases militares, donde la continuidad energética es prioritaria. Su flexibilidad permite adaptarse desde pequeñas instalaciones hasta grandes proyectos, demostrando su impacto en más de 260 MW de capacidad renovable implementada.(NREL, 2025)

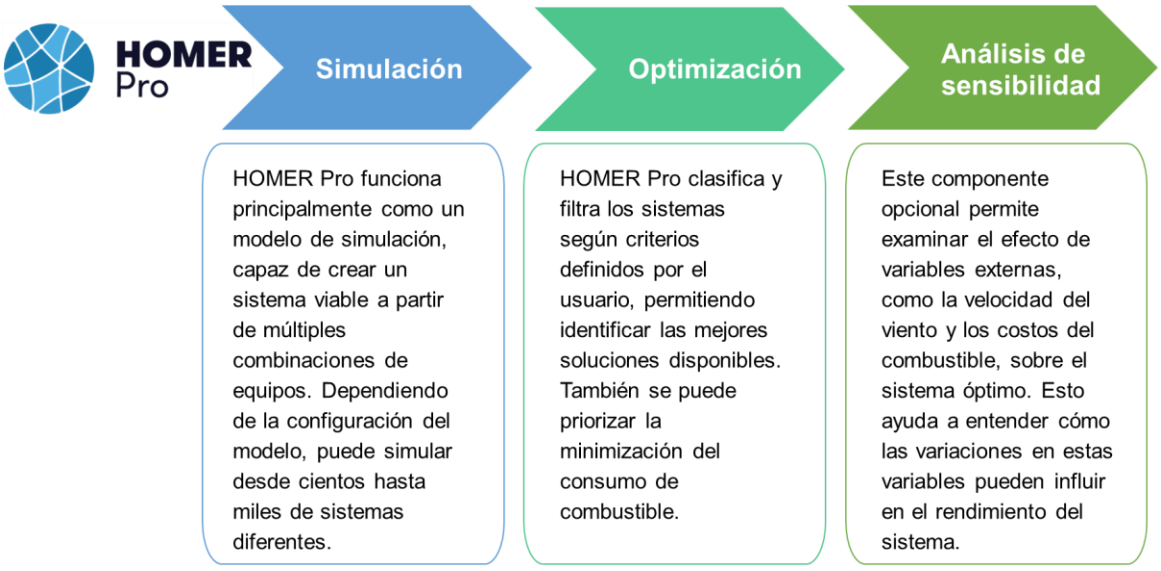
HOMER Pro (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources), puede modelar sistemas de microrredes conectados a la red y fuera de ella, que atienden cargas eléctricas y térmicas, y que comprenden cualquier combinación de módulos fotovoltaicos (FV), turbinas eólicas, pequeñas centrales hidroeléctricas, energía de biomasa, generadores de motores de combustión, microturbinas, celdas de combustible, baterías y almacenamiento de hidrógeno.

HOMER Pro es una herramienta que facilita el diseño de sistemas de generación distribuida (DG), tanto en conexión con la red como de forma independiente. Su principal ventaja radica en la capacidad de evaluar la viabilidad económica y técnica de diversas opciones tecnológicas mediante algoritmos de optimización y análisis de sensibilidad. Estos algoritmos permiten considerar las fluctuaciones en los costos tecnológicos y la disponibilidad de recursos energéticos, lo que es crucial para una planificación efectiva. (Lambert et al., 2005)

Para trabajar de manera eficiente con HOMER Pro, es fundamental comprender sus tres capacidades principales: simulación, optimización y análisis de sensibilidad (Ver Figura 3).

Figura 3

Principales capacidades de HOMER Pro



Nota. El esquema resume las principales capacidades del software HOMER Pro. Elaborado a partir de HOMER - Hybrid Renewable and Distributed Generation System Design Software (UL Solutions, 2022)

En conjunto, estas capacidades permiten a los usuarios de HOMER Pro tomar decisiones informadas y optimizar el diseño de sistemas de generación distribuida, adaptándose a las condiciones cambiantes del entorno energético. (Lambert et al., 2005)

Otro aspecto destacado de HOMER Pro es su capacidad para calcular y optimizar las emisiones contaminantes generadas por los sistemas energéticos que modela. El software calcula las emisiones de seis contaminantes clave: dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (UHC), material particulado (PM), dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NOx) (UL Solutions, s. f.-b). Estas emisiones pueden provenir de la generación de electricidad mediante generadores diésel o de la energía térmica producida por calderas.

HOMER Pro emplea factores de emisión específicos para cada contaminante, los cuales son multiplicados por el consumo total de combustible en el sistema. Además, en los sistemas conectados a la red, el software calcula las emisiones derivadas del consumo eléctrico utilizando las compras netas de electricidad de la red y multiplicando ese valor por los factores de emisión correspondientes. Esto permite a los diseñadores de proyectos no solo optimizar la operación y los costos, sino también minimizar el impacto ambiental de los sistemas energéticos (Connolly et al., 2010)

A medida que se incrementa la demanda por soluciones energéticas sostenibles, es crucial que los ingenieros eléctricos estén capacitados en el uso de estas herramientas. HOMER Pro no solo

simplifica el proceso de modelado y simulación, sino que también permite la evaluación de múltiples escenarios, lo que resulta en una toma de decisiones más informada y eficiente. La implementación de un enfoque educativo que integre este software es esencial para preparar a los estudiantes para los desafíos del futuro en la industria energética.

Variables económicas

Las variables económicas son esenciales para determinar la viabilidad y sostenibilidad de un proyecto energético. UL Solutions, distribuidor del software HOMER Pro, a través de su página web, manual de usuario (UL Solutions, 2025) define las principales variables económicas.

El costo nivelado de energía (LCOE) en HOMER Pro, representa el costo medio por kWh de electricidad útil generada, calculado dividiendo el costo anualizado de producción (incluyendo capital, operación y combustible, excluyendo cargas térmicas) entre la energía total suministrada.

El costo actual neto (NPC) integra todos los costos e ingresos del sistema a lo largo de su vida útil, considerando capital inicial, sustituciones, O&M, y valores residuales, siendo la base para comparar configuraciones. HOMER asume depreciación lineal para el valor residual y distingue entre costos iniciales y de sustitución, que pueden variar por factores como tecnología o subvenciones. Estos indicadores permiten evaluar la viabilidad económica de sistemas energéticos, optimizando su diseño y operación. En HOMER Pro, el costo de capital representa la inversión inicial en componentes como paneles solares o turbinas eólicas, determinando la viabilidad económica del proyecto. El costo de operación incluye gastos recurrentes (mantenimiento, reparaciones) que impactan en el Costo Actual Neto (NPC).

La fracción renovable mide el porcentaje de energía generada por fuentes limpias (ej. solar/eólica), clave para evaluar sostenibilidad, mientras que la carga insatisfecha refleja la demanda no cubierta por el sistema, señalando posibles fallos de diseño. HOMER optimiza estos parámetros para equilibrar confiabilidad, costos y sostenibilidad, priorizando configuraciones con alta eficiencia y bajas emisiones.

6. ESTADO DEL ARTE

HOMER Pro se utiliza extensamente para el diseño de diversos tipos de microrredes en una amplia gama de sectores. En el ámbito de los sistemas aislados o fuera de la red, el software es fundamental para diseñar sistemas de energía para comunidades remotas, islas y proyectos de electrificación rural. (UL Solutions, 2025)

Para la elaboración de este estado del arte, se realizó una búsqueda sistemática de recursos en bases de datos académicas como Scopus, Science Direct e IEEE Xplore, complementada con consultas en Google Scholar y repositorios especializados en energías renovables. Además, se incorporaron materiales técnicos de la página oficial de HOMER Pro (UL Solutions), tutoriales audiovisuales de YouTube y casos de estudio publicados en los últimos cinco años, utilizando términos clave como ‘microrredes híbridas’, ‘HOMER Pro’, ‘optimización energética’ y ‘análisis de sensibilidad’. Aunque la literatura actual presenta un creciente número de proyectos y casos de estudio sobre microrredes, se incluyen en este estado del arte aquellos recursos que, aunque no están diseñados para fines estrictamente pedagógicos, permiten derivar metodologías de aprendizaje para el uso de HOMER Pro. Esto se debe a que, a través de diseños técnicos, parámetros de simulación y resultados publicados, estos materiales ofrecen un marco de referencia para comprender la aplicación del software en contextos reales, incluso si su objetivo principal no es la enseñanza.

Esta sección se organizó en dos categorías principales: recursos internacionales (manuales oficiales, guías técnicas, cursos especializados y casos de estudio globales) y recursos nacionales (investigaciones locales, tutoriales en español y ofertas formativas). Cada recurso se analizó bajo cuatro criterios estructurados:

1) Estructura y alcance: Evaluando la organización del contenido, claridad de objetivos y adaptación a niveles de aprendizaje.
2) Contenido técnico-pedagógico: Analizando la integración teoría-práctica y vinculación con competencias en ingeniería eléctrica.
3) Accesibilidad y formato: Valorando facilidad de acceso (costo, requisitos técnicos) y tipo de formato del recurso o forma de presentación.
4) Casos prácticos y recursos complementarios: Examinando ejemplos aplicables y materiales para prácticas académicas, identificando elementos didácticos como ejercicios guiados o datasets prácticos

Esta metodología permitió contrastar la oferta global con las necesidades locales, identificando oportunidades para cerrar brechas educativas en la formación de ingenieros.

6.1 Recursos internacionales.

En la revisión del material recopilado a nivel internacional, se incorporan recursos oficiales elaborados por el distribuidor del software (UL Solutions), guías técnicas desarrolladas por organizaciones de cooperación internacional, como el SAARC Energy Centre en el Sur de Asia, material audiovisual complementario y un caso de estudio que ejemplifica su aplicación en

contextos reales. La tabla 1 resume los recursos internacionales posteriormente analizados bajo cada uno de los criterios estructurados.

Tabla 1

Recursos analizados en el ámbito internacional

Titulo	Autor	Fecha de publicación	Tipo de recurso, formato	Cita
HOMER Pro Versión 3.7 User Manual	HOMER Energy	Agosto, 2016	Manual pdf	(HOMER Energy, 2016)
Foundations of HOMER® Pro Student Training Guide	HOMER Energy LLC	Noviembre, 2021	Guía pdf	(HOMER Energy LLC, 2021)
Foundations of HOMER Pro	UL Solutions	s. f.	Página web	(UL Solutions, s. f.-a)
Homer pro diseño optimizado de microrredes con sistemas híbridos	David Rebollal Jordan	s. f.	Guía pdf	(Rebollal Jordan, s. f.)
HOMER Renewable Energy Software Training	UL Solutions	Febrero, 2016	Videos	(UL Solutions, 2016)
Online Training on “HOMER Software”	SAARC Energy Centre, Pakistan	Septiembre, 2022	Videos	(SAARC Energy Centre, Pakistan, 2022)
Assessing the feasibility and quality performance of a renewable Energy-Based hybrid microgrid for electrification of remote communities	Md Ashraful Islam et al.	Julio, 2024	Artículo en pdf	(Ashraful Islam et al., 2024)

6.1.1 Estructura y alcance.

El recurso manual de usuario (HOMER Energy, 2016) muestra una organización técnica muy detallada, se observa una división clara en secciones (por ejemplo, “Welcome to HOMER”, “Design View”, “Results View” y “Library View”) y subsecciones que abordan aspectos específicos como simulación, optimización, análisis de sensibilidad y la definición de cargas y componentes. En cuanto al enfoque pedagógico el manual combina instrucciones paso a paso, explicaciones detalladas y el uso de diagramas (como se aprecia en la navegación de la interfaz y en la descripción de componentes) que facilitan la comprensión. Sin embargo, el nivel de detalle técnico puede resultar abrumador para principiantes, a pesar de incluir elementos como glosarios (por ejemplo, el Glosario bilingüe en la sección 7) que apoyan la comprensión.

El recurso guía (HOMER Energy LLC, 2021) está organizado en lecciones numeradas (por ejemplo, Lección A1, A2, …, C3, C4), lo que facilita un recorrido paso a paso por las diferentes funcionalidades del software, cada lección incluye objetivos claros y “trainee models” que guían al usuario en la construcción y análisis de sistemas energéticos (por ejemplo, modelos con generadores diésel, almacenamiento, FV y conexión a red). El enfoque pedagógico es muy práctico, se presentan instrucciones detalladas, parámetros de entrada específicos, lo que permite replicar las configuraciones en un entorno didáctico con casos prácticos.

El recurso página oficial de UL Solutions (UL Solutions, s. f.-a) ofrece un tutorial interactivo y autoguiado estructurado en seis módulos principales, Lecciones I-III: Abarcan desde la creación de modelos básicos (carga sintética, generador diésel) hasta ajustes avanzados (análisis de sensibilidad, economía energética) y lecciones IV-VI: Incluyen, bibliotecas de interfaz y resultados, reforzando el aprendizaje con recursos complementarios. Las lecciones avanzan de conceptos básicos a complejos, ideal para usuarios sin experiencia, permite navegación no lineal, adaptándose al ritmo de aprendizaje del usuario.

El recurso guía (Rebollal Jordan, s. f.) se estructura como una presentación o guía técnica, en la que se combinan definiciones teóricas sobre microrredes y una introducción práctica al uso de HOMER Pro. Se organiza en secciones que abarcan desde conceptos básicos (definición de microrredes y preguntas que puede responder HOMER) hasta el procedimiento paso a paso para la construcción del proyecto: desde la creación del proyecto, la introducción de la demanda, la selección de componentes y recursos, hasta la verificación de entradas, optimización y análisis de sensibilidad.

El recurso, lista de reproducción audiovisual (UL Solutions, 2016) muestra una estructura temática técnica, no necesariamente organizada por niveles de complejidad (básico/avanzado), sino por funcionalidades específicas del software. Cada video se centra en un módulo o herramienta (cargas, componentes, optimización, análisis de sensibilidad, etc.), lo cual es útil para usuarios que desean profundizar en aspectos puntuales. Sin embargo, esto puede representar un reto para principiantes si no se indica un orden pedagógico sugerido para el aprendizaje progresivo. La serie de videos adopta un enfoque práctico, con explicaciones guiadas del uso del software y ejemplos aplicados. Sin embargo, no se menciona la inclusión de glosarios, diagramas conceptuales ni recursos visuales explícitos que faciliten la comprensión conceptual, lo cual podría enriquecer la experiencia de aprendizaje, especialmente para estudiantes sin formación previa en energías renovables.

El recurso lista de reproducción audiovisual (SAARC Energy Centre, Pakistan, 2022) hacen parte de una lista de reproducción que se encuentran canal oficial de YouTube del SAARC Energy Centre (SEC), se divide en 5 videos de 2 horas cada uno, los cuales se enfocan en una capacitación en línea sobre el software HOMER Pro. La lista se estructura lógicamente para facilitar el aprendizaje, comienza con una introducción del curso y el contexto del software, seguida de una sección teórica que aborda conceptos básicos y términos clave, luego, se muestra la interfaz de HOMER Pro, con simulaciones en tiempo real e ingresar datos. Aunque facilita un flujo de aprendizaje ordenado, el hecho de que sean videos tan extensos podría dificultar la atención y proceso de aprendizaje.

El recurso articulo (Ashraful Islam et al., 2024) presenta una estructura organizada en secciones técnicas claramente delimitadas, abordando desde la introducción hasta los resultados de simulación con HOMER Pro, sin embargo, no sigue un enfoque pedagógico progresivo ni está diseñado para facilitar el aprendizaje por niveles. Aunque no incluye guías paso a paso ni glosarios explicativos, se basa en un caso práctico realista —la electrificación de una universidad en Bangladesh—, lo que le da un valor significativo teniendo en cuenta que este caso puede adaptarse fácilmente como ejercicio práctico o base de simulación.

6.1.2 Contenido técnico-pedagógico

El recurso manual de usuario (HOMER Energy, 2016) detalla de forma exhaustiva las funcionalidades del software, explica cómo se realizan las simulaciones, la optimización y el análisis de sensibilidad, proporcionando además ejemplos prácticos en cada sección (por ejemplo, en las descripciones de los componentes y de la generación de datos de carga). Existe una integración con conceptos de ingeniería eléctrica (por ejemplo, en las secciones dedicadas a la estimación del costo total, balance energético y el cálculo de emisiones) que vinculan el uso del software con teoría fundamental.

El recurso guía (HOMER Energy LLC, 2021) detalla el uso de la interfaz de HOMER, explicando la construcción de modelos, la optimización mediante el uso del “search space” y la realización de análisis de sensibilidad. Integra conceptos teóricos de ingeniería (por ejemplo, análisis de costo-nivelado de energía, impacto de variables como el precio del combustible o la tasa de descuento) con la práctica en la simulación de sistemas. Este proporciona ejercicios prácticos que permiten al usuario experimentar con distintos componentes (generadores, baterías, FV, conversores, grid) y ver de forma inmediata el impacto de sus configuraciones, lo que es especialmente valioso para el aprendizaje autónomo, incluye definiciones y resúmenes de términos clave, facilitando la comprensión de la terminología técnica para usuarios en formación.

El recurso página (UL Solutions, s. f.-a) cuenta videos explicativos y ventanas interactivas del software que permiten experimentar con parámetros (ej. ajustar el tamaño de un generador) sin necesidad de instalar HOMER Pro, lo que reduce la curva de aprendizaje ya que muestra paso a paso cómo configurar algunos componentes, ideal para aprendices visuales. También, cuenta con un módulo de evaluación que incluye cuestionarios poslección que validan la comprensión de temas como por ejemplo el "espacio de búsqueda del convertidor"

El recurso guía (Rebollal Jordan, s. f.) detalla el uso de las herramientas principales de HOMER Pro: simulación (balance energético hora a hora), optimización (ordenación de configuraciones por costo presente neto) y análisis de sensibilidad (evaluación del impacto de variables como velocidad del viento o precio del combustible). Vincula conceptos teóricos clave, como el levelized cost of energy (LCOE) y el net present cost (NPC), con la práctica de modelar sistemas híbridos, ayudando a comprender la relación entre simulación y aspectos económicos/técnicos reales. Además, explica estrategias de operación (ej. ciclo de carga vs. seguimiento de carga), integrando teoría de control en el modelado de microrredes.

El recurso lista de reproducción audiovisual (UL Solutions, 2016) explica de forma detallada el uso de las principales herramientas del software, incluyendo modelado de cargas, simulación, optimización y análisis de sensibilidad. Estas funcionalidades se abordan con un enfoque aplicado, lo cual resulta útil para aprender a usar HOMER en el contexto de proyectos reales. Aunque los videos presentan conceptos como (LCOE, NPC, emisiones de CO_2), no vinculan estos indicadores con fundamentos teóricos. Por ejemplo, el cálculo de indicadores como el LCOE o el dimensionamiento de sistemas podría fortalecerse si se mostraran sus fundamentos teóricos y fórmulas en paralelo con el uso del software.

El recurso lista de reproducción audiovisual (SAARC Energy Centre, Pakistan, 2022) sobre HOMER incluyen la introducción de conceptos fundamentales de energía renovable,

demostraciones de las funcionalidades del software y cálculos clave como el período de recuperación simple. Además, se discuten estrategias de optimización para maximizar la eficiencia de los sistemas energéticos. Sin embargo, el uso excesivo de terminología técnica sin definiciones claras dificulta la comprensión para principiantes

El recurso articulo (Ashraful Islam et al., 2024) desde el punto de vista técnico, expone correctamente el uso de HOMER Pro para simulación, optimización y análisis de sensibilidad y lo vincula con conceptos fundamentales como el LCOE, el costo neto presente y las emisiones. No obstante, su orientación no es pedagógica, carece de instrucciones detalladas sobre cómo operar el software, no incluye capturas, datasets descargables, ni recursos complementarios para su uso directo en la enseñanza. Aun así, el contenido es una base sólida para desarrollar recursos didácticos adaptados.

6.1.3 Accesibilidad y formato.

El recurso manual de usuario (HOMER Energy, 2016) es de acceso libre a través de la página web de Homer Energy o directamente de la sección “Help” dentro del software (Requiere licencia de HOMER Pro), en formato PDF estático sin interactividad o elementos multimedia, lo que limita su adaptación a metodologías de aprendizaje modernas como simulaciones en línea o videos integrados. Está basado en la versión 3.7 (2016), podría no incluir funcionalidades recientes del software versión 3.18.4 (2025), obligando a los usuarios a buscar fuentes complementarias.

El recurso guía (HOMER Energy LLC, 2021) es de acceso libre, se encuentra en la página del SAARC Energy Centre presentado como una capacitación en HOMER Pro 3.14.4 (2020), no refleja las últimas mejoras del software, o herramientas avanzadas de análisis incorporadas en versiones superiores. Aunque el recurso puede ser gratuito, requiere licencia de HOMER Pro para aplicar los ejemplos, limitando su uso en instituciones sin recursos. Se encuentra en formato PDF estático sin elementos interactivos que enriquezcan el aprendizaje.

Este recurso guía (UL Solutions, s. f.-a) de acceso libre se presenta en formato de página web a través de Homer Energy. No se especifica si el contenido se ajusta a las últimas versiones de HOMER Pro. Aunque permite ajustar parámetros en ventanas interactivas, carece de simulaciones en tiempo real o descarga de resultados.

El recurso (Rebollal Jordan, s. f.) no especifica la versión en la cual se elabora el contenido, podría no reflejar las últimas actualizaciones del software, como módulos avanzados. Este se presenta en formato PDF o presentación estática, sin recursos descargables o interactivos que faciliten la práctica autónoma.

El recurso lista de reproducción audiovisual (UL Solutions, 2016) es de acceso gratuito a través del canal oficial del distribuidor UL Solutions en YouTube, pero se requiere licencia de HOMER Pro para replicar lo expuesto, un obstáculo para instituciones o estudiantes con recursos limitados. El material al ser una serie de videos cortos, entre 2 y 5 minutos de duración, facilitan el aprendizaje, sin embargo, esta lista de reproducción fue publicada en el año 2016, por lo tanto, no se cubren las últimas funcionalidades del software presentadas en últimas versiones.

El recurso lista de reproducción audiovisual (SAARC Energy Centre, Pakistan, 2022) son de acceso libre a través del canal oficial de SAARC Energy Centre (SEC) en YouTube y a través de su página web. La estructura de 2 horas por sesión no sigue principios de microlearning (fragmentación en módulos cortos), lo que reduce la retención y flexibilidad para usuarios con tiempo limitado. (Santander Universidades, 2024)

El recurso articulo (Ashraful Islam et al., 2024) se encuentra alojado en la plataforma académica ScienceDirect, lo cual garantiza fiabilidad y validez científica, pero también implica limitaciones de acceso para ciertos usuarios, teniendo en cuenta que no está disponible en acceso abierto, por lo que se requiere de una suscripción institucional o individual para consultarlo. Está redactado únicamente en inglés técnico, lo cual puede representar una barrera significativa para estudiantes hispanohablantes que no estén familiarizados con la terminología energética en ese idioma. Además, el artículo no proporciona enlaces directos a archivos de simulación ni datos descargables y para replicar el estudio se requiere contar con una licencia activa de HOMER Pro, lo cual puede ser un obstáculo en entornos educativos con recursos limitados. Por lo tanto, aunque el artículo es valioso desde el punto de vista académico, su formato y condiciones de acceso reducen su aplicabilidad directa como recurso didáctico masivo, reforzando la necesidad de producir contenidos alternativos en español, gratuitos y con orientación pedagógica.

6.1.4 Casos prácticos y recursos complementarios

El recurso manual de usuario (HOMER Energy, 2016) incorpora ejemplos concretos (como la definición de perfiles de carga, el ejemplo del generador y la programación de mantenimiento) que pueden ser adaptados o replicados en contextos reales, aunque no se abordan específicamente aplicaciones como electrificación rural o sistemas aislados; sin embargo, los ejemplos proporcionados son lo suficientemente generales para ser trasladados a escenarios didácticos. Aunque incluye recursos complementarios como tablas de costos, guías para la importación y síntesis de datos y un glosario extenso, carece de ejercicios prácticos, plantillas descargables o datasets preconfigurados destinados específicamente a la práctica académica, lo que podría limitar su uso en entornos de enseñanza sin la preparación adicional de material complementario.

El recurso guía (HOMER Energy LLC, 2021) ofrece ejercicios basados en escenarios reales (como la aplicación en Nairobi o Sydney), esto permite a los estudiantes extrapolar los conceptos a proyectos reales. Los “trainee models” incluidos son valiosos para prácticas guiadas, pero carece de datasets preconfigurados, plantillas descargables o casos adaptados a sistemas aislados o electrificación rural, lo que obliga a los docentes a desarrollar material adicional para contextos específicos.

En el recurso página web (UL Solutions, s. f.-a) se presentan ejemplos centrados en modelos básicos (generadores diésel, cargas sintéticas), pero no incluyen casos de estudio ni aplicaciones en contextos como electrificación rural o políticas energéticas locales. Aunque ofrece bibliotecas de interfaz y resultados, carece de plantillas descargables, datasets académicos o guías para adaptar los modelos a proyectos específicos, lo que limita su uso en aulas sin preparación adicional.

El recurso guía (Rebollal Jordan, s. f.) se presentan ejemplos de aplicación de HOMER Pro orientados a la optimización de microrredes, incluyendo el análisis de la rentabilidad de agregar diferentes fuentes (por ejemplo, aerogeneradores o generadores diésel) y la implementación de estrategias de control y análisis de sensibilidad. Estos casos prácticos, junto con los pasos detallados para importar datos y refinar el diseño, permiten replicar los procesos en el aula, aunque se centran más en la parte técnica del modelado que en escenarios específicos de electrificación rural o sistemas aislados.

El recurso lista de reproducción audiovisual (UL Solutions, 2016) muestran simulaciones en tiempo real y ejemplos técnicos (ej., optimización de sistemas), pero carecen de recursos pedagógicos complementarios como ejercicios estructurados, guías paso a paso, plantillas descargables o datasets preconfigurados. Esto obliga a los estudiantes a buscar material adicional para practicar de forma autónoma, reduciendo su utilidad en entornos académicos.

El recurso lista de reproducción audiovisual videos (SAARC Energy Centre, Pakistan, 2022) en cuanto a la aplicación práctica, presentan simulaciones en tiempo real y ejercicios que invitan a los participantes a resolver problemas específicos utilizando HOMER. También se incluyen estudios de caso que conectan la teoría con la práctica y recursos adicionales, como guías y archivos preconfigurados, para profundizar en el aprendizaje y fomentar la interacción entre usuarios.

El recurso artículo (Ashraful Islam et al., 2024) presenta un caso práctico realista y aplicable al aula, centrado en la electrificación rural mediante una microrred híbrida en el sur de Bangladesh. Este ejemplo es altamente replicable y ofrece una buena base para construir actividades prácticas, especialmente por su enfoque en zonas aisladas, con recursos renovables disponibles y limitaciones técnicas típicas. Sin embargo, no se proporcionan recursos complementarios, como plantillas de simulación, hojas de datos, perfiles de carga detallados ni ejercicios guiados, lo cual limita su uso directo en el aula sin una mediación docente previa. Aun así, este caso representa una oportunidad ideal para ser transformado en contenido didáctico audiovisual dentro de tu proyecto.

6.2 Recursos nacionales

En el análisis del material identificado para el ámbito nacional, se integran artículos indexados en revistas académicas especializadas, trabajos de grado de programas universitarios en ingeniería y energías renovables, así como material audiovisual de divulgación técnica (tutoriales y demostraciones locales sobre el uso del software). Estos recursos, producidos por instituciones educativas como la Universidad Nacional, Universidad de los Andes, Universidad Distrital francisco José de Caldas y profesionales del sector, permiten evaluar la adopción de la herramienta en contextos regionales específicos. La Tabla 2 sintetiza dichos insumos nacionales posteriormente analizados bajo los criterios metodológicos establecidos para este estado del arte.

Tabla 2

Recursos analizados en el ámbito nacional

Titulo	Autor	Fecha de publicación	Tipo de recurso, formato	Cita
Simulación para el dimensionado de un sistema híbrido usando HOMER Pro para Guajira - Colombia.	Yuri Ulianov López Castrillón	Mayo, 2023	Videos	(Castrillón, 2023)
Microgrid analysis using HOMER: a case study	David Restrepo, Bonie Restrepo	Octubre, 2018	Articulo pdf	(Restrepo et al., 2018)
Diseño de una microrred de energía conectada a la red en una planta empacadora de mango en Bogotá, Colombia.	Edgar Ivan Morales Rojas	Junio, 2023	Articulo pdf	(Morales Rojas, 2023)
Comparación y análisis de resultados obtenidos a partir de tres softwares especializados (HOMER Pro, Archelios pro y solar pro) en un proyecto real de un sistema solar fotovoltaico para una ZNI del país.	Yuridia Enciso Pineda, Diego Fernando Perdomo Ocampo	Noviembre, 2024	Articulo pdf	(Enciso Pineda & Perdomo Ocampo, 2024)
Estudio de capacidades de la herramienta HOMER para el dimensionamiento de sistemas híbridos de generación de energía eléctrica	Cuervo Arias et al.	2021	Articulo pdf	(Cuervo Arias et al., 2021)
Dimensionamiento y análisis de sensibilidad de una microrred aislada usando HOMER Pro	Jersson García, German Osma Pinto	Marzo, 2023	Artículo pdf	(García-García & Osma-Pinto, 2023)

6.2.1 Estructura y alcance.

El recurso audiovisual (Yuri Ulianov López Castrillón, 2023) se organiza en cuatro bloques principales que abarcan desde la introducción al software hasta la interpretación de resultados, con un enfoque en la aplicación práctica. Aunque existe una secuencia lógica (presentación, interfaz, simulación y análisis de resultados), no hay una división explícita entre niveles básicos y avanzados, lo que podría dificultar la navegación para usuarios con distintos grados de experiencia. Por ejemplo, mientras se explica cómo descargar datos de radiación solar —un paso inicial—, se introducen conceptos como el análisis de sensibilidad sin contextualizar su complejidad. El enfoque pedagógico se apoya en demostraciones visuales de la interfaz de HOMER Pro y paso a paso para configurar tecnologías, pero carece de recursos que clarifiquen términos técnicos (ej. "NPC" o "LCOE"). Esto limita su utilidad para principiantes que requieren una base teórica sólida.

El recurso articulo (Restrepo et al., 2018) está estructurado en cinco secciones: introducción, conceptos de microrredes, casos de estudio e implementación, resultados de simulación y conclusiones. Esta organización sigue un enfoque técnico secuencial y temáticamente lógico, pero no jerarquiza el contenido por niveles de complejidad (básico/intermedio/avanzado), lo cual puede dificultar su aprovechamiento por parte de usuarios principiantes. El enfoque pedagógico

está presente de forma implícita en la explicación detallada de los pasos seguidos en HOMER Pro para modelar dos microrredes, pero no incluye glosarios ni diagramas pedagógicos específicos para principiantes. Sin embargo, la inclusión de figuras (capturas de pantalla del software y gráficos de resultados) cumple parcialmente esta función ilustrativa, aunque está más orientada a documentación técnica que a formación didáctica.

El recurso (Morales Rojas, 2023) presenta un trabajo de grado centrado en el diseño técnico y económico de una microrred de energía conectada a la red para una planta empacadora de mango en Bogotá. Refleja una estructura coherente, iniciando con la contextualización del problema energético y ambiental, seguido por los objetivos, el marco teórico, la metodología y el análisis técnico de soluciones. Aunque no está segmentado explícitamente por niveles de complejidad, pues no es un material diseña específicamente con la intención de enseñar el uso del software Homer Pro, su desarrollo progresivo permite al lector avanzar en el entendimiento técnico del diseño de microrredes. Si bien su enfoque es técnico, la inclusión de tablas, esquemas y simulaciones con HOMER Pro permite seguir el hilo del análisis con cierta claridad, propone un sistema que reduzca tanto los costos como la huella de carbono, ofreciendo además respaldo ante interrupciones del servicio eléctrico.

El recurso trabajo de grado (Cuervo Arias et al., 2021) presenta una estructura académica sólida y bien definida, organizada en capítulos temáticos que abordan de forma progresiva las principales capacidades de HOMER Pro. Inicia con una introducción contextual sobre la importancia de las microrredes y el rol de HOMER Pro en su diseño, seguida de capítulos dedicados a procesos de simulación, análisis financiero, estrategias de gestión de energía, tecnologías de almacenamiento, análisis de sensibilidad, interacciones con otros softwares, evaluación de desempeño y estrategias de dimensionamiento. El contenido está orientado principalmente a un público con formación en ingeniería eléctrica y su desarrollo progresivo permite comprender el funcionamiento del software desde una perspectiva técnica. Aunque no se organiza por niveles (básico/avanzado), pues su objetivo no era la enseñanza, su estructura permite una apropiación gradual del conocimiento. Se incluyen figuras, tablas y ejemplos aplicados que refuerzan el análisis, aunque no se presentan como material pedagógico explícito con fines didácticos para principiantes.

El recurso monografía (Enciso Pineda & Perdomo Ocampo, 2024) presenta una estructura académica sólida y bien organizada, dividida en capítulos tradicionales como introducción, planteamiento del problema, marco teórico, metodología, análisis comparativo, resultados, conclusiones y anexos. El estudio se centra en un caso práctico real aplicado a una Zona No Interconectada (ZNI) del departamento del Meta, lo que le otorga un alto grado de aplicabilidad. Aunque su enfoque principal no es exclusivamente educativo, el trabajo sí aborda el diseño, simulación y análisis de un sistema fotovoltaico desde un enfoque técnico detallado, lo cual permite su uso como material de referencia para estudiantes y profesionales. La comparación entre tres programas (HOMER Pro, Solar Pro y Archelios Pro) permite evaluar el alcance funcional de cada uno en escenarios reales. No está estructurado por niveles (básico, intermedio, avanzado), pero ofrece un recorrido completo desde el diagnóstico energético hasta la toma de decisiones, lo cual puede ser aprovechado para propósitos formativos.

El recurso artículo (García-García & Osma-Pinto, 2023) está estructurado conforme al formato típico de una publicación científica: introducción, metodología, resultados, discusión y conclusiones, esta organización permite una lectura clara y lógica de los procedimientos realizados y los hallazgos obtenidos. El estudio se enfoca en una microrred aislada ubicada en una zona no interconectada del departamento del Chocó, Colombia, lo cual le otorga un enfoque contextualizado y aplicado. El alcance del estudio se centra en el dimensionamiento y análisis de sensibilidad de una microrred aislada utilizando el software HOMER Pro, con un enfoque en la viabilidad técnica y financiera, está diseñado para abordar tanto aspectos básicos como avanzados, lo que lo hace accesible para usuarios con diferentes niveles de conocimiento, además, incluye elementos didácticos como gráficos, tablas y explicaciones detalladas que facilitan la comprensión del análisis realizado. El objetivo principal es proporcionar una herramienta para la toma de decisiones en proyectos de microrredes, especialmente en contextos rurales o aislados.

6.2.2 Contenido técnico-pedagógico

El recurso audiovisual (Yuri Ulianov López Castrillón, 2023) demuestra funcionalidades clave de HOMER Pro, como la configuración de cargas y tecnologías, pero omite detalles cómo realizar análisis de sensibilidad con fines educativos, menciona la opción, pero no muestra cómo variar parámetros clave (ej. precios de paneles, demanda futura). Aunque menciona métricas como el Costo Neto Presente (NPC) y el Costo Nivelado de Energía (LCOE), no vincula estos conceptos con teorías, como el cálculo de tarifas o la estabilidad de microrredes.

El recurso artículo (Restrepo et al., 2018) describe de forma precisa cómo usar HOMER Pro para realizar simulaciones técnicas y análisis económico-ambientales de microrredes, mostrando funcionalidades como configuración de sistemas (PV, eólico, diésel), estimación de costos, cálculo de emisiones y flujo de caja. También detalla el uso del optimizador del software para encontrar la mejor configuración técnica y económica, si bien no se profundiza explícitamente en herramientas como el análisis de sensibilidad, se interpreta el flujo de caja, retorno de inversión y participación de cada fuente en la generación, lo cual permite conectar directamente el uso del software con conceptos de ingeniería eléctrica como el balance energético y la viabilidad económica (incluido el impacto ambiental). El análisis se centra en la comparación de dos configuraciones (aislada y conectada a red), lo cual resulta útil para entender el impacto técnico y económico del contexto de operación, pero no se complementa con ejercicios, plantillas o datasets descargables para práctica académica autónoma, sin embargo, los valores presentados en tablas y figuras pueden ser replicados fácilmente como base para prácticas académicas.

El recurso trabajo de grado (Morales Rojas, 2023) ofrece un contenido técnico sólido, particularmente en el uso del software HOMER Pro para evaluar escenarios de generación distribuida. Se aplican funciones clave como el análisis de sensibilidad, la estimación del LCOE y la simulación de distintos esquemas energéticos. Estos elementos están integrados con fundamentos propios de la ingeniería eléctrica, como el balance energético y la evaluación de emisiones de CO_2. Aunque no se incluyen guías paso a paso ni materiales de práctica, la pedagogía del informe se refuerza con gráficos, tablas y esquemas explicativos, lo cual facilita la comprensión, el trabajo ilustra un caso de uso real que puede ser analizado por estudiantes con

conocimientos intermedios o avanzados, siendo útil como base para discusiones en clase o como modelo para ejercicios dirigidos.

El recurso trabajo de grado (Cuervo Arias et al., 2021) ofrece un enfoque técnico profundo sobre HOMER Pro, cubriendo desde el uso de sus herramientas básicas hasta funciones avanzadas como el análisis de sensibilidad y la comparación de algoritmos de optimización. Se destacan las explicaciones sobre la operación interna del software, las variables de entrada y salida, los criterios utilizados en la toma de decisiones energéticas, incluyendo indicadores como el LCOE, el NPC y la penetración renovable, también aborda la integración con herramientas como Excel, Matlab, PVsyst y Helioscope, lo cual amplía su aplicabilidad. Si bien está dirigido a un lector con conocimientos intermedios o avanzados, puede servir como recurso de apoyo en ambientes educativos si se acompaña de tutoría o material complementario. No incluye guías paso a paso ni ejercicios descargables, pero sí descripciones detalladas que pueden ser aprovechadas como base para generar contenidos didácticos.

El recurso monografía (Enciso Pineda & Perdomo Ocampo, 2024) combina de manera efectiva el contenido técnico con elementos pedagógicos. En términos técnicos, se profundiza en conceptos clave como la radiación solar, las tecnologías fotovoltaicas y los componentes de un sistema solar (paneles, baterías, reguladores e inversores), además, se detallan los métodos de simulación y optimización utilizados por los softwares, lo que permite entender cómo se obtienen los resultados. Desde el punto de vista pedagógico, el documento incluye explicaciones claras, diagramas y tablas que facilitan el aprendizaje autónomo, también se ofrecen ejercicios prácticos basados en casos reales, lo que permite a los usuarios aplicar los conceptos teóricos en situaciones concretas.

El recurso artículo (García-García & Osma-Pinto, 2023) es robusto y detallado, cubriendo aspectos clave como la simulación, optimización y análisis de sensibilidad de microrredes. Se abordan conceptos fundamentales como el costo de la energía (COE), el costo presente neto (CPN), la fracción renovable y el estado de carga de las baterías, los cuales se articulan con las herramientas de análisis del software HOMER Pro, aunque el artículo no está diseñado explícitamente como recurso didáctico, incluye tablas, gráficas de sensibilidad, modelos comparativos y fórmulas que facilitan la comprensión del lector. La claridad en la explicación metodológica y la interpretación de los resultados lo convierten en un recurso útil para el aprendizaje autónomo y para ser integrado como material de apoyo en asignaturas relacionadas con microrredes o planificación energética.

6.2.3 Accesibilidad y formato.

El recurso video (Castrillón, 2023) está completamente en español, de acceso libre a través del canal del autor en YouTube, lo que lo hace accesible para audiencias hispanohablantes y no requiere dominio de inglés técnico. No obstante, HOMER Pro es un software de pago (requiere licencia), lo que limita su acceso en entornos educativos o comunidades con recursos reducidos. En cuanto a requisitos técnicos, el video no especifica si la versión utilizada es compatible con todos los sistemas operativos o si requiere hardware especializado, lo que podría excluir a usuarios con equipos básicos.

El recurso articulo (Restrepo et al., 2018) es de acceso libre (disponible públicamente) y en formato PDF, lo que facilita su consulta. Sin embargo, el artículo depende del uso de HOMER Pro, un software que requiere licencia comercial. El documento está escrito completamente en inglés, incluyendo las interfaces del software, lo cual puede dificultar su comprensión para estudiantes hispanohablantes sin dominio del idioma técnico. Esto refuerza la importancia de desarrollar materiales gratuitos y en español.

El recurso trabajo de grado (Morales Rojas, 2023) está redactado en español y disponible en formato PDF, lo cual mejora su accesibilidad para el contexto académico latinoamericano. Es gratuito, no requiere licencias adicionales y puede ser consultado de forma digital sin necesidad de herramientas complementarias. Su formato incluye ilustraciones, tablas y esquemas útiles para el análisis técnico. Sin embargo, al tratarse de un documento de tesis, su circulación puede estar restringida al ámbito institucional y no cuenta con elementos interactivos ni recursos multimedia que potencien su uso didáctico de forma autónoma.

El recurso trabajo de grado (Cuervo Arias et al., 2021) está escrito en español y disponible en formato PDF, lo cual facilita su acceso a la comunidad académica hispanohablante. Además, es un trabajo universitario gratuito, lo que mejora su disponibilidad como recurso de consulta, con redacción técnica y uso intensivo de gráficas, tablas y esquemas, lo cual contribuye a la comprensión del contenido por parte de lectores especializados. No obstante, no se incluye ningún recurso multimedia, ni enlaces interactivos o simulaciones integradas, lo que limita su usabilidad como herramienta didáctica autónoma.

El recurso monografía (Enciso Pineda & Perdomo Ocampo, 2024) se presenta en formato PDF, con un diseño académico claro y bien estructurado, de libre acceso al tratarse de una monografía universitaria, redactado completamente en español, lo que lo hace accesible para estudiantes hispanohablantes. El texto está complementado con figuras, tablas, esquemas y un índice detallado que facilita la navegación, aunque no cuenta con recursos multimedia o plataformas interactivas asociadas al trabajo. En cuanto al software HOMER Pro, se aclara que se utilizó una versión completa licenciada, por lo que para replicar los ejercicios habría que disponer de esta licencia, una barrera de acceso para usuarios o instituciones educativas.

El recurso (García-García & Osma-Pinto, 2023) es gratuito y de acceso libre como artículo académico, se encuentra disponible en formato PDF lo cual facilita su consulta, está escrito completamente en español, lo que amplía su accesibilidad en el contexto académico colombiano. Su redacción clara, acompañada de esquemas y gráficas, permite una navegación comprensible y ordenada. No se requieren licencias para consultar el documento, aunque sí se necesita contar con HOMER Pro para replicar las simulaciones presentadas. El artículo no está acompañado de recursos interactivos ni enlaces a software o datos utilizados, lo que limita su carácter didáctico.

6.2.4 Casos prácticos y recursos complementarios

El recurso audiovisual (Castrillón, 2023) utiliza un ejemplo de la Guajira, un caso aplicable a electrificación rural, con datos reales de radiación solar y velocidad del viento descargados de la NASA. Sin embargo, no se proporcionan plantillas, datasets ni archivos de proyecto descargables, lo que dificulta su replicación en aulas o talleres. Tampoco se incluyen ejercicios

estructurados para que los estudiantes exploren variaciones (ej. comparar sistemas híbridos con/sin almacenamiento). Aunque el autor video invita a interactuar de forma empírica con el software, esta sugerencia carece de una guía metodológica que oriente el aprendizaje autónomo, como preguntas de reflexión o criterios de evaluación.

El recurso articulo (Restrepo et al., 2018) es un estudio de caso contextualizado localmente (Medellín), con datos reales de consumo eléctrico y recursos solares/eólicos, lo cual representa un modelo valioso y replicable en otros escenarios rurales o urbanos de Latinoamérica. Se incluyen esquemas de configuración, análisis técnico-económico y evaluación de viabilidad energética. Esto permite utilizar el estudio como ejemplo en cursos o talleres que aborden energías renovables, diseño de microrredes o modelado computacional. Sin embargo, no se adjuntan archivos de simulación, bases de datos, hojas de cálculo ni plantillas que permitan a estudiantes o docentes reproducir los resultados sin rehacer todo el proceso desde cero. Además, no hay ejercicios propuestos ni preguntas guía, lo que limita el uso activo del contenido. La inclusión de tales materiales hubiera transformado el artículo en un recurso educativo de mayor impacto.

El recurso trabajo de grado (Morales Rojas, 2023) estudio se basa en un caso real, aplicado a una planta empacadora de mango en Bogotá, lo cual lo hace particularmente valioso como ejemplo contextualizado para estudiantes colombianos o latinoamericanos. Se simulan tres escenarios con diferentes tecnologías y se comparan sus impactos técnicos, económicos y ambientales, lo que permite ilustrar el proceso de toma de decisiones en diseño energético. No obstante, el documento no ofrece archivos complementarios (como hojas de simulación, datos descargables o configuraciones de HOMER Pro), lo cual limita su replicabilidad directa en el aula. Aun así, su potencial como insumo académico es alto si se acompaña de una guía o se adapta como estudio de caso para análisis grupales.

El recurso trabajo de grado (Cuervo Arias et al., 2021) incluye un caso de estudio simulado en HOMER Pro (una microrred en la Isla Phaluai, Tailandia), que sirve como eje de aplicación para evaluar distintas estrategias de gestión energética y tecnologías de almacenamiento. Este caso se utiliza de forma transversal en el análisis técnico y económico y permite ilustrar con datos reales cómo el software responde a variaciones en las condiciones climáticas, los modelos de baterías y las estrategias de operación. Sin embargo, el estudio no proporciona archivos de simulación, bases de datos, plantillas descargables ni material complementario que facilite la replicación directa del análisis por parte de estudiantes o docentes, a pesar de ello, los resultados obtenidos y su representación gráfica ofrecen un insumo valioso para construir ejercicios pedagógicos.

El recurso monografía (Enciso Pineda & Perdomo Ocampo, 2024) incluye casos prácticos basados en un proyecto real de un sistema solar fotovoltaico para una ZNI en Colombia, lo que permite contextualizar los conceptos teóricos. Se presentan tres simulaciones realizadas con los softwares HOMER Pro, SOLAR Pro y ARCHELIOS Pro, lo que ofrece una visión comparativa de los resultados obtenidos, además, el documento proporciona recursos complementarios como bases de datos climáticas, hojas de cálculo y plantillas de proyectos, que pueden ser útiles para replicar el diseño en otros contextos. Sin embargo, no se incluyen herramientas adicionales como

guías de resolución o tutoriales en video, lo que podría mejorar la transferencia del conocimiento al aula o a proyectos académicos.

El recurso artículo (García-García & Osma-Pinto, 2023) incluye casos prácticos que permiten al usuario aplicar los conceptos teóricos en escenarios reales. Por ejemplo, se presenta un análisis detallado de una microrred aislada en el municipio de Sipí, donde se evalúa el impacto de variables como la irradiación solar, la velocidad del viento y el precio del combustible en la viabilidad del sistema, además, se proporcionan gráficos de sensibilidad y curvas normalizadas que facilitan la interpretación de los resultados. Sin embargo, el documento no incluye recursos complementarios adicionales, como hojas de cálculo, plantillas de proyectos o tutoriales paso a paso, lo que podría ser un valor agregado para los usuarios que buscan implementar los conceptos en sus propios proyectos.

6.3 Brechas y oportunidades.

El análisis de los recursos educativos disponibles sobre el software HOMER Pro evidencia una serie de limitaciones que dificultan su implementación efectiva en la formación de ingenieros eléctricos, especialmente en contextos hispanohablantes. Estas restricciones destacan la necesidad de desarrollar materiales didácticos accesibles, pedagógicos y adaptados a los requerimientos de estudiantes y educadores.

Uno de los principales desafíos es la barrera idiomática, la mayoría de los contenidos, incluyendo manuales, guías y videos oficiales, están redactados en inglés técnico. Esto dificulta su comprensión para estudiantes hispanohablantes que no dominan el idioma, más aún cuando se trata de vocabulario especializado en sistemas híbridos de generación y modelado energético. Este obstáculo lingüístico no solo complica el aprendizaje autónomo, sino que también limita el alcance de estos recursos en entornos educativos de habla hispana.

Otro problema significativo es la orientación de los materiales hacia usuarios con conocimientos intermedios o avanzados, muchos de ellos presuponen familiaridad con conceptos como energías renovables, análisis económico y modelado energético. Esto excluye a los estudiantes en etapas iniciales de formación, quienes podrían beneficiarse de una introducción más básica y progresiva al software. Además, se han identificado brechas en la claridad pedagógica, como el uso excesivo de terminología especializada sin explicaciones previas y la falta de instrucciones paso a paso que faciliten la comprensión del uso del software para la simulación de microrredes hibridas.

También se observan carencias visuales y didácticas, muchos materiales no muestran el entorno del software ni ofrecen explicaciones visuales sobre su interfaz, lo que representa un desafío para usuarios que se aproximan a HOMER Pro por primera vez. Si bien algunos videos cumplen funciones operativas básicas, suelen carecer de una estructura pedagógica clara y continuidad temática entre los módulos, dificultando un aprendizaje integral y progresivo, además, una proporción considerable de los recursos está desactualizada.

Frente a estas limitaciones, resulta imperativo diseñar nuevos recursos educativos que aborden estas deficiencias, específicamente se necesitan materiales en español con un enfoque progresivo, que introduzcan al estudiante desde los conceptos fundamentales hasta la resolución

de casos prácticos contextualizados. Aunque no sean interactivos, estos recursos deben priorizar la claridad conceptual y una estructura pedagógica sólida, con el objetivo de cerrar las brechas de lenguaje, accesibilidad y comprensión técnica que enfrentan los estudiantes en formación.

En conclusión, la implementación efectiva de HOMER Pro en procesos educativos requiere superar barreras idiomáticas, pedagógicas y contextuales. Desarrollar recursos didácticos en español, adaptados a niveles diversos de formación y validados en entornos reales, no solo mejorará el acceso al aprendizaje, sino que también contribuirá a la formación de ingenieros eléctricos capacitados para enfrentar los retos energéticos.

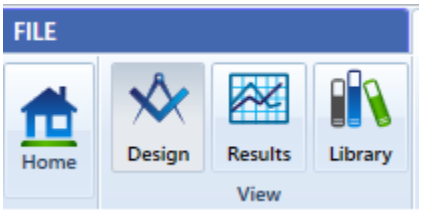
7. FUNCIONALIDADES DEL SOFTWARE HOMER PRO

HOMER Pro es una herramienta de simulación y optimización de microrredes híbridas que integra fuentes convencionales y renovables con almacenamiento y gestión de carga. Permite modelar detalladamente los componentes de generación y almacenamiento de un sistema híbrido. (Fenner, 2004)

HOMER Pro organiza la interacción del usuario a través de tres vistas principales del proyecto: Diseño (Design), Resultados (Results) y Biblioteca (Library)

Figura 4

Principales vistas del software



Nota. La imagen muestra los principales botones del software HOMER Pro. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

Vista de diseño (Design): Es la vista inicial tras abrir un proyecto. Aquí se visualiza el esquema del sistema y se pueden añadir y editar cargas, componentes y recursos. Incluye pestañas para configurar cargas (Loads), componentes (Components), recursos (Resources) y el proyecto (Project), permitiendo definir parámetros generales del sistema, verificar entradas y modificar variables de sensibilidad y optimización.

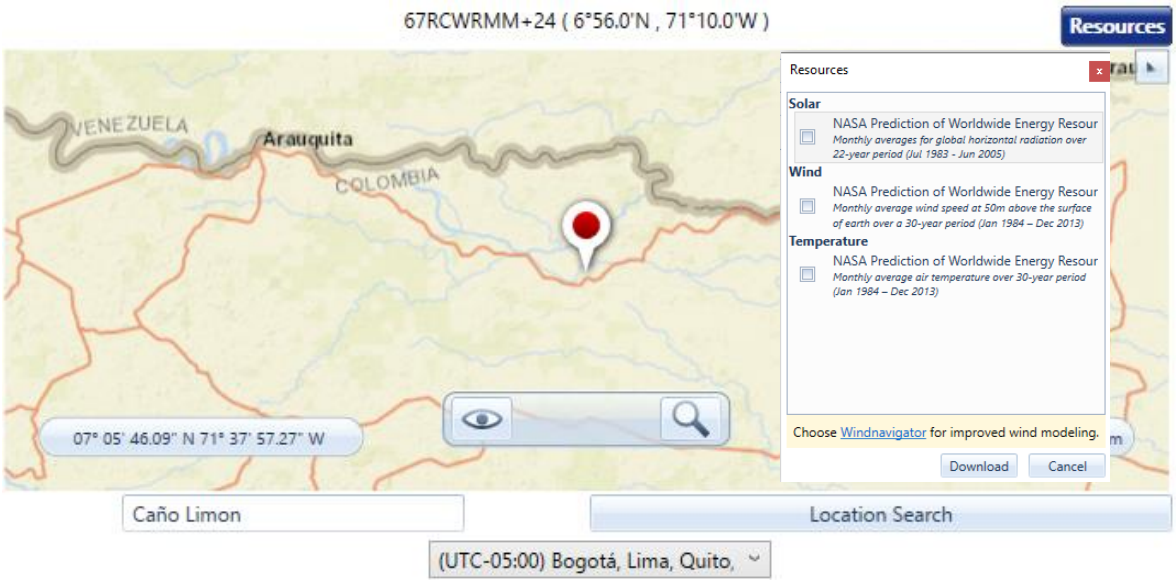
Vista de resultados (Results View): Se accede después de ejecutar el cálculo. En esta vista, se pueden revisar los resultados de las simulaciones, optimizaciones y análisis de sensibilidad. Muestra tablas de casos de sensibilidad (Sensitivity Cases) y resultados de optimización (Optimization Results). Permite investigar sistemas óptimos, comparar configuraciones y revisar detalles de simulaciones individuales haciendo doble clic en un sistema de la tabla de resultados de optimización.

Vista de biblioteca (Library View): Permite acceder a una biblioteca donde se pueden guardar definiciones personalizadas para componentes, recursos, cargas, conexiones a la red y configuraciones de simulación. Desde aquí, es posible ver, editar o crear nuevas definiciones de componentes (como almacenamiento, generadores, FV, aerogeneradores, etc.) y recursos (actualmente, principalmente combustibles).

En la ventana principal o “Home” es necesario definir la ubicación del proyecto, a través del cuadro de búsqueda como se muestra en la figura 5.

Figura 5

Ventana principal, ubicación del proyecto



Nota. La imagen muestra la ventana principal para definir la ubicación del proyecto con un ejemplo en Caño limón, Arauca-Colombia. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

La principal razón para especificar la ubicación es para poder incorporar datos de recursos energéticos específicos del sitio en la simulación. HOMER Pro utiliza esta información de ubicación para:

- Generar datos solares sintéticos, donde la latitud es un factor clave.
- Utilizar datos de recursos solares, eólicos e hídricos que son fundamentales para modelar las tecnologías correspondientes, como paneles fotovoltaicos, turbinas eólicas y sistemas hidroeléctricos.
- La ubicación también puede influir en otras variables de entrada, como el precio del combustible, que es común analizar mediante un análisis de sensibilidad debido a su impacto y la dificultad para predecir su valor futuro

Homer Pro permite descargar estos recursos por medio del botón “resources” (Figura 5) y marcando los necesarios para el proyecto desde la tabla de recursos.

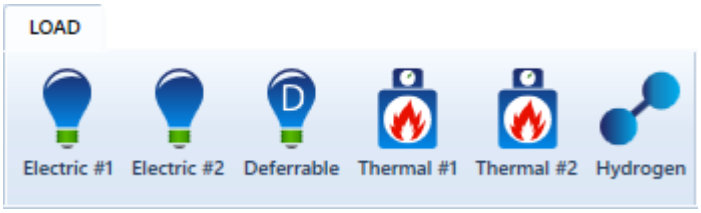
7.1 Parametrización de la carga eléctrica

En la interfaz correspondiente a *Load #1* y *Load #2* (Figura 6), el usuario puede definir la demanda eléctrica que el sistema debe satisfacer, con el propósito de minimizar o evitar la presencia de carga no suministrada. Durante cada iteración del proceso de simulación, HOMER Pro realiza la asignación óptima de los recursos generadores disponibles con el fin de cubrir la carga primaria total. En aquellos casos donde no se dispone de información detallada sobre la demanda, el software permite generar perfiles de carga mediante distintos enfoques, tal como se detalla en la sección “Añadir una carga al modelo”. Una vez creada, la carga puede ser ajustada

según las necesidades del análisis, permitiendo la edición de parámetros específicos para cada fase de la simulación.

Figura 6

Ventana de carga



Nota. La imagen muestra la ventana de selección de carga. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

7.1.1 Añadir una carga al modelo

HOMER Pro proporciona varios métodos para especificar un perfil de carga eléctrica.

- **Crear una carga sintética a partir de un perfil.**

Este método facilita la creación rápida de una carga representativa del consumo eléctrico, permitiendo ajustes según la variación estacional. El usuario puede elegir “enero” o “julio” como meses de mayor demanda, o “ninguno” para una distribución uniforme con variabilidad aleatoria.

El menú desplegable ofrece perfiles estándar: residencial, comercial, industrial, comunitario y vacío, con consumos predeterminados de 11.35, 2.620, 24.000 y 170 kWh/día, respectivamente. Estos valores pueden modificarse mediante el campo “Promedio anual escalado (kWh/día)”, adaptando la carga según las necesidades del modelo.

- **Importar una carga de un archivo de series temporales.**

Otra opción disponible en HOMER Pro consiste en importar datos de carga desde un archivo externo con formato de texto. Este archivo debe contener la secuencia de valores correspondientes a cada intervalo de simulación durante un año completo. La herramienta admite resoluciones temporales de hasta un minuto, y determina automáticamente dicha resolución según el número total de líneas del archivo. Por ejemplo, un archivo con 8.760 registros se interpreta como una serie con datos horarios (una lectura por hora durante 365 días), mientras que uno con 52.560 líneas corresponde a una resolución de 10 minutos.

Cada línea del archivo debe representar un único valor numérico, expresado en kilovatios (kW), correspondiente al promedio de carga durante un intervalo determinado. Es indispensable mantener la coherencia en la estructura del archivo, ya que HOMER Pro vincula cada valor con una etapa específica del proceso de simulación. En caso de que el archivo contenga más del 10% de registros adicionales o menos de 8.760 entradas, el programa no podrá identificar automáticamente el paso temporal, por lo que será necesario utilizar la opción “Importar y editar”.

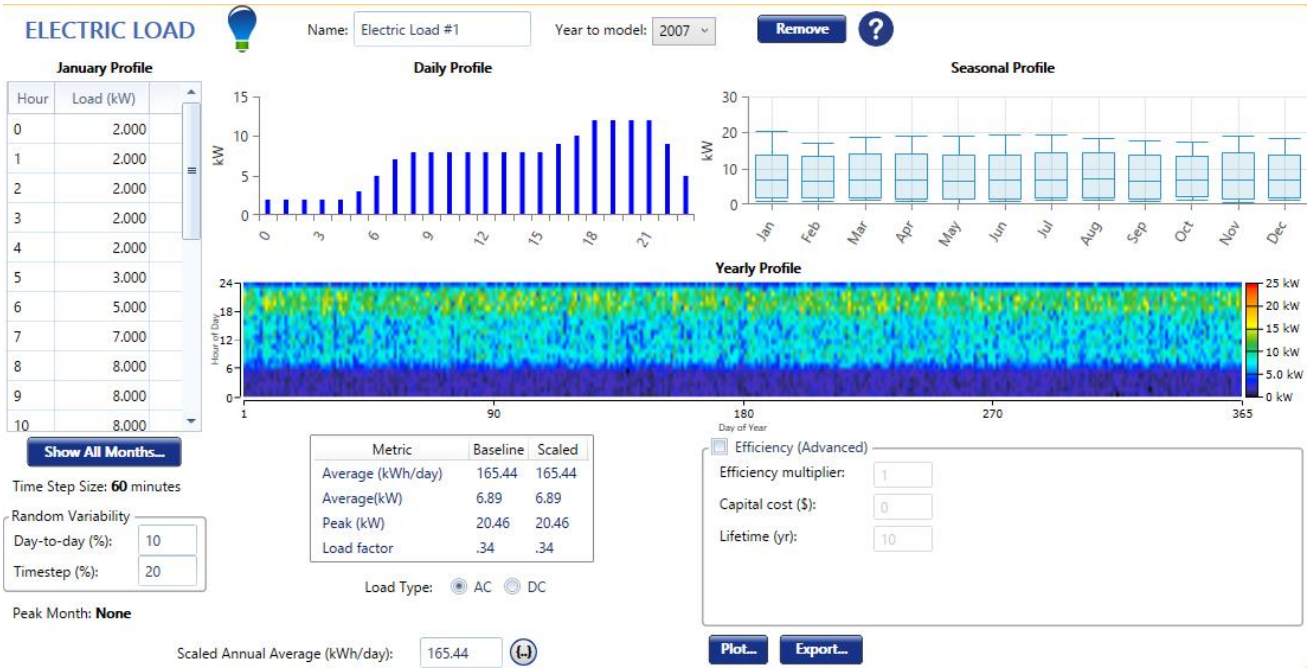
Si el archivo incluye marcas de fecha, el software ajustará la información para que la serie temporal comience el 1 de enero, preservando la secuencia cronológica de los días de la semana.

Una vez completado el proceso de importación, los datos quedan almacenados de forma interna dentro del archivo del proyecto, desvinculándose del archivo original mostrando la ventana como en la figura 7. HOMER Pro genera un perfil de carga promedio diaria a partir de los datos cargados, el cual puede visualizarse y servir de base para generar perfiles sintéticos editables.

Además, el programa es compatible con distintos formatos de archivo, como columnas con fecha y valor, registros por día en filas individuales o una sola columna de datos continuos. Esta flexibilidad facilita la utilización de información proveniente de mediciones reales o de fuentes externas.

Figura 7

Ventana de carga eléctrica



Nota. La imagen muestra la ventana una vez importados los datos del perfil de carga. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

7.1.2 Datos horarios

En la tabla se puede modificar el perfil de cada día, hora por hora. Al hacer clic sobre la opción "Mostrar todos los meses", se pueden establecer diferentes perfiles para cada día de la semana, para los fines de semana o para cualquier mes del año.

7.1.3 Datos escalados para simulación



HOMER Pro utiliza datos escalados para realizar simulaciones, ajustando los valores de referencia mediante un factor común que iguala el promedio anual al especificado en el campo

"Promedio anual escalado". Este factor se obtiene dividiendo dicho promedio entre el de referencia.

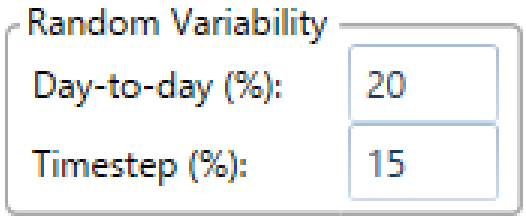
Los datos escalados mantienen las propiedades estadísticas y formales de los originales, aunque pueden variar en magnitud. Si el promedio anual escalado coincide con el de referencia, ambos conjuntos de datos son idénticos. La carga promedio se expresa en kWh/día y la carga máxima en kW.

7.1.4 Variabilidad aleatoria

La variabilidad aleatoria en HOMER Pro se caracteriza mediante dos parámetros: “Día a día” y “Fase de simulación”, como se ilustra en la Figura 8. Cuando el perfil de carga ha sido importado desde un archivo de series temporales, estos parámetros se presentan únicamente como referencia y no pueden ser modificados. En contraste, si la carga ha sido generada de forma sintética dentro del entorno del software, es posible ajustar ambos valores manualmente.

Figura 8

Ventana de edición de variabilidad aleatoria

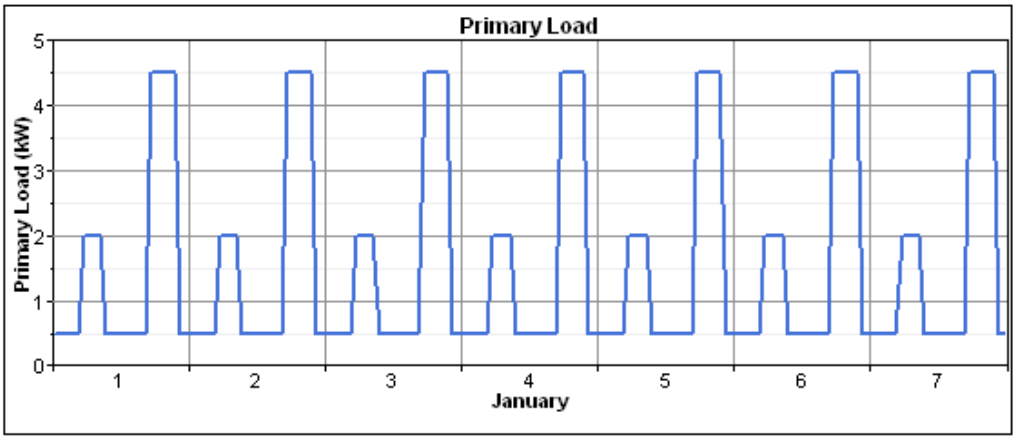


Estos parámetros permiten introducir cierto grado de aleatoriedad en los datos de carga con el objetivo de representar de manera más realista las fluctuaciones propias del consumo eléctrico. Esta herramienta resulta útil para simular escenarios más cercanos al comportamiento dinámico de una demanda real.

Para comprender mejor este concepto, puede considerarse el ejemplo representado en la Figura9, donde se muestra un perfil de carga sin ningún tipo de variabilidad incorporada. En la gráfica correspondiente a la primera semana, se observa que la curva de demanda se repite de forma exacta cada día, reflejando un comportamiento artificialmente constante que puede no representar adecuadamente una situación realista.

Figura 9

Ejemplo sin variabilidad aleatoria

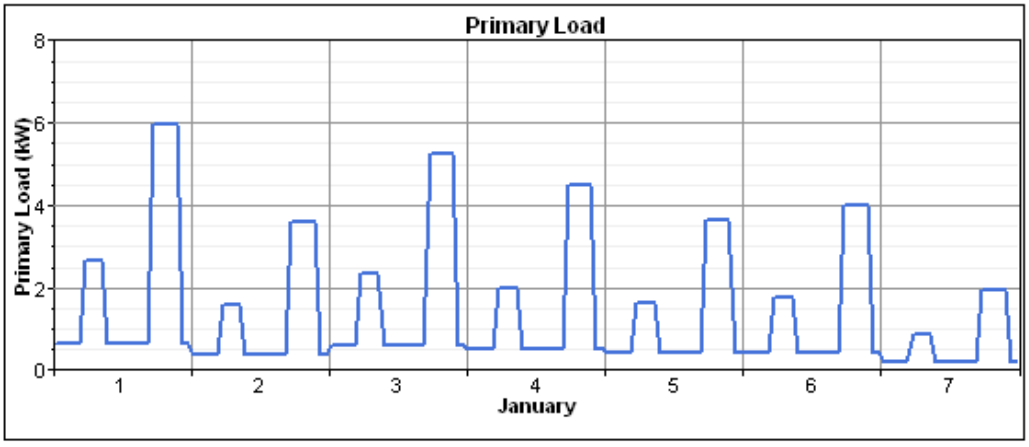


Nota. La figura muestra la gráfica de la primera semana donde el perfil de carga se repite de manera precisa. Tomado de HOMER® Pro Versión 3.7 User Manual (HOMER Energy, 2016)

En condiciones reales, tanto la magnitud como el patrón de los perfiles de carga presentan variaciones diarias. Por ello, la incorporación de un porcentaje de variabilidad resulta fundamental para representar con mayor precisión el comportamiento dinámico del consumo eléctrico. En el ejemplo ilustrado en la Figura 8, se aplica una variabilidad diaria del 20 %, lo cual permite que HOMER Pro altere aleatoriamente la magnitud del perfil de carga cada día. Aunque la forma del perfil permanece invariable, su amplitud fluctúa al alza o a la baja en función del valor aleatorio asignado. La Figura 10 presenta una representación gráfica de este comportamiento durante la primera semana del año.

Figura 10

Ejemplo con 20% de variabilidad diaria



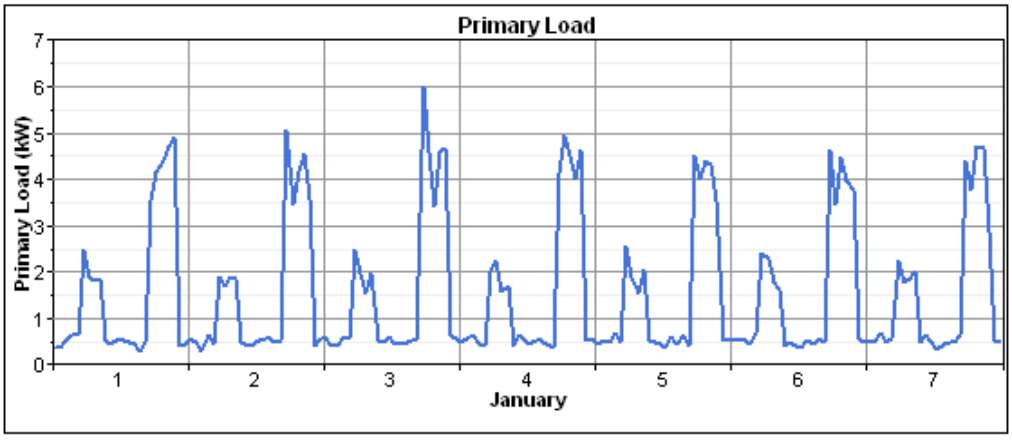
Nota. La figura muestra la gráfica de la primera semana aplicando un 20% de variabilidad día-día. Tomado de HOMER® Pro Versión 3.7 User Manual (HOMER Energy, 2016)

Este tipo de variabilidad, conocida como día a día, tiene como efecto principal la modificación aleatoria de la magnitud del perfil diario, sin alterar su estructura general.

Para evaluar el impacto de la variabilidad correspondiente a la fase de simulación (o timestep), se procede a establecer la variabilidad diaria en cero mediante la interfaz de edición (Figura 8), y se introduce un 15 % de variabilidad fase-a-fase. La Figura 11 muestra el resultado de esta configuración, evidenciando cómo el perfil de carga, durante la primera semana del año, presenta variaciones aleatorias en intervalos de simulación individuales. Esta forma de aleatoriedad proporciona una representación más detallada de las fluctuaciones de corto plazo dentro de un mismo día.

Figura 11

Ejemplo con variabilidad "timestep" de 15%



Nota. La figura muestra la gráfica de la primera semana donde el perfil de carga presenta variabilidad fase-fase del 15%. Tomado de HOMER® Pro Versión 3.7 User Manual (HOMER Energy, 2016)

La variabilidad fase-a-fase altera la forma del perfil de carga más no su tamaño. Al combinar la variabilidad día-a-día con la variabilidad fase-a-fase, podemos crear datos de carga realistas. Una variabilidad día-a-día de 20% y una variabilidad fase-a-fase de 15% de la primera semana del año se muestra en la figura 12.

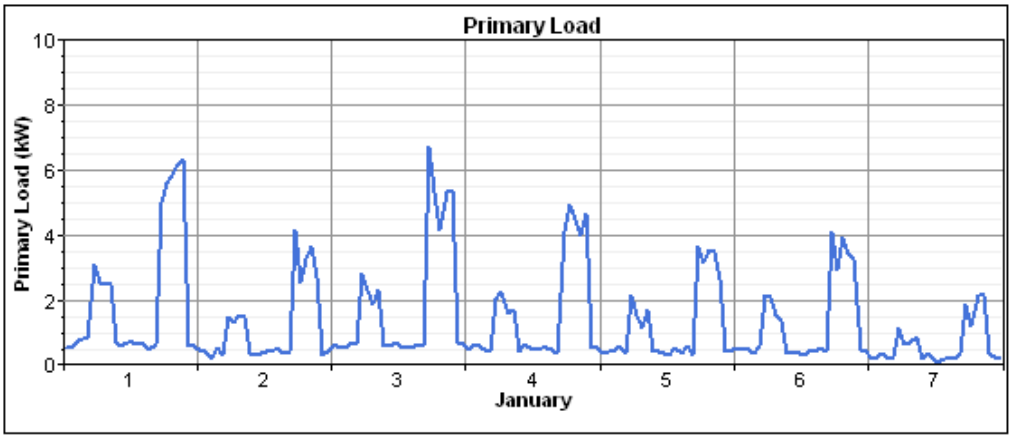
7.2 Costos

El cuadro de Costos en HOMER Pro incluye para cada tecnología renovable, fotovoltaica, eólica y de almacenamiento en baterías, el costo de inversión inicial, el costo de reemplazo al final de su vida útil y los costos anuales de operación y mantenimiento (O&M). En el caso de los sistemas fotovoltaicos (FV), se deben considerar todos los componentes asociados, como los paneles FV, el hardware de montaje, el sistema de rastreo, el cableado y la instalación, además de los dispositivos electrónicos de potencia, que pueden incluirse dentro del costo de inversión o detallarse por separado en las pestañas correspondientes. Para los aerogeneradores, los costos

deben incluir el rotor, la torre, el sistema de control, el cableado y la instalación, y el costo de O&M. En cuanto a las baterías, se deben considerar tanto los costos del convertidor como los de instalación, contemplando su inversión inicial, su eventual reemplazo y el costo anual de operación y mantenimiento.

Figura 12

Ejemplo de variabilidad



Nota. La figura muestra la gráfica de la primera semana donde el perfil de carga presenta variabilidad día-día 20% y fase-fase del 15%. Tomado de HOMER® Pro Versión 3.7 User Manual (HOMER Energy, 2016)

7.3 Curva de costos

La curva de costos en HOMER Pro permite representar cómo varían los costos de inversión, reemplazo y operación y mantenimiento (O&M) en función del tamaño o cantidad de los componentes del sistema renovable, como los sistemas fotovoltaicos (FV), los aerogeneradores y los bancos de baterías. En el caso más simple, cuando se asume que los costos son lineales y directamente proporcionales al tamaño o cantidad, basta con ingresar una sola fila en la tabla de costos con los valores por unidad: por ejemplo, $3,000/kW como inversión inicial para los FV, $2,500/kW como costo de reemplazo, y un costo de O&M igual a cero. Sin embargo, si los costos no se comportan linealmente, por descuentos por volumen, costos fijos compartidos o economías de escala, es necesario ingresar múltiples filas en la tabla. HOMER Pro interpreta estos datos mediante interpolación o extrapolación: si el sistema incluye capacidades que no están explícitamente en la tabla, HOMER Pro calcula los costos estimando entre los valores cercanos. Por ejemplo, en un sistema FV con una capacidad de 2.5 kW, se interpola entre los costos de 2 y 3 kW, y en sistemas de 6 kW se extrapola más allá de los datos ingresados. En el caso de los aerogeneradores y baterías, si cada unidad cuesta lo mismo, una sola fila de costos es suficiente y HOMER Pro multiplica los valores según la cantidad usada. No obstante, si los costos disminuyen con la compra de más unidades o si hay costos fijos adicionales, como una instalación para alojar las baterías, se deben introducir múltiples filas que reflejen estas condiciones. De este modo, HOMER Pro puede modelar de forma más precisa el comportamiento económico real de los componentes del sistema.

7.4 Espacio de búsqueda

En HOMER Pro, el espacio de búsqueda define las combinaciones posibles de capacidad o cantidad de cada componente renovable que se evaluarán durante la optimización del sistema. Para los sistemas fotovoltaicos (FV), se puede ingresar una capacidad fija en kW o múltiples valores posibles para que HOMER Pro explore diferentes configuraciones, incluyendo la opción de cero para considerar escenarios sin FV; al activar el optimizador (haciendo clic en el recuadro), se puede establecer un rango entre un límite inferior y uno superior, permitiendo que HOMER Pro determine automáticamente la capacidad óptima. En el caso de los aerogeneradores, se pueden especificar cantidades fijas o múltiples opciones, incluyendo cero para que HOMER PRO también considere soluciones sin turbinas eólicas. En cuanto a los bancos de baterías, el espacio de búsqueda se gestiona en función del número de baterías por serie: si se utiliza una sola batería por serie, HOMER Pro muestra directamente el número total de baterías a considerar; si se usan dos o más, la tabla refleja el número de series, aunque HOMER Pro siempre presenta los resultados en número total de baterías. El voltaje del bus de corriente directa (CD) también se muestra en función del número de baterías por serie, lo que ayuda a decidir la configuración adecuada del banco de baterías.

7.5 Modelado de componentes

HOMER Pro modela microsistemas de energía con múltiples fuentes (FV, viento, pequeñas hidroeléctricas, motores diésel, cogeneración, microturbinas, etc.) y almacenamiento. El usuario ingresa las características técnicas y económicas de cada componente, de modo que el programa simula su comportamiento conjunto.

7.5.1 Controlador

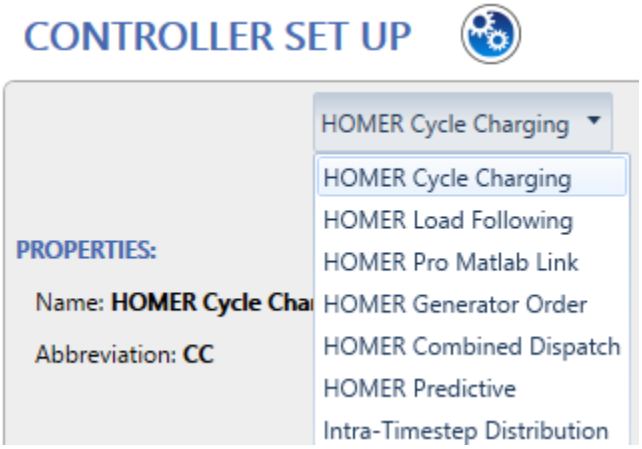
El componente *Controlador* en HOMER Pro permite definir el modo de operación del sistema durante el proceso de simulación. Cada tipo de controlador incorpora un algoritmo de control específico o una estrategia de despacho particular que determina cómo se gestionan los recursos del sistema.

Cuando se integran varios controladores en un mismo modelo, el software realiza simulaciones y procesos de optimización de manera individual para cada estrategia. Posteriormente, los resultados obtenidos se presentan de forma comparativa, lo que facilita el análisis del desempeño asociado a cada enfoque de control.

En la ventana de configuración del controlador, el software permite selecciona entre las diferentes estrategias: *Carga de ciclo*, *Seguimiento de carga*, *Enlace MATLAB*, *Orden del generador*, *Despacho combinado* o *Despacho predictivo*, como se muestra en la figura 13

Figura 13

Ventana de configuración del controlador



Nota. La imagen muestra la ventana de configuración del controlador y las diferentes estrategias disponibles. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

HOMER carga cíclica (CC): En la estrategia de carga cíclica, siempre que se requiere un generador, este opera a plena capacidad y la energía excedente se utiliza para cargar el banco de baterías. Esta estrategia suele ser óptima en sistemas con poca o ninguna fuente de energía renovable.

HOMER seguimiento de carga (LF): En la estrategia de seguimiento de carga, cuando se necesita un generador, este produce únicamente la energía necesaria para cubrir la demanda. Esta estrategia resulta óptima en sistemas con una alta penetración de energía renovable, donde frecuentemente se genera más energía de la que se demanda.

HOMER Pro MATLAB Link (ML): La función *MATLAB Link* permite desarrollar un algoritmo de despacho personalizado utilizando MATLAB. HOMER Pro se comunica con el software MATLAB para ejecutar las funciones definidas durante la simulación.

Orden del generador HOMER (GO): Bajo esta estrategia, se sigue un orden predefinido de combinaciones de generadores, utilizando la primera combinación que cumpla con la capacidad operativa requerida. Esta estrategia admite únicamente sistemas que incluyan generadores, sistemas FV, turbinas eólicas, un convertidor y/o componentes de almacenamiento.

HOMER despacho combinado (CD): La estrategia de despacho combinado busca mejorar el rendimiento en comparación con las estrategias de *Carga cíclica* y *Seguimiento de carga*, mediante un uso más eficiente del generador.

Despacho predictivo HOMER (PS): En esta estrategia, el algoritmo de despacho anticipa la demanda eléctrica y térmica, así como la disponibilidad de recursos solares y eólicos. Generalmente, esta estrategia produce menores costos operativos del sistema en comparación con otras estrategias de despacho disponibles en HOMER Pro.

7.5.2 Paneles fotovoltaicos (FV)

La ventana correspondiente al componente FV permite introducir los parámetros relacionados con el costo, el rendimiento, las características técnicas y la orientación del arreglo fotovoltaico. Además, en este espacio se pueden definir los tamaños del sistema que HOMER Pro evaluará durante el proceso de optimización para determinar la configuración más adecuada.

El componente FV puede representar tanto tecnologías fotovoltaicas de tipo panel plano como de concentración. Esta distinción se puede establecer directamente en la biblioteca del software, donde es posible indicar si el sistema fotovoltaico incorporado emplea tecnología de concentración o no.

7.5.2.1 MPPT

Un rastreador de punto de potencia máxima (o MPPT por sus siglas en inglés) es un convertidor de CD a convertidor CD que iguala el voltaje FV con el del bus de CD, mientras hace que varíe el propio voltaje del arreglo FV con el fin de maximizar la producción de energía. Los datos de entrada para MPPT son idénticos a los del inversor, los cuales se describen en la tabla 3.

7.5.2.2 Datos de entrada avanzados

La pestaña de datos de entrada avanzados contiene opciones que afectan los cálculos de la potencia de salida del arreglo FV.

Tabla 3
Descripción de las entradas avanzadas

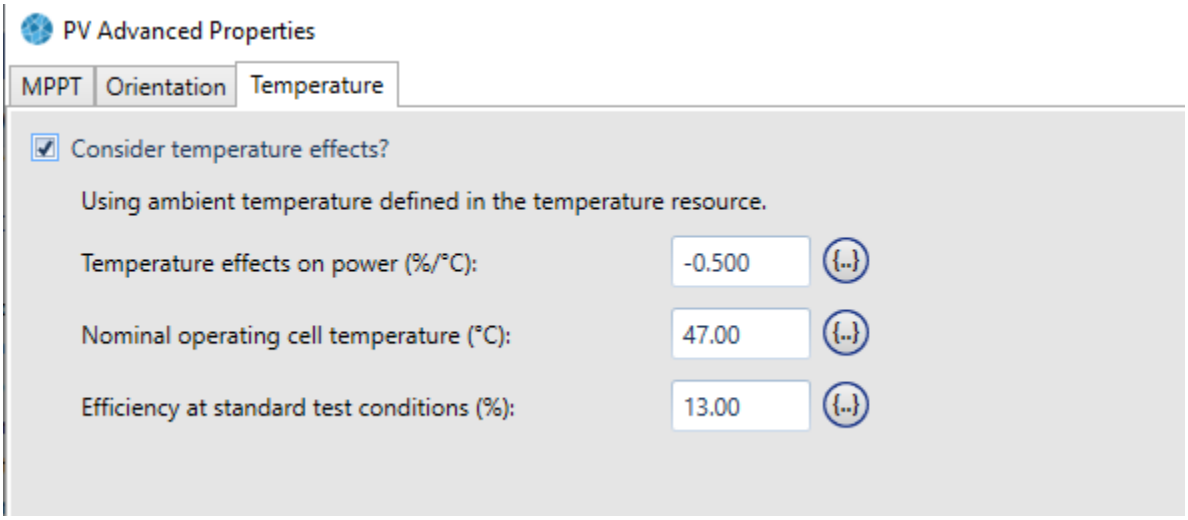
Variable	Descripción
Reflectancia del suelo	Fracción de radiación solar que se refleja al incidir en el suelo, en %.
Sistema de rastreo	Tipo de sistema de rastreo que se emplea para dirigir los paneles FV hacia el sol.
Emplear la pendiente predeterminada	Si esta entrada está seleccionada, la entrada de pendiente quedaría deshabilitada y ésta tendría que igualarse con la altitud.
Pendiente del panel	Ángulo en el que los paneles están montados, relativo al horizonte, en grados.
Emplear el azimut predeterminado	Si esta entrada está seleccionada, la entrada de azimut quedaría deshabilitada y éste tendría que ajustarse a 0 o a 180 grados para proyectos en el hemisferio norte o en el hemisferio sur, respectivamente.
Azimut del panel	Dirección hacia la que los paneles están orientados, en grados.

7.5.2.3 Temperatura

La pestaña temperatura contiene las opciones ajustar el modelo o ignorar efectos de la temperatura como se muestra en la figura 14. La descripción de las diferentes opciones se presenta en la Tabla 4.

Figura 14

Ventana de propiedades avanzadas



Nota. La imagen muestra la ventana de propiedades avanzadas del panel FV. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

Tabla 4

Descripción de las propiedades avanzadas de temperatura

Variable	Descripción
Considerar efectos de la temperatura	HOMER Pro considerará el efecto de la temperatura de la celda fotovoltaica en la potencia de salida del arreglo FV.
Coeficiente de temperatura de potencia	Número que indica qué tan fuerte es la dependencia entre la potencia de salida del arreglo FV y la temperatura de la celda, en % / grados Celsius.
Temperatura nominal operativa de la celda	Temperatura de la celda en 0.8 kW/m2 y 20°C de temperatura ambiente, en grados Celsius.
Eficiencia bajo condiciones estándar de prueba	Eficiencia del punto de potencia máxima bajo condiciones estándar de prueba, en %.

7.5.3 Aerogenerador

La ventana correspondiente al componente Aerogenerador (Wind Turbine) permite seleccionar el tipo de turbina eólica que se desea incorporar al sistema, así como definir sus costos asociados. Adicionalmente, ofrece la posibilidad de indicar la cantidad de unidades que HOMER Pro debe evaluar durante el proceso de búsqueda del sistema óptimo.

Asimismo, esta sección permite ingresar parámetros específicos del sitio de instalación, tales como los presentados en la tabla 5 correspondiente, lo cual es fundamental para obtener una simulación precisa del comportamiento del recurso eólico en el modelo.

Tabla 5

Parámetros específicos del aerogenerador

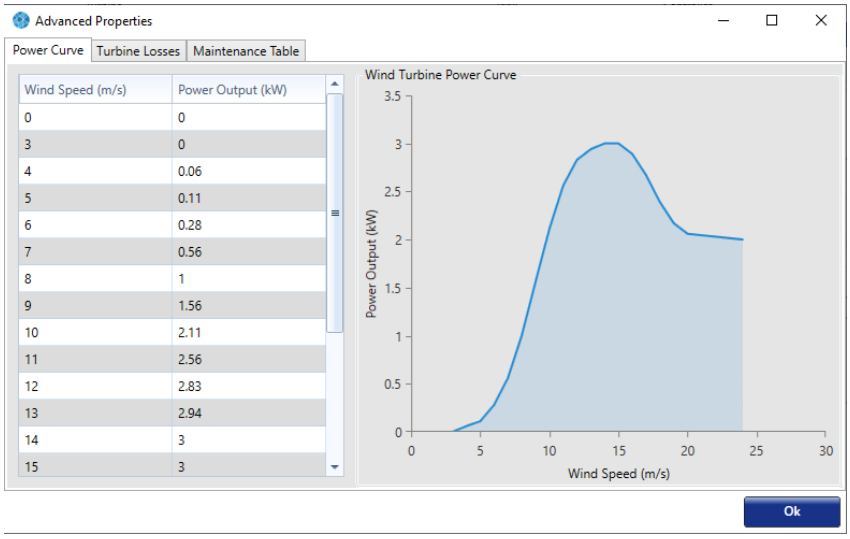
Variable	Descripción
Vida útil	Número de años que se espera que dure la turbina antes de necesitar reemplazo.
Altura del buje	La altura al nivel del suelo del buje (el centro del rotor) en metros.
¿Considerar efectos de la temperatura ambiente?	HOMER Pro compensará con temperatura el cambio en la densidad del aire. Si la opción está seleccionada, usted tendrá que definir un recurso de temperatura.

7.5.3.1 Curva de potencia

En la pestaña Curva de potencia de la ventana del componente Aerogenerador, es posible visualizar la curva de potencia correspondiente al modelo seleccionado. Esta información se presenta tanto en formato tabular como gráfico, y permite observar la cantidad de energía que puede generar la turbina en función de la velocidad del viento medida a la altura del buje, bajo condiciones atmosféricas estándar.
Además, esta herramienta permite verificar si la capacidad del aerogenerador elegido es adecuada en relación con los requerimientos del sistema, facilitando así una selección técnica más precisa durante el proceso de diseño.

Figura 15

Propiedades avanzadas del aerogenerador



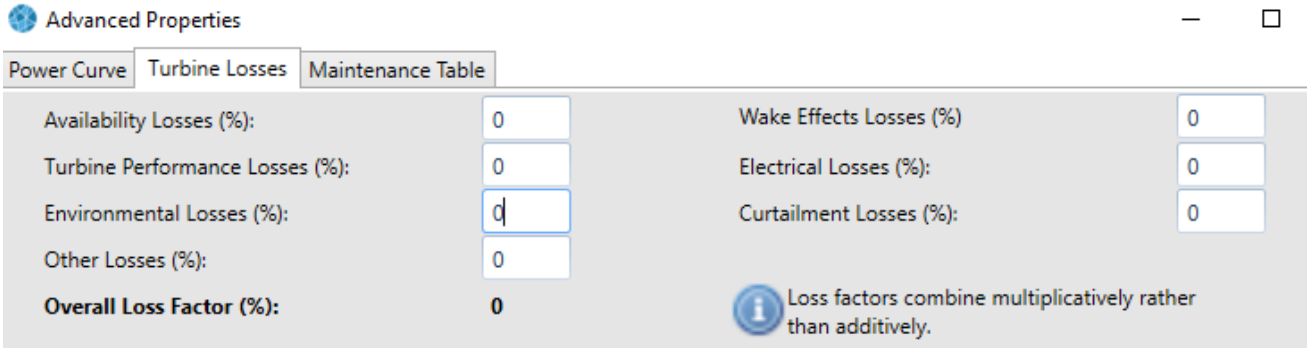
Nota. La imagen muestra la ventana de propiedades avanzadas del aerogenerador en la pestaña de curva de potencia. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

7.5.3.2 Pérdidas

La pestaña Pérdidas en las propiedades avanzadas del aerogenerador (Ver figura 16) muestra varios y diferentes factores que permiten reducir el desempeño de la turbina.

Figura 16

Ventana de pérdidas del aerogenerador



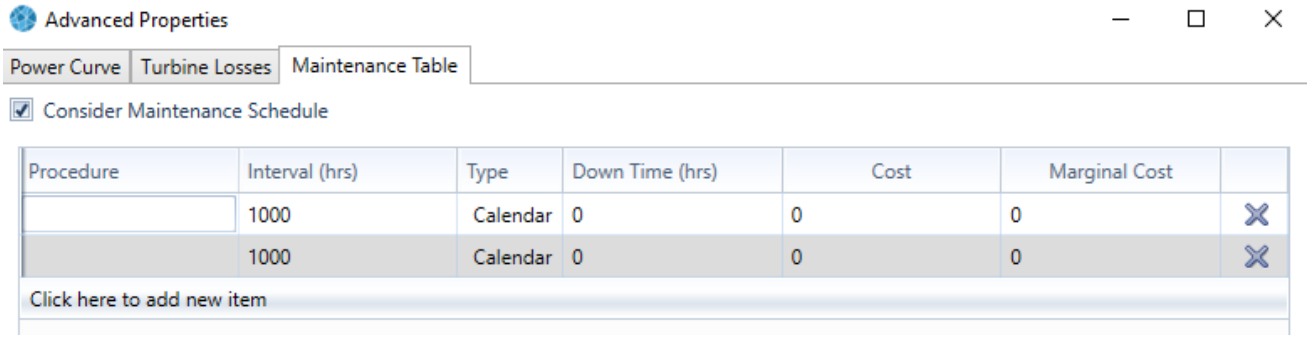
Nota. La imagen muestra la ventana de propiedades avanzadas del aerogenerador en la pestaña de pérdidas de la turbina y los diferentes factores. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

7.5.3.3 Mantenimiento

HOMER Pro puede, en la simulación, incluir el costo y el tiempo de inactividad para tareas de mantenimiento específicas, para ello se selecciona la opción "Considerar programa de mantenimiento" como se muestra en la figura 17. Si se habilita esta opción, se debe tener en cuenta los datos de entrada, encontrados en la pestaña Mantenimiento y descritos en la tabla 6.

Figura 17

Pestaña de mantenimiento del aerogenerador



Nota. La imagen muestra la ventana de propiedades avanzadas del aerogenerador en la pestaña de pérdidas de la turbina y los diferentes factores. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

Tabla 6

Datos de entrada de mantenimiento

Variable	Descripción
Procedimiento	Nombre descriptivo para el elemento de mantenimiento.
Intervalo (hrs.)	Frecuencia con la que se llevará a cabo el mantenimiento, en términos del número de horas durante las que el aerogenerador opera.
Tipo	Intervalo de mantenimiento en horas de mantenimiento o en horas calendario (total de horas incluyendo cuando la turbina de viento esta apagada)
Período de inactividad (hrs. Reales)	Número de horas que el aerogenerador debe permanecer apagado hasta que el intervalo de mantenimiento finalice.
Costo ($)	Costo del proceso de mantenimiento. Se incurrirá en este costo al final del intervalo de mantenimiento.
Costo marginal	Costo adicional agregado al evento de mantenimiento, por aerogenerador

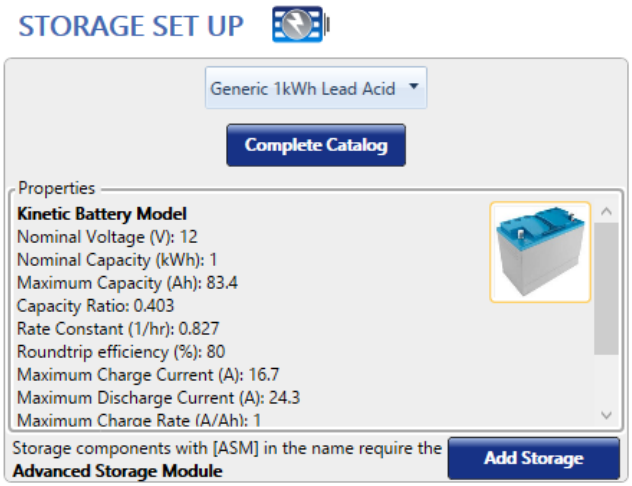
7.5.4 Batería

La ventana correspondiente al componente Batería permite seleccionar un modelo específico desde la biblioteca del software, donde se encuentran disponibles sus características técnicas y los parámetros económicos asociados como se ilustra en la figura 18. Además, HOMER Pro ofrece la posibilidad de definir nuevos modelos personalizados a través de la Biblioteca de componentes.

La elección del modelo de batería se realiza mediante un menú desplegable ubicado en la parte superior de la sección Instalación de batería. Este menú contiene la lista completa de baterías registradas en la biblioteca, facilitando así la selección del dispositivo más adecuado para el diseño del sistema.

Figura 18

Ventana de configuración de almacenamiento



Nota. La imagen muestra la ventana de propiedades avanzadas del aerogenerador en la pestaña de pérdidas de la turbina y los diferentes factores. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

Se debe oprimir el botón “Añadir batería" para agregar la batería seleccionada al modelo, al hacerlo aparecerá la página de especificación de la batería, es posible navegar en esta o más páginas de especificaciones de baterías como las de las descritas en la tabla 7.

Tabla 7

Datos de entrada de la batería

Variable	Descripción
Baterías por serie	Una serie es un conjunto de baterías conectadas en serie. El número de baterías por serie multiplicado por el voltaje nominal equivale al voltaje del bus.
Estado de carga inicial	Estado de carga de la batería al inicio de la simulación de HOMER Pro, en %.
Estado de carga mínimo	Límite menor del estado de carga del banco de baterías, en %.
Hacer cumplir la vida mínima de la batería	Habilitar el límite de vida mínima de la batería.
Vida mínima de la batería	Límite menor de la vida útil del banco de baterías (los sistemas que no cumplan con esta limitación serán calificados como no factibles).

7.5.4.1 Vida mínima de la batería

El parámetro vida mínima de la batería establece un umbral inferior para la vida útil del banco de baterías dentro del modelo. Aunque no siempre es necesario aplicar esta restricción, puede ser útil cuando se desea evitar que HOMER Pro seleccione configuraciones con una duración del banco de baterías demasiado corta, lo cual podría ser inaceptable desde el punto de vista operativo o económico.

Por ejemplo, durante el proceso de simulación, HOMER Pro podría identificar como óptima una solución en la que el banco de baterías requiere reemplazo cada 1.5 años. Si este periodo de reemplazo se considera inadecuadamente corto, el usuario puede establecer una vida útil mínima, por ejemplo, de 4 años para obligar al software a descartar dicha opción. Como resultado, HOMER Pro optará por una alternativa diferente, posiblemente con un banco de baterías de mayor capacidad. Aunque esta nueva solución pueda representar un costo total más elevado, satisfará la restricción impuesta y reflejará un compromiso más adecuado entre durabilidad y viabilidad técnica.

7.5.5 Convertidor

Cualquier sistema que contenga elementos de CA y CD requiere de un convertidor, la ventana Convertidor le permite definir los costos del convertidor, así como especificar los parámetros del inversor y del rectificador.

7.5.5.1 Datos de entrada del inversor

Un inversor convierte la electricidad de CD en electricidad de CA, el cuadro de Datos de entrada del inversor se describe en la tabla 8

Tabla 8

Datos de entrada del inversor

Variable	Descripción
Vida útil	La vida útil del inversor, en años.
Eficiencia	La eficiencia con la que el inversor convierte electricidad de CD en electricidad de CA, en %.
¿Emparejar con el generador de CA?	Seleccione este recuadro si el inversor puede operar simultáneamente con uno o más generadores de CA. Los inversores que no son capaces de funcionar de esta manera a veces reciben el nombre de inversor conmutado.

7.5.5.2 Datos de entrada del rectificador

Un rectificador convierte electricidad de CA en electricidad de CD, el cuadro de Datos de entrada del rectificador contiene las entradas descritas en la tabla 9

Tabla 9

Descripción de variables de entrada del rectificador

Variable	Descripción
Capacidad relativa	Capacidad evaluada del rectificador relativa a la del inversor, en %.
Eficiencia	Eficiencia con la que el rectificador convierte la electricidad de CA en electricidad de CD, en %.

7.5.6 Red

La Red puede agregarse como cualquier otro componente, y ésta será tratada como cualquier otra parte del sistema híbrido, si se desea un sistema no conectado a la red, entonces no será necesario agregar un componente de red.

La ventana Red permite especificar la red de diferentes maneras:

7.5.6.1 Tarifas simples

El modo de tarifas simples permite establecer un precio de energía constante, así como un precio de reventa, también es posible designar la capacidad de venta, usar el balance neto y establecer los factores de emisiones asociados a la electricidad de red.

Las tarifas de red hacen referencia a los precios asociados con comprar y vender electricidad a la red. En HOMER Pro, las tarifas de red abarcan las variables descritas en la tabla 10

Tabla 10

Parámetros de tarifas simples

Variable	Descripción
Precio de energía de red ($/kWh)	Costo de comprar energía de la red, en $/kWh.
Precio de reventa a la red ($/kWh)	Precio que le paga la empresa prestadora de servicios por la energía que usted vende a la red, en $/kWh.
Medición neta	permite calcular los costos de energía en función del consumo neto, es decir, la diferencia entre la energía que se toma de la red y la que se devuelve.
Compras netas calculadas mensualmente	Permite calcular el uso neto mensual
Compras netas calculadas anualmente	Permite calcular el uso neto anualmente

7.5.6.2 Precios en tiempo real

Para modelar precios en tiempo real, se debe crear un archivo que contenga dos columnas de datos, una para el precio de energía [$/kWh] y otra por la tarifa de reventa [$/kWh] en cada fase de simulación. El archivo de datos debe contar con una línea de datos para cada fase de simulación del año: 8,760 líneas para datos horarios, 35,040 para datos de 15 minutos, 52,560 para datos de 10 minutos, y así sucesivamente. El archivo no puede contener ninguna información o encabezado, por lo que cada línea del archivo sólo debe contener dos números separados por comas o pestañas.

7.5.6.3 Cobros adicionales, capacidades y limitaciones

Las opciones de parámetros de control descritos en la tabla 11, influyen en la compra y venta de energía a la red por parte del sistema.

Tabla 11

Parámetros de control

Control	Descripción
Prohibir que la red rebase la carga de la batería sobre el precio de energía.	Si la opción está habilitada, previene que la red cargue la batería si el precio de energía de la red está por encima del valor especificado.
Prohibir que cualquier batería se cargue por encima del precio de energía	Si la opción está habilitada, previene que cualquier batería se cargue si el precio de energía de la red está por encima del valor especificado.
Prohibir que la red descargue la batería por debajo del precio de energía	Si la opción está habilitada, previene la descarga de la batería a la red si el precio de energía de la red está por debajo del valor especificado.
Prohibir ventas de energía a la red desde la batería por debajo de la tarifa de reventa	Si la opción está habilitada, previene ventas de energía a la red desde la batería si la tarifa de reventa de red está por debajo del valor especificado.
Prohibir cualquier venta de energía a la red por debajo de la tarifa de reventa	Si la opción está habilitada, previene que se haga cualquier tipo de venta a la red si la tarifa de reventa está por debajo del valor especificado.

Estas opciones permiten establecer diferentes cuotas y límites como se describen en la tabla 12.

Tabla 12

Diferentes cobros de red

Variable	Descripción
Cobro por interconexión	Cuota de una sola vez asignada por la empresa de servicios públicos por permitir que el sistema de energía esté conectado a la red, en $ (esta cuota no aplica en sistemas únicamente conectados a la red)
Cobro por respaldo de red	Cuota anual asignada por la empresa de servicios públicos por proporcionar energía de respaldo de red para sistemas conectados a ella, en $/año. (esta cuota no aplica en sistemas únicamente conectados a la red).
Capacidad de venta	Tarifa máxima de energía para su reventa a la red, en kW.
Compras netas máximas a la red	Cantidad máxima de energía que puede tomarse de la red, en kWh/año.

7.5.6.4 Tarifas programadas

La funcionalidad de tarifas programadas en HOMER Pro permite establecer precios variables de acuerdo con un cronograma definido, el cual puede estar basado en la hora del día, el mes del año, puedes ser los días de la semana o los fines de semana. Para definir la estructura de un precio programado se debe añadir una o más tarifas a la tabla de precios, especificando las propiedades para cada tarifa y definiendo el programa en la tabla de tarifas de red, también puede establecer opciones adicionales. A continuación, se explica el procedimiento para definir las tarifas:

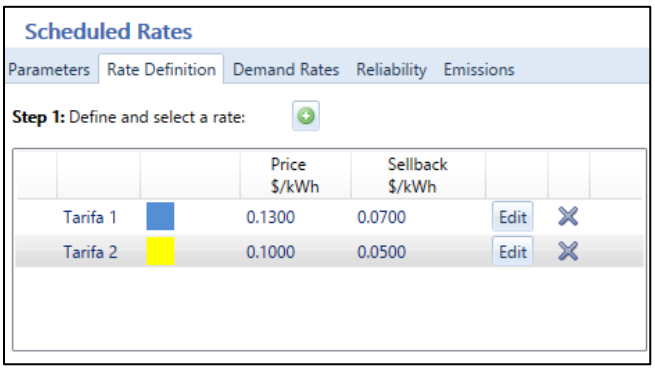
7.5.6.5 Tabla de tarifas

Se pueden definir múltiples tarifas y emplear el diagrama del programa para indicar cuando aplica cada una de éstas; cada tarifa tiene valores diferentes de precios de energía, tarifa de reventa, y tarifa de demanda. Se pueden modificar las propiedades de una tarifa en la tabla agregando una tarifa nueva. Para programarla, oprima y arrastre la fila sobre la tabla del programa mientras dicha fila está resaltada.

En situaciones donde los precios de energía y las tarifas asociadas no varían con el tiempo, como es común en el sector residencial, basta con definir una única tarifa, lo que equivale al modo de tarifas simples. No obstante, cuando estas tarifas fluctúan según la hora del día o el periodo del año, será necesario configurar múltiples tarifas. En la figura 19 se ejemplifica esta funcionalidad mediante la definición de dos tarifas distintas, cada una con valores específicos para energía, reventa y demanda.

Figura 19

Ventana de definición de tarifas



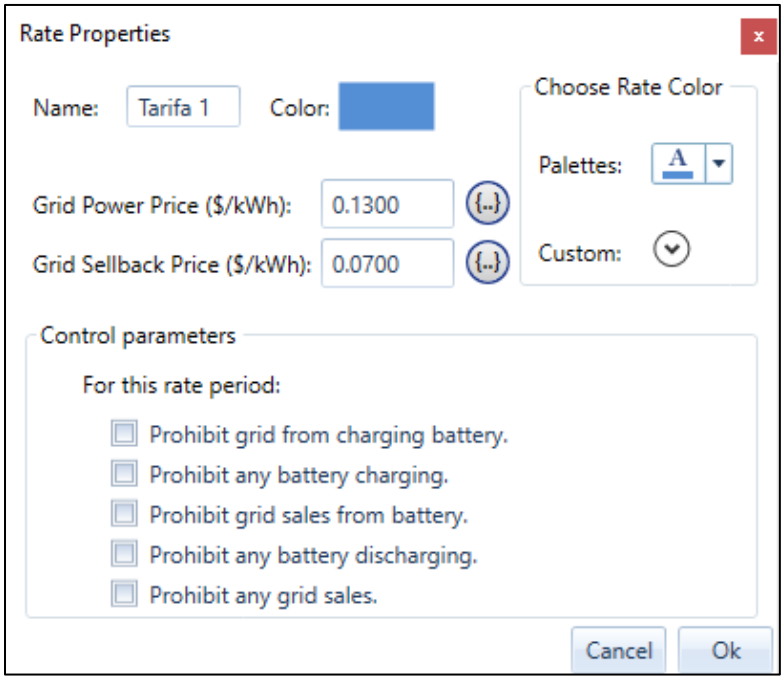
Nota. La imagen muestra la ventana en donde se definen las tarifas, con un ejemplo simple. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

7.5.6.6 Propiedades de las tarifas

Cada tarifa está definida en la ventana de Rate propeties (propiedades de tarifas) como se muestra en la figura 20. Por medio del botón "**edit"** se puede acceder al menú de propiedades de tarifas.

Figura 20

Propiedades de tarifas



Nota. La imagen muestra la ventana en donde se ajustan las diferentes propiedades de las tarifas. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

Esta ventana (Figura 20) permite ver y editar las propiedades de una tarifa de red, incluyendo las descritas en la tabla 13

Tabla 13

Propiedades de tarifas de red

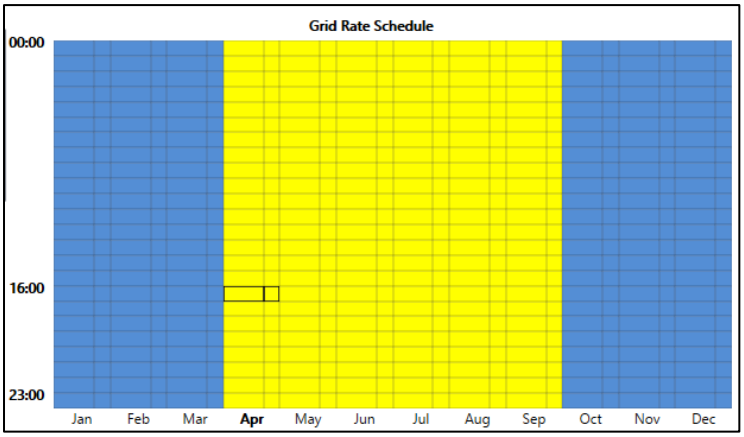
Variable	Descripción
Nombre	Nombre que HOMER Pro usa para identificar la tarifa.
Precio de la energía	Costo de comprar energía a la red, en $/kWh.
Tarifa de reventa	Precio que la empresa prestadora de servicios le paga por la energía que usted venda a la red, en $/kWh. Bajo el balance neto, la tarifa de reventa sólo aplica a la generación excedente neta.
Tarifa de demanda	Cuota mensual cobrada por la empresa prestadora de servicios por la demanda pico mensual, en $/kW/mes.

7.5.6.7 Programa

En la figura 21 se puede ver la tabla que muestra los horarios para cada tarifa, si se definen varios precios, se debe oprimir una casilla y arrastrar en la gráfica de tarifas programadas para indicar cuando cada precio está activo. Para el ejemplo de la figura 19 'Tarifa 2' es para todos los días de abril a septiembre y 'Tarifa 1' es para el resto del tiempo.

Figura 21

Cronograma de tarifas



Nota. La imagen muestra la ventana del calendario de tarifas con ejemplo simple. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

7.5.6.8 Extensión de red

Esta opción debe utilizarse cuando se desea evaluar la extensión de la red eléctrica como una alternativa frente a sistemas autónomos. HOMER Pro realizará una comparación entre el costo asociado a la ampliación de la red y el costo total de cada configuración de sistema autónomo que se haya modelado. Para cada configuración de sistema autónomo, HOMER Pro calculará la distancia de extensión uniforme de red, la cual es la distancia de la red en la que el costo actual neto de extensión de red es igual al costo actual neto total de un sistema autónomo. Las variables que el software solicita para extensión de red se describen en la tabla 14

Tabla 14

Variables utilizadas en extensión de red

Variable	Descripción
Costo de inversión	Costo de inversión inicial de extensión de red, en $/km.
Costo de O&M	Costo anual de mantenimiento de extensión de red, en $/año/km.
Precio de energía de red	Precio de la electricidad de la red, en $kWh.

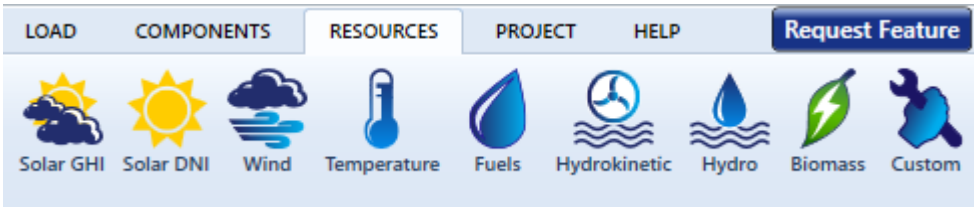
7.6 Modelado de recursos renovables

HOMER Pro requiere perfiles de recurso renovable detallados. El usuario puede importar datos climáticos horarias (radiación solar, velocidad del viento, temperatura) o promedios mensuales (por ejemplo, serie meteorológica típica) para el sitio de estudio. A partir de estos datos y de las especificaciones del panel FV o aerogenerador, el software calcula la generación renovable horaria. De esta forma se evalúa la contribución real de las fuentes renovables al abastecimiento de carga.

En HOMER Pro, un "Recurso" se define como cualquier elemento que proviene del exterior del sistema (HOMER Energy, 2016). La interfaz ofrece botones específicos para cada tipo de recurso (Figura 22), facilitando su configuración.

Figura 22

Ventana de recursos disponibles



Nota. La imagen muestra la ventana de recursos disponibles dentro del software. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

Los principales recursos disponibles y los componentes asociados son:

7.6.1 Solar GHI resource (Irradiación global horizontal)

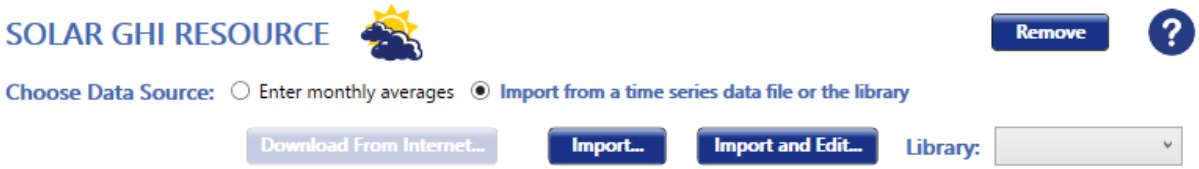
Utilizado para paneles fotovoltaicos planos (FV Flat Panel). El Recurso Solar GHI es indispensable para calcular la producción de energía de los arreglos fotovoltaicos de paneles planos. El GHI es la suma de la radiación directa, difusa y reflejada.

Para configurar este recurso, es importante especificar la ubicación del proyecto, ya sea seleccionándola en el mapa de la página de inicio o ingresando manualmente la latitud y longitud como se muestra en la figura 5. La ubicación es clave para los cálculos de potencia fotovoltaica.

La base de datos de referencia para este recurso es una serie de tiempo anual que representa la radiación solar promedio en una superficie horizontal, generalmente expresada en kWh/m² para cada paso de tiempo del año. HOMER Pro muestra los promedios mensuales de radiación e índice de claridad. Existen dos métodos principales (Figura 23) para obtener esta data base.

Figura 23

Selección del recurso GHI



Nota. La imagen muestra las opciones para elegir los datos del recurso solar GHI (Irradiación Global Horizontal). Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

Ingresar promedios mensuales: Se pueden ingresar manualmente los valores promedio mensuales de radiación solar (en kWh/m² por día) a través de la tabla de radiación solar mensual que se muestra en la figura 24 o descargarlos automáticamente desde el sitio web de HOMER Pro Energy basándose en la ubicación especificada. Una vez ingresados los 12 valores mensuales, HOMER Pro sintetiza 8,760 valores de radiación (uno por cada hora del año) utilizando el algoritmo de Graham, lo que permite simular una variabilidad diaria y horaria realista.

Importar datos de una serie de tiempo: Permite importar un archivo de texto con datos de radiación solar para cada paso de tiempo de un año completo a través del botón “Import…” o “Import and Edit…” (Figura 23). El archivo debe contener un único valor (en kW/m²) por línea, comenzando a medianoche del 1 de enero. HOMER Pro puede detectar pasos de tiempo de entre 1 y 60 minutos, basándose en el número de líneas del archivo (por ejemplo, 8760 líneas para datos horarios, 52,560 para datos de 10 minutos). Al importar, HOMER Pro crea una copia interna del archivo y no se refiere más al archivo original; cualquier modificación requiere una nueva importación.

Figura 24

Promedios mensuales para el recurso GHI



Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m²/day)
Jan	0.577	5.810
Feb	0.577	5.990
Mar	0.550	5.780
Apr	0.561	5.720
May	0.588	5.680
Jun	0.623	5.800
Jul	0.621	5.860
Aug	0.592	5.870
Sep	0.574	5.930
Oct	0.587	6.080
Nov	0.581	5.860
Dec	0.581	5.760

Annual Average (kWh/m²/day): 5.85

Nota. La imagen muestra la tabla para editar los promedios mensuales. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

Datos escalonados para simulación (Scaled Data for Simulation): HOMER Pro utiliza datos escalonados para realizar los cálculos. Esto implica multiplicar cada valor de los datos de referencia por un factor común de manera que el promedio anual resultante sea igual al valor especificado como "Scaled Annual Average". Este factor se calcula dividiendo el "Scaled Annual Average" por el promedio anual de los datos de referencia. Los datos escalonados conservan la forma y características estadísticas de los datos de referencia original, pero su magnitud puede variar. Por defecto, el "Scaled Annual Average" es igual al promedio anual de los datos de referencia, en cuyo caso los datos escalonados son idénticos a los datos de referencia. Un valor de cero indica que no hay recurso solar.

Existen dos razones principales para utilizar un "Scaled Annual Average" diferente:

- Conversión de unidades: Permite ajustar los datos importados que puedan estar en unidades diferentes (ej. Wh/m² en lugar de kWh/m²). Por ejemplo, si el promedio anual de los datos de referencia es 4800 Wh/m², se ingresa 4.8 en "Scaled Annual Average" para que los datos escalonados estén en kWh/m².
- Análisis de sensibilidad: Permite evaluar el impacto de la variación del recurso solar en el sistema. HOMER Pro ofrece un botón de sensibilidad (Figura X) junto a este campo para realizar análisis con múltiples valores.

7.6.2 Solar DNI resource (Irradiación directa normal)

Utilizado para paneles fotovoltaicos de concentración (PV Concentrating). El recurso solar DNI se utiliza exclusivamente para calcular la producción de energía de los paneles fotovoltaicos de concentración. Estos sistemas utilizan ópticas para concentrar la radiación solar y solo capturan la radiación directa (beam radiation), no los componentes difusos o reflejados.

Para los paneles planos, se debe usar el recurso solar GHI. Al igual que con el GHI, es necesario especificar la ubicación.

A diferencia del recurso GHI, el recurso DNI requiere la importación de un archivo de datos de serie de tiempo; no se pueden ingresar promedios mensuales para sintetizar datos. El proceso de importación es similar al del GHI: se prepara un archivo de texto con valores (en kW/m²) para cada paso de tiempo de un año (un solo valor por línea), se importa el archivo y HOMER Pro hace una copia interna de los datos.

El concepto de "Scaled Data for Simulation" y sus aplicaciones para conversión de unidades y análisis de sensibilidad son idénticos a los del Recurso GHI.

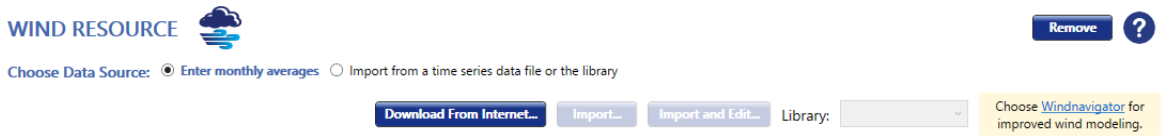
7.6.3 Wind resource (Viento)

Utilizado para aerogeneradores (Wind Turbine). El Recurso de Viento describe el viento disponible para un aerogenerador y es utilizado por HOMER Pro para calcular su producción de energía en cada paso de tiempo.

Los datos de referencia para el recurso de viento son una serie de tiempo anual de la velocidad promedio del viento en metros por segundo. Se pueden crear los datos base de tres maneras (Figura 25)

Figura 25

Selección del recurso del viento



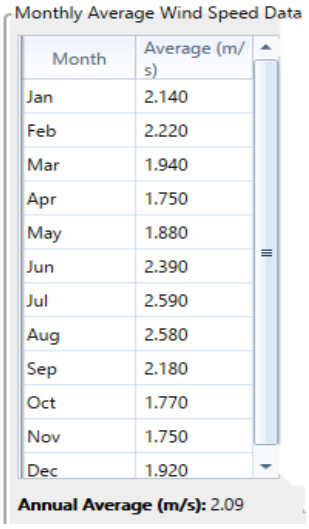
Nota. La imagen muestra las opciones para elegir los datos del recurso del viento. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

Descargar datos del sitio web de HOMER Pro Energy: Se pueden descargar promedios mensuales o datos completos de serie de tiempo. Al descargar, HOMER Pro automáticamente establece la altura del anemómetro y, para algunas regiones, los cuatro parámetros avanzados.

Ingresar promedios mensuales: Se ingresan manualmente los 12 valores promedio mensuales de velocidad del viento (m/s) (Figura 26). HOMER Pro sintetiza una serie de tiempo con las características estadísticas especificadas. Se pueden editar manualmente los parámetros avanzados.

Figura 26

Promedios mensuales para el recurso del viento



Nota. La imagen muestra las opciones para elegir los datos del recurso del viento. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

Importar datos de una serie de tiempo: Se importa un archivo de texto con la velocidad del viento para cada paso de tiempo de un año. El archivo debe contener un valor (en m/s) por línea, comenzando a medianoche del 1 de enero. Al importar, HOMER Pro copia los datos, calcula los promedios mensuales y los parámetros avanzados (mostrándolos como solo lectura).

El concepto de "Scaled Data for Simulation" también aplica al recurso de viento. Permite escalar los datos de los datos de referencia para que el promedio anual coincida con un valor especificado. Esto es útil para conversión de unidades (ej. de km/h a m/s) o análisis de sensibilidad. Un promedio anual escalado de cero implica que no hay recurso de viento.

7.6.4 Temperature resource (Temperatura)

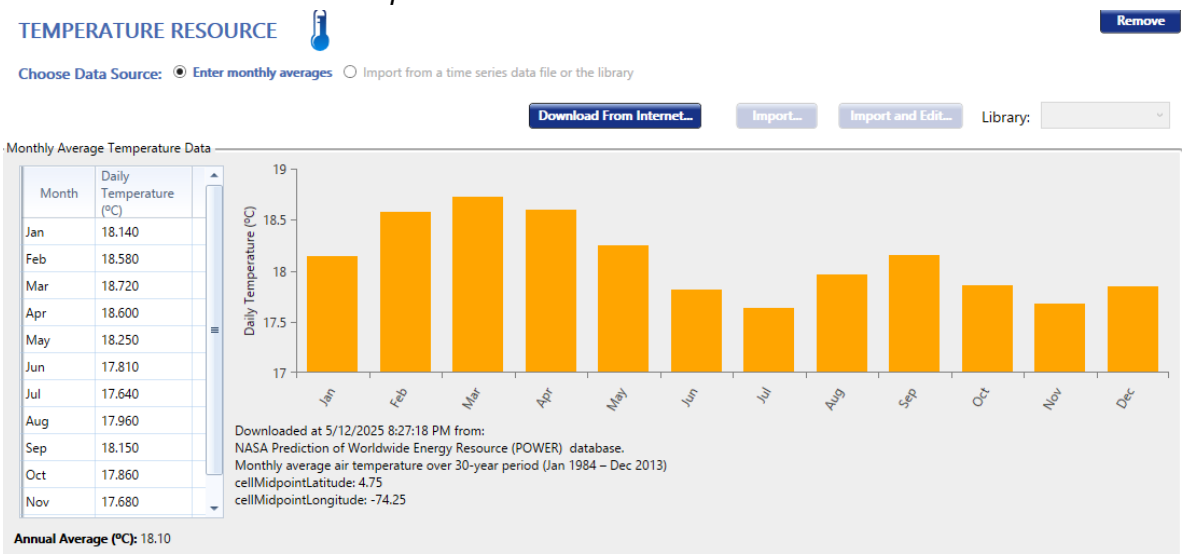
Utilizado para paneles fotovoltaicos (FV) y aerogeneradores (Wind Turbine), especialmente si se considera el efecto de la temperatura. El Recurso de Temperatura permite especificar la temperatura ambiente a lo largo del año, la cual afecta el cálculo de la temperatura de la celda fotovoltaica y puede ser considerada en el modelo del aerogenerador. Los datos de referencia son una serie de tiempo de la temperatura promedio para cada paso de tiempo del año.

Los métodos para crear los datos de referencia son:

Ingresar promedios mensuales: Se ingresan o descargan desde el sitio web de HOMER Pro los 12 valores promedio mensuales como se muestra en la figura 27. HOMER Pro crea una serie de tiempo de 8,760 valores asumiendo una temperatura constante durante cada mes, igual al promedio mensual. Aunque importar una serie de tiempo es más preciso.

Figura 27

Promedios mensuales de temperatura

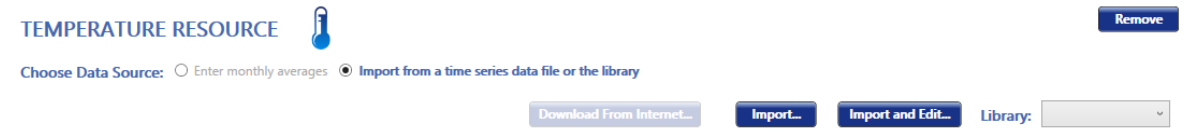


Nota. La imagen muestra las opciones para elegir los datos del recurso del viento. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

Importar datos de una serie de tiempo: Se importa un archivo de texto con la temperatura (en °C) para cada paso de tiempo del año como se muestra en la figura 28. El archivo debe contener un valor por línea, comenzando el 1 de enero. HOMER Pro puede detectar pasos de tiempo de entre 1 y 60 minutos.

Figura 28

Ventana para importar recurso de temperatura



Nota. La imagen muestra las opciones para importar el recurso de temperatura. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

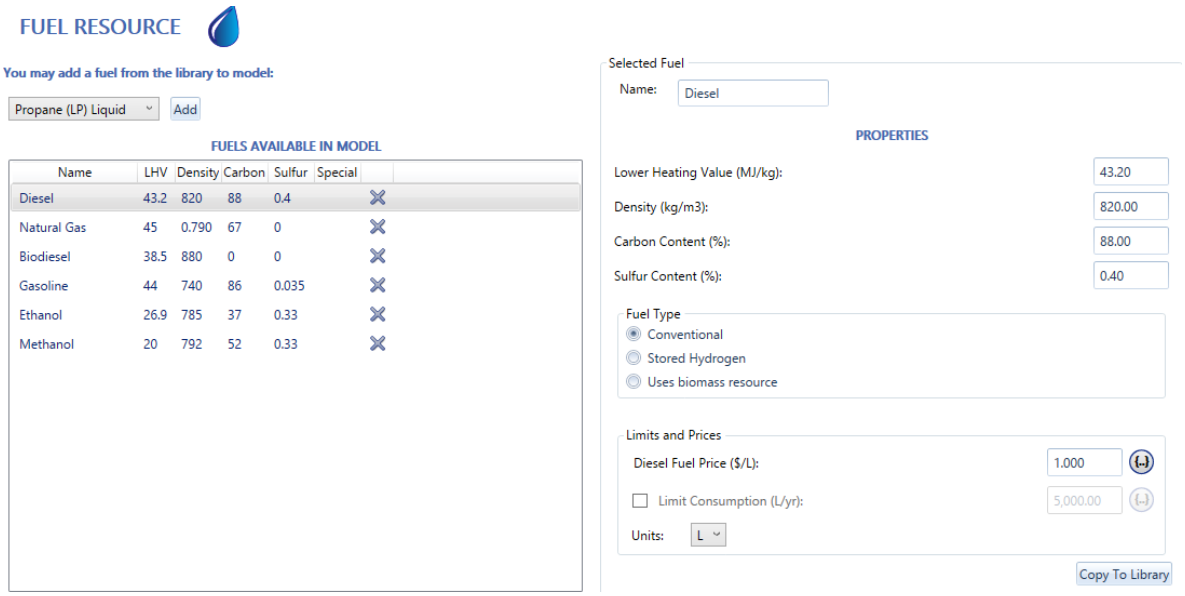
Si se especifica un "Scaled Annual Average" diferente al promedio de los datos de referencia, HOMER Pro desplaza (offset) los datos de temperatura para que correspondan al nuevo promedio anual. El escalado de datos también es útil para conversión de unidades (ej. de °F a °C) o análisis de sensibilidad.

7.6.5 Fuel resource (Combustible)

Utilizado para generadores, calderas y reformadores. El combustible por defecto es diésel, pero se pueden seleccionar otros combustibles de una biblioteca o definir combustibles personalizados como se muestra en la figura 29. Cuando se añade un componente que usa combustible, HOMER Pro crea una copia del combustible de la biblioteca en el modelo.

Figura 29

Ventana recurso de combustible



Nota. La imagen muestra la ventana para elegir y configurar el recurso de combustible. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

La página Fuel resource (Figura 29) permite agregar, eliminar o modificar combustibles. Para cada combustible, se configuran diversas propiedades:

- Name: Nombre único.
- Lower Heating Value (LHV): Energía liberada por kg de combustible (MJ/kg).
- Density: Densidad (kg/m³).
- Carbon Content (%): Contenido de carbono en masa (%).
- Sulfur Content (%): Contenido de azufre en masa (%).
- Fuel Type: Puede ser Conventional (comprado externamente), Stored Hydrogen (producido por electrolizador/reformador y solo usado por componentes conectados al bus de hidrógeno), o Uses biomass resource (producido por el recurso de biomasa).
- Fuel Price: Precio por unidad. Se puede definir un precio por defecto para el escenario.
- Limit Consumption: Permite limitar la cantidad total de combustible disponible para componentes (excepto para Stored Hydrogen y Uses biomass resource).
- Units: Unidades preferidas (Litros, kg, o metros cúbicos).

7.6.6 Biomass resource (Biomasa)

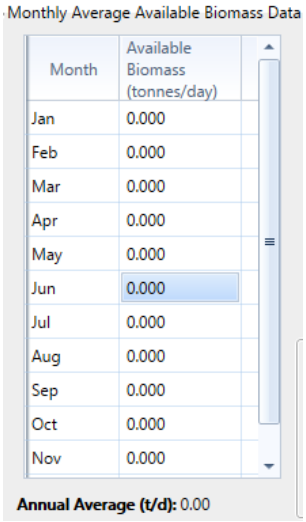
Utilizado para generadores de biogás. Este recurso, parte del módulo “Biomass”, describe la disponibilidad de materia prima de biomasa. HOMER Pro asume que la biomasa se introduce en un gasificador para crear biogás, el cual es consumido por generadores de biogás. La disponibilidad de biomasa puede limitar la operación del generador. La conversión de biogás a biomasa requerida se realiza utilizando una "gasification ratio". La biomasa no utilizada en un paso de tiempo se guarda para uso futuro.

Los datos de referencia es una serie de tiempo anual de la disponibilidad promedio de biomasa (kilogramos) para cada paso de tiempo. Se puede crear los datos de referencia de dos maneras:

Sintetizar datos a partir de promedios mensuales: Ingresar 12 valores promedio mensuales de disponibilidad de biomasa (tonnes per day) como en la figura 30. HOMER Pro crea una serie de tiempo de 8,760 valores asumiendo disponibilidad constante durante cada mes.

Figura 30

Promedios mensuales recurso de biomasa

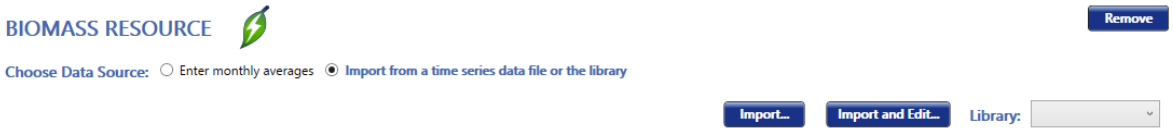


Nota. La imagen muestra la tabla para editar los promedios mensuales de Biomasa. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

Importar datos de una serie de tiempo: Importar un archivo de texto (Figura 31) con la disponibilidad de biomasa (kilogramos) para cada paso de tiempo de un año. El formato del archivo es estándar.

Figura 31

Opciones para importar el recurso de biomasa

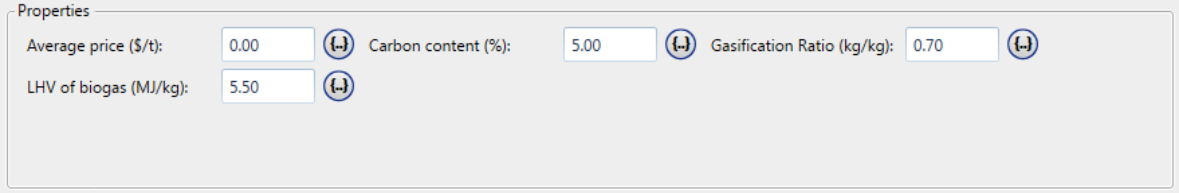


Nota. La imagen muestra las opciones para importar los datos de serie de tiempo del recurso de Biomasa. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

Además de la disponibilidad temporal, se definen otras propiedades para el recurso de biomasa como se muestran en la figura 32.

Figura 32

Propiedades del recurso de biomasa



- Average price ($/t): Costo promedio por tonelada.
- Carbon content (%): Contenido de carbono en masa (%).
- Gasification ratio (kg/kg): Relación de biogás generado por biomasa consumida.
- LHV of biogas (MJ/kg): Poder calorífico inferior del biogás.

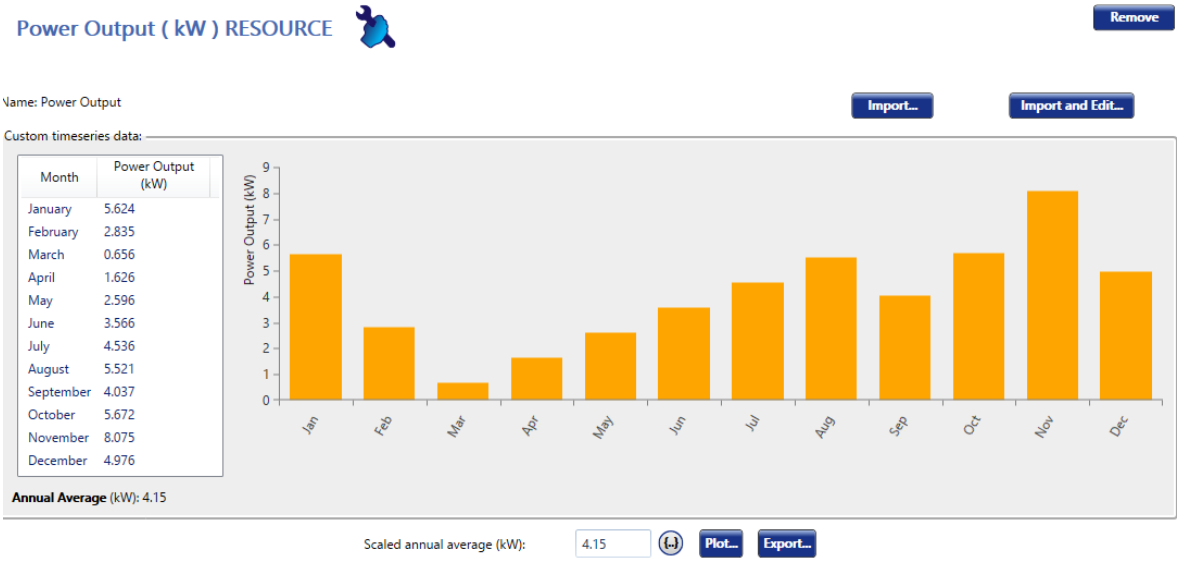
7.6.7 Custom resource (recurso personalizado)

El recurso personalizado se utiliza para calcular la potencia de salida de un componente personalizado. También puede usarse para fuentes de energía no despachables (sobre las que no se tiene control), como FV, Eólica e Hidroeléctrica, si se desea importar datos de salida de potencia generados por software externo.

Para este recurso, solo se permite la importación de datos de serie de tiempo. El archivo de datos debe contener la potencia de salida (en kW) para cada paso de tiempo de un año. Es crucial que las unidades en el archivo coincidan con las definidas para el Componente Personalizado. HOMER Pro maneja la importación de manera similar a los demás recursos, en la figura 33 se presenta un ejemplo de importación.

Figura 33

Ventana de recurso personalizado



Nota. La imagen muestra las opciones para importar los datos de serie de tiempo del recurso personalizado y muestra un ejemplo del resultado de importación. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

El escalado de datos se utiliza para ajustar el promedio anual de la potencia de salida importada. Esto es útil para conversión de unidades o análisis de sensibilidad. Un promedio anual escalado de cero indica que no hay recurso

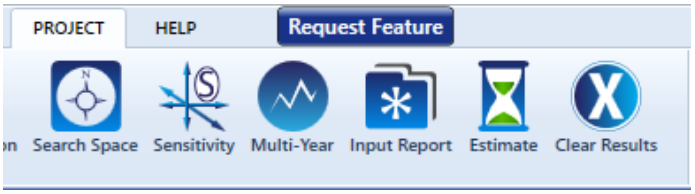
7.7 Análisis de sensibilidad en HOMER Pro

El análisis de sensibilidad en HOMER Pro permite evaluar cómo afectan las incertidumbres en ciertas variables de entrada a los resultados de la simulación. Este tipo de análisis es fundamental cuando no se conoce con exactitud el valor de una variable, o cuando se desea estudiar diferentes escenarios posibles sin necesidad de ejecutar múltiples modelos por separado.

Para realizarlo a través de la pestaña de proyecto (Figura 34), el usuario selecciona una o más variables clave (como velocidad del viento, precio del combustible, tasa de interés, entre otras) e ingresa una serie de valores posibles para cada una. HOMER Pro luego ejecuta múltiples simulaciones, combinando estos valores de forma automática, y presenta cómo varían las soluciones óptimas según cada combinación.

Figura 34

Pestaña de proyecto



Nota. La imagen muestra la ventana de proyecto desde donde se pueden seleccionar las variables de sensibilidad a través del botón “sensitivity”. Tomado como recorte desde el software Homer Pro V3.18.4

Este análisis permite:

- Identificar qué variables tienen mayor impacto en los resultados (por ejemplo, en el costo nivelado de energía).
- Priorizar la recolección de datos más precisos para las variables más influyentes.
- Aplicar un solo modelo a múltiples sitios o escenarios con condiciones similares, pero no idénticas.

Los resultados se presentan en formato tabular o gráfico. Una herramienta común es el gráfico, que muestra visualmente qué variables afectan más al resultado. HOMER Pro también organiza los resultados por “casos de sensibilidad”, permitiendo comparar fácilmente las configuraciones más viables en función de cada escenario. El análisis de sensibilidad en HOMER Pro es una herramienta poderosa para tomar decisiones informadas frente a la incertidumbre, mejorar la robustez de los diseños y extender la aplicabilidad de un modelo a distintas condiciones reales.

7.8 Visualización de resultados

HOMER Pro ofrece potentes herramientas gráficas para analizar los resultados de la simulación. El **Visor de Series Temporales** permite trazar gráficos horarios, diarios o mensuales de la carga, la generación de cada fuente y los flujos de energía a lo largo del año simulado. Además, incluye

diagramas Sankey de balance de energía, histogramas de cargas y generación, y reportes tabulares con resúmenes energéticos. Esta capacidad gráfica facilita la interpretación y comunicación de resultados. Adicionalmente, la pestaña resumen destaca indicadores principales (costo de inversión, LCOE, tiempo de retorno) y muestra el flujo de caja acumulado del sistema óptimo en comparación con un caso de referencia.

Resultados de simulación (Simulation Results): Al hacer doble clic en un sistema en la tabla de resultados de optimización (figura 35), se accede a los resultados detallados de esa configuración específica.

Figura 35

Ventana Optimization Results

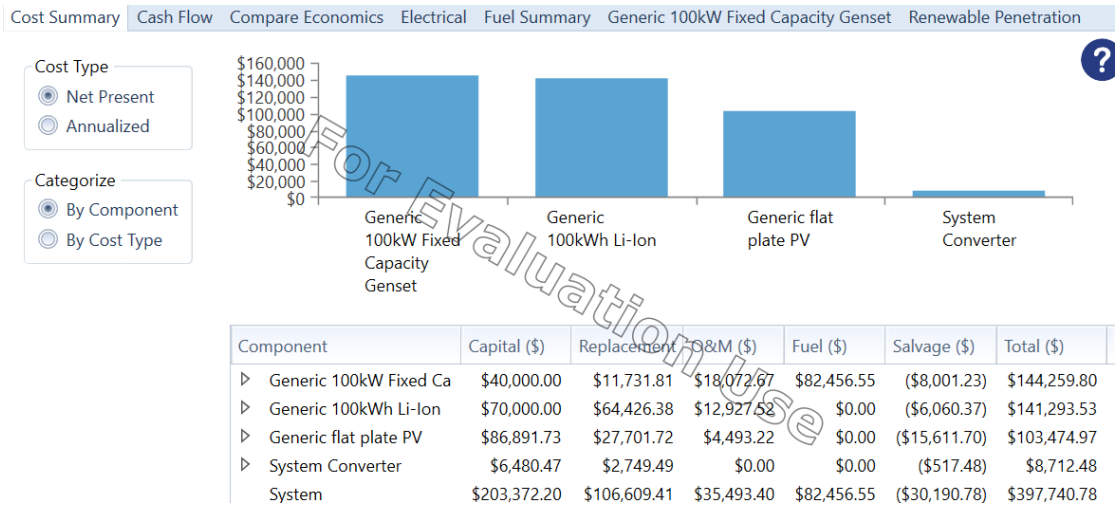


Nota. La ventana *Optimization Results* muestra todas las simulaciones factibles para el caso de sensibilidad seleccionado, Homer Pro presenta las configuraciones mejor clasificadas según el coste actual neto, también se observa el tipo de "Arquitectura" en donde se indican la presencia de cada tipo de componente considerado.

En la ventana Simulation Results se puede observar el resumen de costos (por componente o tipo de costo, presente neto o anualizado) (figura 36), flujo de caja año por año, en donde se evidencia el costo de inversión, operación, remplazo, combustible y salvamento (figura 37).

Figura 36

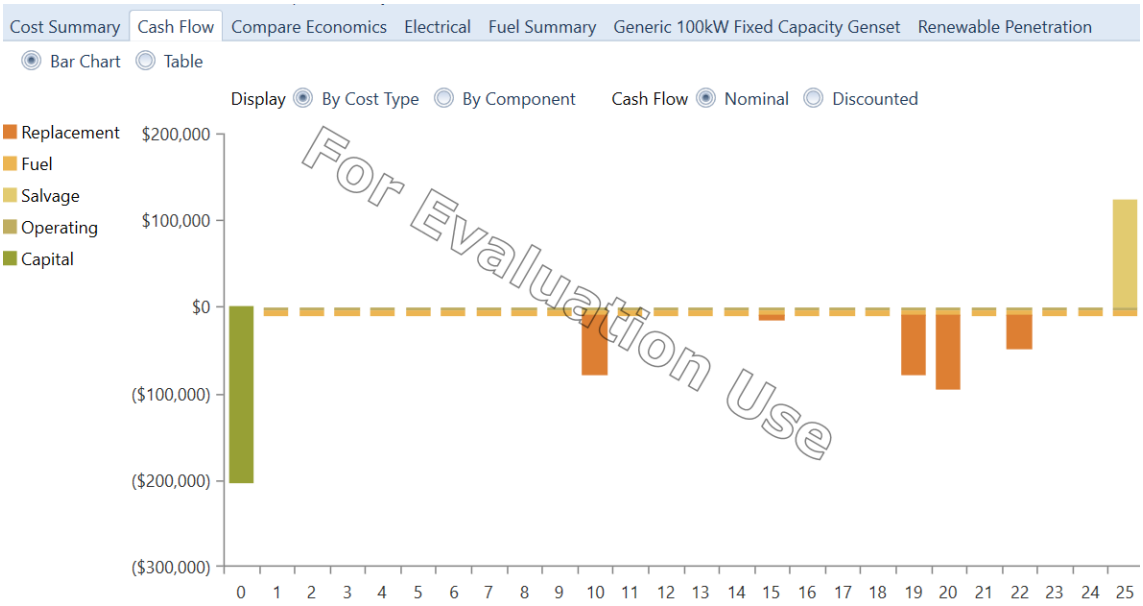
Ventana Cost Summary



Nota. La imagen muestra la pestaña Resumen de costos, en donde se puede observar los flujos de efectivo como valor presente o costo anualizado, categorizados por componente o tipo de costo, también se observa una tabla en donde se resumen el flujo de caja desglosado por componente y tipo de coste.

Figura 37

Ventana Cash Flow

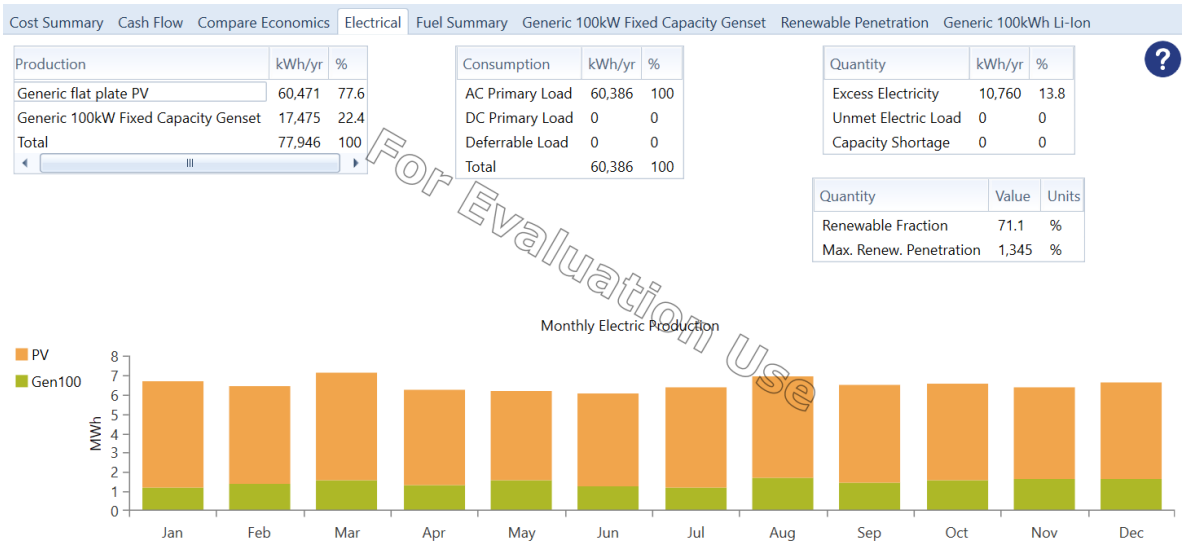


Nota. La imagen muestra la pestaña Flujo de caja, en donde se un gráfico de barras y cada barra del gráfico refleja la entrada o salida total de efectivo por año. La barra del año cero muestra el coste de capital del sistema. Un valor negativo indica gastos como combustible o mantenimiento, mientras que un valor positivo representa ingresos, como ventas de electricidad o el valor residual de los equipos al final del proyecto.

En la ventana Simulation Results también se pueden ver detalles eléctricos (producción, consumo, carga no satisfecha, exceso de electricidad, penetración renovable) (ver figura 38), emisiones de contaminantes (CO2, NOx, SO2, etc.) (figura 39) y resúmenes de componentes específicos (FV, aerogenerador, generador, combustible, almacenamiento, electrolizador, reformador).

Figura 38

Ventana Electrical

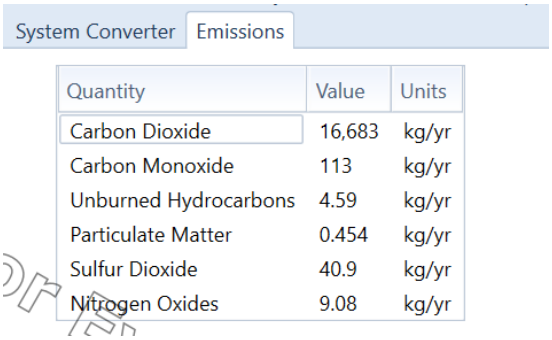


For Evaluation Use

Nota. La imagen muestra la ventana Electrical allí se indica la producción total anual de energía de cada componente del sistema eléctrico, además de la producción eléctrica total, también se indica la cantidad total de energía eléctrica utilizada para alimentar cada una de las cargas eléctricas del sistema.

Figura 39

Ventana Emissions

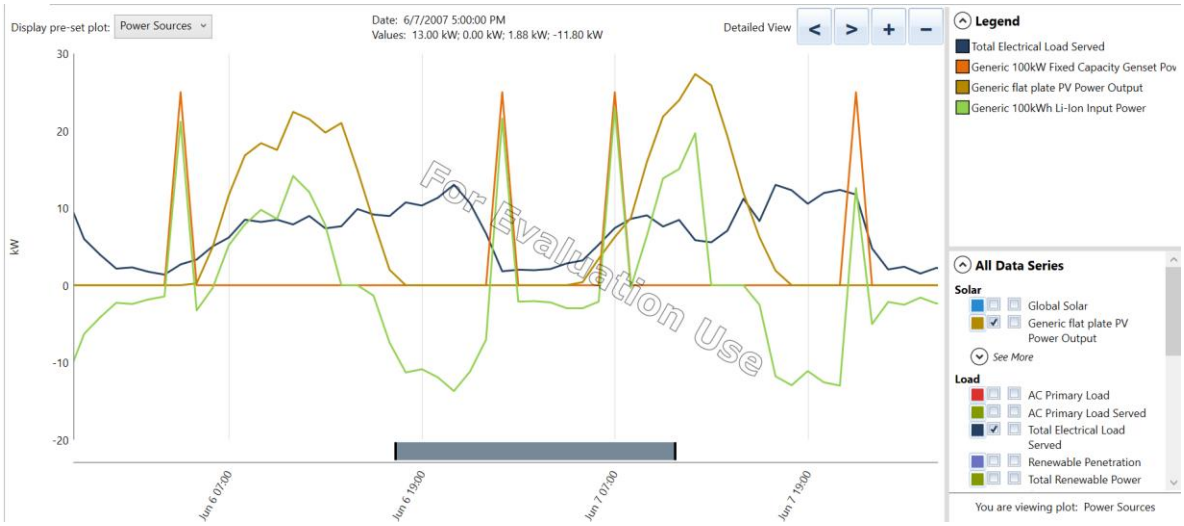


Nota. La imagen muestra la ventana Emissions, en donde se observa la cantidad total de cada contaminante producido anualmente por el sistema eléctrico en kg/año.

En la ventana Simulation Results también se puede acceder a datos de series de tiempo (figura 40) (valores para cada paso de tiempo del año) para diversas variables y visualizarlos en gráficos de tiempo.

Figura 40

Ventana Time Series Detail Analysis



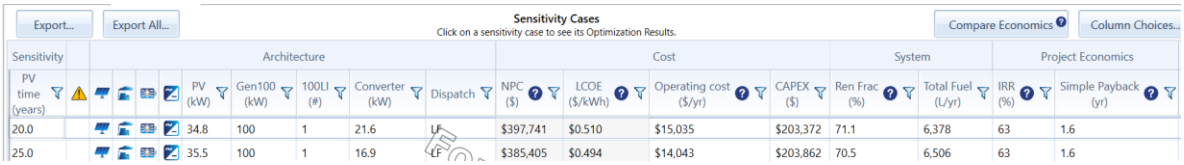
Nota. La imagen muestra la ventana "Time Series Detail Analysis", en donde se observa un conjunto de series de datos preseleccionadas que crean un gráfico en el visor de series temporales.

Resultados de optimización (Optimization Results): Para cada caso de sensibilidad, HOMER muestra una lista de los sistemas factibles ordenados por costo presente neto. Se pueden visualizar en formato tabular o gráfico. La vista gráfica típicamente muestra el costo de capital vs. el costo presente neto total, donde el sistema óptimo (ganador) es el de menor costo presente neto. La tabla de resultados de optimización generalmente muestra información resumida como el costo presente neto total (NPC) y la arquitectura del sistema.

Resultados de sensibilidad (Sensitivity Results): Esta vista (figura 41) presenta los resultados cuando se ha realizado un análisis de sensibilidad. Dada la gran cantidad de datos que puede generar un análisis de sensibilidad, HOMER está diseñado para manejar y mostrar eficientemente los resultados de múltiples casos de sensibilidad.

Figura 41

Ventana Sensitivity Cases



Nota. La imagen muestra la ventana Sensitivity Cases, para cada caso de sensibilidad, HOMER muestra una lista de los sistemas factibles ordenados por costo presente neto.

Como conclusión de la sección 7, **FUNCIONALIDADES DEL SOFTWARE HOMER Pro**, se puede inferir que el software es una herramienta integral que, a través de sus capacidades de simulación, optimización y análisis de sensibilidad, junto con una interfaz detallada para definir cargas, componentes (desde generadores y renovables hasta almacenamiento y equipos de hidrógeno) y recursos, permite a los ingenieros diseñar, evaluar económicamente y dimensionar sistemas de energía híbridos para microrredes de manera eficiente. La posibilidad de personalizar componentes a través de la librería y la visualización detallada de resultados (económicos, eléctricos, de emisiones, etc.) son funcionalidades clave para el análisis de sistemas complejos.

8. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO DEL MATERIAL AUDIOVISUAL

En esta sección se realiza la descripción general de cada uno de los videos elaborados en Homer Pro V3.18.4, su objetivo, duración y el contenido temático.

8.1 Video 0: Introducción a la serie de vídeos de HOMER Pro

Objetivo de aprendizaje:

Comprender el propósito del software HOMER Pro, así como la estructura, el contenido y el camino de aprendizaje que se seguirá a lo largo de esta serie de tutoriales.

Descripción general:

Este video de bienvenida sirve como punto de partida para la serie. Se presenta el potencial del software HOMER Pro como herramienta clave para la simulación de sistemas híbridos de generación y se describe el público al que está dirigido. Además, ofrece un mapa detallado del contenido que se abordará en cada uno de los futuros videos, desde la instalación básica hasta la realización de un caso de estudio completo.

Duración: 2:43 minutos

Contenido temático:

- Bienvenida y presentación de la serie de videos
- Introducción a HOMER Pro: Qué es, para qué sirve y sus aplicaciones clave en electrificación rural y microrredes
- Descripción del contenido de los próximos videos:
    - Video 1: Fundamentos, descarga y capacidades esenciales del software.
    - Video 2: Recorrido por la interfaz y configuración de la ubicación del proyecto.
    - Video 3: Creación y configuración del perfil de carga o demanda energética.
    - Video 4: Importación de recursos renovables (radiación solar, viento, etc.).
    - Videos Siguientes: Análisis detallado de cada componente (generador, paneles solares, baterías, red, etc.).
    - Video Final: Aplicación de todo lo aprendido en un caso de estudio completo.
- Mensaje final sobre la importancia de la herramienta en el diseño de sistemas energéticos sostenibles.
- Invitación a continuar con la serie completa.

8.2 Video 1: Introducción a HOMER Pro

Objetivo de aprendizaje:

Comprender la finalidad del software HOMER Pro, sus tres capacidades esenciales (simulación, optimización y análisis de sensibilidad) y el proceso básico para descargar e instalar el software.

Descripción general:

Este video introduce el software HOMER Pro, explicando su función principal como herramienta para el diseño y evaluación de sistemas de energía. Se detallan sus capacidades esenciales de simulación, optimización y análisis de sensibilidad, y se proporciona una guía práctica para su descarga e instalación.

Duración: 5:13 minutos

Contenido temático:

- **Propósito de HOMER Pro:** Explicación del rol de HOMER Pro en el diseño y evaluación de sistemas de energía híbridos.
- **Capacidades clave:** Detalles de la **simulación**, **optimización** y **análisis de sensibilidad** como funciones centrales del software.
- **Beneficios y aplicaciones:** Uso de HOMER Pro para evaluar la viabilidad técnico-económica de sistemas de generación distribuida.
- **Descarga e instalación:** Guía paso a paso para obtener e instalar HOMER Pro, incluyendo el registro de cuenta y la licencia de prueba.

8.3 Video 2: Recorrido por HOMER Pro

Objetivo de aprendizaje:

Familiarizarse con la interfaz general de HOMER Pro, comprender la función de la Página de Inicio y dominar la navegación entre las tres vistas principales del software: Diseño (Diseño), Results (Resultados) y Library (Librería).

Descripción general:

Este video guía al usuario a través de la interfaz de HOMER Pro, comenzando por la Página de Inicio y explicando su utilidad para la configuración inicial del proyecto y la asignación geográfica. Se presenta un recorrido rápido por las vistas Design, Results y Library, delineando su propósito y las funcionalidades clave que ofrecen para el diseño, análisis y gestión de componentes en proyectos de microrredes.

Duración: 6:06 minutos

Contenido temático:

- **Página de inicio:** Función y utilidad para información del proyecto y ubicación geográfica.
- **Vistas principales:** Presentación de **diseño**, **resultados** y **librería**.
- **Vista diseño):** Propósito y pestañas clave (**Cargas, Componentes, Recursos, Proyecto**).
- **Vista resultados:** Acceso y análisis de **Resultados de optimización** y **simulación**.
- **Vista librería:** Gestión de definiciones guardadas de componentes y recursos.
- **Tour interactivo:** Recomendación para una introducción guiada.

8.4 Video 3: La pestaña de carga eléctrica en HOMER Pro

Objetivo de aprendizaje:

Comprender cómo definir y configurar la demanda energética en HOMER Pro, explorando los métodos de carga sintética e importación de archivos de series temporales, y la forma de ajustar y analizar el perfil de carga.

Descripción general:

Este video se enfoca en la pestaña "Load" (Carga) de HOMER Pro, fundamental para especificar el consumo de energía en un proyecto. Se exploran las dos vías principales para introducir la carga eléctrica primaria: la generación de perfiles sintéticos a partir de plantillas y la importación de datos desde archivos de series temporales. Además, se detalla un ejemplo práctico de construcción de un perfil de carga desde cero en Excel para una comunidad real, y se finaliza con los ajustes y análisis avanzados disponibles para optimizar la definición de la demanda.

Duración: 7:52 minutos

Contenido temático:

- **Concepto de carga:** Definición y tipos, con énfasis en la carga eléctrica primaria.
- **Vías para definir la carga:**
  - **Carga Sintética**: Creación de perfiles a partir de plantillas.
  - **Importación de Archivos:** Carga de datos de series temporales.
- **Ejemplo Práctico:** Construcción de un perfil de carga desde Excel para una comunidad**.**
- **Ajuste y Análisis:** Modificación de perfiles, escalado y función de eficiencia.

8.5 Video 4: El Componente RED

Objetivo de aprendizaje:

Comprender la función y la importancia del componente RED en HOMER Pro, aprender a agregarlo al sistema y explorar los diferentes modos de especificación de tarifas (Tarifas simples, Tarifas en tiempo real, Tarifas programadas, y Extensión de red).

Descripción general:

Este video se centra en el componente (Red Eléctrica) de HOMER Pro, esencial para modelar sistemas híbridos conectados a la red. Se explica cómo añadirlo y se profundiza en los cuatro modos principales de especificación de tarifas, destacando las particularidades y configuraciones de cada uno (precios fijos, horarios, dinámicos o extensión). Además, se abordan propiedades avanzadas compartidas entre los modos, como los cargos por demanda, la modelación de confiabilidad de la red (cortes programados y aleatorios) y los factores de emisión.

Duración: 10:49 minutos

Contenido temático:

- **Introducción al componente RED**: Rol y proceso de adición.
- **Modos de especificación de tarifas:**
  - Simple Rates: Precios de compra/ventas constantes, Medición Neta.
  - Real-Time Rates: Precios horarios dinámicos, parámetros de control.
  - Scheduled Rates: Tarifas por horario de uso (TOU), con Medición Neta.
  - Grid Extension Mode: Comparación de extensión de red vs. sistema aislado.
- **Propiedades comunes (Modos Avanzados):** Demand Rates (cargos por demanda), Reliability (simulación de cortes), Emissions (factores de emisión).

8.6 Video 5: El componente convertidor en HOMER Pro

Objetivo de aprendizaje:

Comprender la función esencial del componente convertidor en HOMER Pro, aprender a configurarlo correctamente, y entender la interacción entre sus parámetros (costos, capacidad, eficiencia) y la operación general del sistema híbrido.

Descripción general:

Este video explica la importancia del componente convertidor en sistemas híbridos que combinan buses AC y DC. Se detalla su rol como puente para la transferencia bidireccional de energía (inversión y rectificación), y se guía al usuario a través de su adición y configuración en HOMER Pro. Se cubren las pestañas clave para definir costos, capacidades de búsqueda, eficiencias y la crucial opción de operación en paralelo con generadores AC o la red.

Duración: 4:29 minutos

Contenido temático:

- **Rol del convertidor:** Interfaz entre buses AC y DC para inversión y rectificación.
- **Adición del convertidor:** Proceso para incluir el componente principal.
- **Configuración de parámetros clave:**
  - Costos: Capital, reemplazo, O&M.
  - Search Space: Rangos de capacidad.
  - Inverter Input: Vida útil, eficiencia, "¿Paralelo con generador AC?".
  - Rectifier Input: Capacidad relativa, eficiencia.
- **Interacción y limitaciones:** Flujo de energía y operación en paralelo.

8.7 Video 6: El componente almacenamiento en HOMER Pro

Objetivo de aprendizaje:

Comprender la importancia del almacenamiento de energía en sistemas híbridos, aprender a añadir y configurar diferentes tecnologías de almacenamiento en HOMER Pro, y entender la influencia de sus parámetros técnicos y económicos en la operación del sistema.

Descripción general:

Este video explora el componente "Storage" (Almacenamiento) en HOMER Pro, explicando su rol crucial para la eficiencia y fiabilidad de sistemas híbridos, permitiendo almacenar el exceso de energía y suministrarla cuando sea necesario. Se guía al usuario a través del proceso de añadir y configurar este componente, detallando las pestañas clave para la definición de costos (capital, reemplazo, O&M), el espacio de búsqueda para la optimización de capacidades, y parámetros específicos como el estado inicial/mínimo de carga y la vida útil. Finalmente, se aborda la interacción del almacenamiento con el controlador del sistema.

Duración: 3:40 minutos

Contenido temático:

- **Rol del almacenamiento**: Importancia para eficiencia y fiabilidad del sistema.
- **Adición del almacenamiento**: Proceso y consideración de tecnologías/cantidades.
- **Configuración de parámetros clave**:
  - **Costos:** Capital, reemplazo, O&M.
  - **Search Space:** Cantidades a considerar.
  - **Datos específicos del sitio:** Estado inicial/mínimo de carga.
  - **Vida útil:** Definición en años o rendimiento.
  - **Mantenimiento:** Modelado de costos y tiempos de inactividad.
- **Interacción con el controlador:** Cómo la estrategia de despacho dicta la operación.

8.8 Video 7: El componente aerogenerador en HOMER Pro

Objetivo de aprendizaje:

Comprender el propósito y la configuración del componente aerogenerador en HOMER Pro, incluyendo sus aspectos económicos y técnicos, y cómo se integra en la simulación de sistemas híbridos de generación.

Descripción general:

Este video introduce el componente "Wind Turbine" (Aerogenerador) en HOMER Pro. Se detalla el proceso para añadir y configurar un aerogenerador, abordando sus costos (capital, reemplazo, O&M, incluyendo torre, control y cableado), las opciones de espacio de búsqueda para dimensionamiento, la conexión al bus eléctrico (AC/DC), y parámetros específicos como la vida útil y la altura del buje. También se exploran las opciones avanzadas para definir la curva de potencia, las pérdidas y el mantenimiento.

Duración: 4:10 minutos

Contenido temático:

- **Rol del aerogenerador:** Generación de electricidad eólica.
- **Adición y configuración:** Proceso y parámetros.
- **Configuración clave:**
  - **Costos**: Capital, reemplazo, O&M (incluyendo torre, control, cableado).
  - **Search Space**: Cantidad de aerogeneradores para optimización.
  - **Bus eléctrico**: Conexión (AC o DC).
  - **Datos específicos**: Vida útil, altura del buje, efectos de temperatura.
  - **Avanzadas**: Power Curve (curva de potencia), Turbine Losses (pérdidas), Maintenance (mantenimiento).
- **Interacción con el controlador:** Gestión de la energía producida.

8.9 Video 8: El componente PV (paneles fotovoltaicos) en HOMER Pro

Objetivo de aprendizaje:

Entender el rol y la configuración del componente de paneles fotovoltaicos (PV) en HOMER Pro, incluyendo sus costos, el dimensionamiento para la optimización, las opciones de conexión al bus eléctrico, y los factores que afectan su rendimiento real.

Descripción general:

Este video se enfoca en el componente "PV" (Paneles Fotovoltaicos), una fuente de energía renovable clave en sistemas híbridos. Se explica cómo añadir paneles al modelo y configurar sus parámetros económicos (costos de capital, reemplazo, O&M, incluyendo instalación y estructuras) y técnicos (capacidad de búsqueda, conexión a bus AC/DC). Se profundiza en las

propiedades avanzadas para considerar el seguimiento solar, la inclinación, la orientación y la reflectancia, así como el uso del factor de reducción PV para una simulación más realista del rendimiento.

Duración: 3:24 minutos

Contenido temático:

- **Rol del componente PV:** Función como fuente de generación solar.
- **Adición y tipos de PV:** Paneles planos y de concentración.
- **Configuración clave:**
- **Costos:** Capital, reemplazo, O&M (incluyendo montaje, cableado, instalación).
- **Search Space:** Capacidad nominal en kW.
- **Bus eléctrico:** Conexión (AC o DC).
- **Propiedades avanzadas:** Seguimiento solar, inclinación, orientación, reflectancia, temperatura.
- **MPPT:** Convertidor DC a DC para maximizar potencia.
- **Factor de reducción PV:** Ajuste de potencia teórica para pérdidas reales.

8.10 Video 9: El componente generador en HOMER Pro

Objetivo de aprendizaje:

Comprender el papel del generador en un sistema híbrido, aprender a añadirlo y configurarlo en HOMER Pro, y explorar las diferentes pestañas para definir sus características técnicas, económicas, de combustible, emisiones y operación programada.

Descripción general:

Este video se centra en el componente Generador en HOMER Pro, una fuente de energía convencional clave para la fiabilidad de las microrredes. Se explica su rol como respaldo principal y se guía al usuario a través de su adición y configuración detallada. Se abordan los costos (capital, reemplazo, O&M), el espacio de búsqueda para su dimensionamiento y parámetros cruciales como la relación de carga mínima, la vida útil, el tiempo mínimo de ejecución y la recuperación de calor. Además, se exploran opciones avanzadas como el tipo de combustible, la curva de consumo, las emisiones, el mantenimiento y la programación horaria de operación.

Duración: 4:09 minutos

Contenido temático:

- **Rol del generador:** Fuente de respaldo en sistemas híbridos.
- **Adición y configuración básica:** Proceso, costos, y espacio de búsqueda.
- **Parámetros específicos del sitio:**
    - **Relación de carga mínima:** Carga mínima para operación adecuada.

- **Relación de recuperación de calor:** Calor residual aprovechable.
- **Vida (Horas de Funcionamiento):** Vida útil esperada.
- **Tiempo mínimo de ejecución**: Evitar arranques/paradas frecuentes**.**
- **Horas iniciales:** Operación previa.
- **Opciones avanzadas:** Fuel Resource, Fuel Curve, Emissions, Maintenance, Schedule (operación forzada/prohibida).

- **Interacción con el controlador:** Estrategia de despacho y cronograma.

8.11 Video 10: El componente controlador en HOMER Pro

Objetivo de aprendizaje:

Comprender la función esencial del componente Controlador en HOMER Pro, aprender a seleccionar y configurar las diversas estrategias de despacho integradas (Ciclo de Carga, Seguimiento de Carga, Despacho Combinado, Orden de Generadores), y conocer la opción de integrar algoritmos personalizados mediante MATLAB Link.

Descripción general:

Este video se enfoca en el componente "Controller" (Controlador) de HOMER Pro, un elemento clave que determina cómo opera el sistema híbrido durante la simulación. Se explica su propósito y se guía al usuario a través del proceso de añadirlo y seleccionar entre diferentes estrategias de despacho predefinidas. Se detallan las lógicas de "Ciclo de Carga", "Seguimiento de Carga", "Despacho Combinado" y "Orden de Generadores", destacando sus aplicaciones y configuraciones. Finalmente, se introduce la poderosa funcionalidad de "MATLAB Link" para implementar algoritmos de control personalizados.

Duración: 5:17 minutos

Contenido temático:

- **Rol del controlador:** Su función esencial para especificar cómo opera el sistema y gestiona la energía durante la simulación, a través de estrategias de despacho.
- **Adición del controlador:** Proceso para añadir el componente "Controlador" desde la pestaña de componentes.
- **Estrategias de despacho integradas:**
  - **Ciclo de carga (Cycle Charging - CC):** Operación del generador a máxima capacidad, usando el excedente para cargar baterías; ideal para sistemas con baja penetración renovable. Configuración de porcentaje de carga de batería y operación con múltiples generadores.
  - **Seguimiento de carga (Load Following - LF):** El generador produce solo lo necesario para cubrir la demanda, permitiendo que las renovables carguen las baterías; óptimo para alta penetración renovable.

    - **Despacho combinado (Combined Dispatch):** Algoritmo inteligente que alterna entre lógica de ciclo de carga y seguimiento de carga según la carga neta actual, buscando la mayor eficiencia.
    - **Orden de generadores (Generator Order - GO):** Permite al usuario definir una prioridad de operación para combinaciones de generadores, con preferencia por el uso de baterías.
- **MATLAB Link:** Introducción a la funcionalidad que permite a los usuarios desarrollar e integrar sus propios algoritmos de despacho personalizados en MATLAB para simulaciones avanzadas en HOMER Pro.

8.12 Video 11: Ingreso de datos de recursos en HOMER Pro

Objetivo de aprendizaje:

Aprender a identificar, configurar y obtener los diferentes tipos de recursos energéticos externos (solar, eólico, temperatura, combustibles, biomasa) en la pestaña "Resources" de HOMER Pro, comprendiendo la importancia de la precisión de los datos y los métodos de ingreso (promedios mensuales vs. series de tiempo).

Descripción general:

Este video se centra en la crucial pestaña "Resources" de HOMER Pro, donde se definen las "entradas" de energía externas necesarias para la simulación de sistemas híbridos. Se explica cómo ingresar datos para recursos comunes como la radiación solar (GHI y DNI) y la temperatura, utilizando métodos a partir de promedios mensuales o importando series de tiempo. También se abordan otros recursos como el viento, los combustibles y la biomasa, destacando la importancia de la ubicación y la precisión de los datos para una optimización y simulación efectiva del sistema.

Duración: 5:00 minutos

Contenido temático:

- **Pestaña "Resources":** Definición de entradas de energía externas.
- **Recursos comunes:**
    - Solar (GHI y DNI): Ubicación, promedios mensuales vs. series de tiempo.
    - Temperatura: Proyecciones mensuales vs. series de tiempo.
- **Otros recursos:**
    - Viento: Velocidad y altura de medición.
    - Combustibles: Tipos y precios.
    - Biomasa: Disponibilidad.
- **Notas importantes:** Asociación de recursos con componentes y precisión de datos.

8.13 Video 12: La Ventana "Proyecto" en HOMER Pro

Objetivo de aprendizaje:

Comprender y configurar los parámetros globales del proyecto en HOMER Pro, incluyendo aspectos económicos, restricciones del sistema, control de emisiones, opciones de optimización y la implementación del análisis de sensibilidad, así como familiarizarse con las herramientas de reporte y simulación multianual.

Descripción general:

Este video explora a fondo la pestaña "Proyecto" de HOMER Pro, donde se definen las configuraciones globales que rigen todo el modelo de simulación. Se detallan los **parámetros económicos** clave, como la tasa de descuento y la vida útil del proyecto. Además, se abordan las **restricciones** del sistema (falla de suministro, fracción renovable, reserva operativa) y las opciones de control de **emisiones** (penalidades y límites). Se profundiza en las configuraciones de **optimización** y la poderosa herramienta de **análisis de sensibilidad**, explicando cómo se definen las variables y su impacto en el tiempo de cálculo. Finalmente, se cubren las funciones de "Espacio de Búsqueda", "Multianual" y los reportes.

Duración: 8:10 minutos

Contenido temático:

- **Pestaña "Proyecto":** Centro de configuración global del modelo.
- **Economics (Parámetros económicos):** Tasa de descuento, inflación, vida útil, costos fijos, penalización por falla.
- **Constraints (Restricciones):** Máxima falla de suministro, fracción renovable mínima, reserva operativa.
- **Emissions (Emisiones):** Penalidades por emisiones y límites máximos.
- Optimization (Optimización): Paso de tiempo de simulación, HOMER Optimizer.
- **Análisis de sensibilidad:** Definición de variables, gestión e impacto en el cálculo.
- **Otras funciones útiles:** Search Space, Multi-Year, Input Report y Estimate.

8.14 Video 13: Caso de estudio: Optimización de microrred para la Isla Tumbatu con HOMER Pro

Objetivo de aprendizaje:

Aplicar los conocimientos adquiridos en los videos anteriores para configurar y simular un caso de estudio real en HOMER Pro (Isla Tumbatu), y aprender a interpretar los resultados de optimización y simulación para evaluar la viabilidad técnico-económica de un sistema híbrido.

Descripción general:

Este video presenta un caso de estudio práctico de diseño y optimización de una microrred híbrida para la Isla Tumbatu, basándose en un artículo de investigación. Se guía al usuario paso a paso a través de la configuración del proyecto en HOMER Pro, incluyendo la definición de la ubicación, el ingreso de datos de carga a partir de un perfil existente, y la adición y parametrización de componentes clave como paneles fotovoltaicos, convertidores, baterías, aerogeneradores y la conexión a la red. Una vez ejecutada la simulación, se detalla cómo interpretar los resultados de optimización y las diversas pestañas de la ventana de resultados de simulación (resumen de costos, flujo de caja, eléctrica, emisiones y componentes individuales), así como el uso de herramientas de análisis como series de tiempo y generación de informes.

Duración: 8:32 minutos

Contenido temático:

- **Configuración del proyecto**:
  - **Ubicación y carga**: Definición geográfica y perfil de demanda.
  - **Adición de componentes**: PV, convertidor, baterías, aerogenerador, Grid.
  - **Configuración del proyecto**: Parámetros económicos y restricciones.
- **Análisis de resultados**:
  - **Resultados de optimización**: Tabla clasificada por Costo Actual Neto (NPC).
  - **Resultados de simulación detallados**:
    - Resumen de costos, flujo de caja, eléctrica, emisiones.
    - Pestañas de componentes individuales.
- **Herramientas adicionales**: Datos de series de tiempo, Generación de informes, Botón de copiar.

8.15 Video 14: Caso de estudio: Simulación de comunidad energética en caño dulce con HOMER Pro

Objetivo de aprendizaje:

Aplicar de manera práctica el proceso de simulación en HOMER Pro configurando un sistema híbrido para una comunidad energética real (Caño Dulce), y aprender a interpretar a fondo los resultados de optimización y simulación detallados, incluyendo el análisis de sensibilidad y el visor de series de tiempo.

Descripción general:

Este video presenta un caso de estudio completo para el diseño de una comunidad energética híbrida en la playa Caño Dulce (Colombia), con 10 casas y 40 casetas. Se guía al usuario a través de todo el proceso en HOMER Pro: desde la definición de la ubicación y la importación de datos de carga, hasta la adición y parametrización de componentes clave como un generador diésel, paneles fotovoltaicos (con curvas de costos y factor de reducción), un convertidor, baterías (con curva de costos) y un aerogenerador. Se incorporan variables de sensibilidad para el precio del combustible y la velocidad del viento. Una vez realizada la simulación, se explora en detalle la página de resultados, incluyendo las tablas de casos de sensibilidad y resultados de optimización, y se profundiza en las pestañas de la ventana de resultados de simulación (Resumen de Costos, Flujo de Caja, Eléctrica, Emisiones y componentes individuales). Finalmente, se demuestra el uso avanzado del visor de series de tiempo ("Time Series Data") para un análisis comprensivo del comportamiento del sistema.

Duración: 14:23 min

Contenido temático:

- **Configuración inicial del proyecto**: Ubicación, descarga de recursos, moneda base.
- **Ingreso de carga eléctrica:** Importación de archivo con series de datos temporales, ajuste de variabilidad y escalado.
- **Adición y parametrización de componentes:**
    - **Generador diésel (15 kW):** Selección, costos, precio de combustible**.**
    - **Panel fotovoltaico:** Adición, curva de costos, factor de reducción PV (85%), efectos de temperatura.
    - **Convertidor:** Adición, costos, vida útil, operación en paralelo**.**
    - **Sistema de almacenamiento (Baterías 48V):** Selección, curva de costos.
    - **Aerogenerador (3 kW):** Adición, costos, efectos de temperatura.
- **Análisis de sensibilidad:** Definición de variables para precio del combustible y velocidad del viento.
- **Interpretación de la página de resultados:**
    - **Modo tabular:** Tabla de casos de sensibilidad (NPC) y tabla de resultados de optimización.
    - **Ventana de resultados de simulación:**
        - Página de resumen (sistema ganador vs. caso base).

        - Pestañas estándar: Resumen de costos, flujo de caja, eléctrica, emisiones.
        - Pestañas de componentes individuales.
- **Uso del visor de series de tiempo (Time Series Data):**
    - **Pestaña 'Hourly':** Análisis paso a paso, zoom.
    - **Otras pestañas:** 'Monthly', 'Profile', 'DMap', 'Histogram', 'CDF', 'DC Duration Curve' para análisis detallado del comportamiento.

9. VALIDACIÓN DEL MATERIAL AUDIOVISUAL

Este capítulo detalla el proceso de validación de los videos tutoriales diseñados para la simulación de sistemas híbridos de generación en microrredes con HOMER Pro. La validación se llevó a cabo mediante la aplicación práctica en **tres casos de estudio específicos**, por medio de guías de simulación. Adicionalmente, se evaluó la **satisfacción de los participantes** a través de una encuesta aplicada a 20 estudiantes de Ingeniería Eléctrica, buscando determinar la claridad, utilidad y aplicabilidad de los videos como herramienta de aprendizaje.

Para validar la efectividad de los videos, se implementó un enfoque práctico centrado en la **reproducción de escenarios reales** dentro del software HOMER Pro. Este proceso consistió en:

- **Selección de casos de estudio:** Se eligieron tres casos de estudio representativos, extraídos de la literatura o de proyectos reales, que abarcaban diversas configuraciones de sistemas híbridos. Estos casos estaban alineados con el nivel de complejidad cubierto en los videos tutoriales.
- **Diseño de guías de simulación:** Para cada caso de estudio, se elaboraron guías de simulación detalladas que contenían los datos y recomendaciones necesarios para que los estudiantes realizaran las simulaciones en HOMER Pro.
- **Implementación práctica por participantes:** Los participantes, tras revisar los videos tutoriales, aplicaron los conocimientos adquiridos para replicar las simulaciones de los tres casos de estudio. Se les proporcionaron los datos de entrada necesarios para cada escenario.
- **Administración de la encuesta:** Una vez completada la fase de práctica con los videos y las guías, se aplicó una encuesta de satisfacción y efectividad a los estudiantes participantes. La encuesta constó de **16 preguntas** con opciones de respuesta predefinidas y algunas preguntas abiertas para recopilar sugerencias y comentarios cualitativos

9.1 Análisis de resultados de la encuesta:

Los resultados obtenidos ofrecen una visión detallada de la percepción de los usuarios sobre la utilidad, claridad y exhaustividad de estos recursos audiovisuales. En general, los videos han demostrado ser una herramienta educativa altamente recomendable y eficaz, aunque se identifican áreas clave para su optimización.

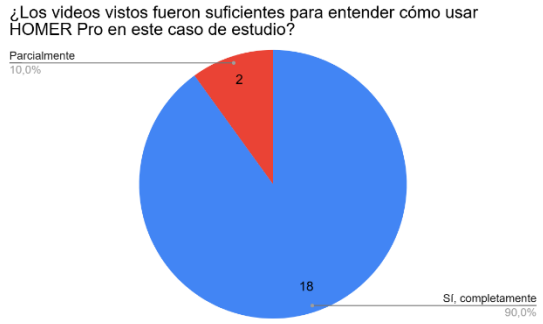
9.1.1 Percepción general de la utilidad y comprensión:

La percepción general sobre la utilidad de los videos para comprender y utilizar HOMER Pro es altamente positiva. La figura 42, muestra que un **90%** de los participantes encontró que los videos fueron completamente suficientes para entender cómo usar el software en el caso de estudio, y el **10%** restante lo consideró parcialmente suficiente. Es destacable que el **100%** de los participantes afirmó que los videos les ayudaron a comprender la configuración de los

componentes del sistema (carga, recursos, almacenamiento, etc.) (Figura 43). Además, la figura 44, evidencia que la comprensión general del funcionamiento de HOMER Pro después de la interacción con los videos y la simulación fue calificada como "Alta" por el **55%** de los participantes y "Media" por el **45%**. Esta alta utilidad se refuerza con la recomendación casi unánime **(95%)** de usar estos videos en cursos de Ingeniería Eléctrica (Figura 45), lo que subraya su valor pedagógico y práctico.

Figura 42

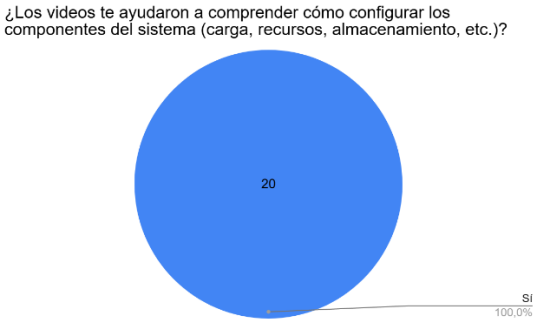
Pregunta 1 de la encuesta



Nota. La imagen muestra el gráfico de torta con las respuestas elegidas por los estudiantes para la pregunta 1. Elaboración propia.

Figura 43

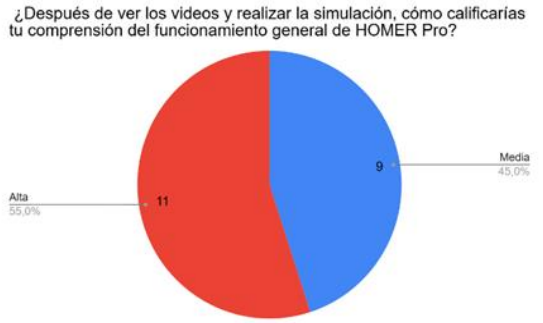
Pregunta 3 de la encuesta



Nota. La imagen muestra el gráfico de torta con las respuestas elegidas por los estudiantes para la pregunta 3. Elaboración propia.

Figura 44

Pregunta 6 de la encuesta



Nota. La imagen muestra el gráfico de torta con las respuestas elegidas por los estudiantes para la pregunta 6. Elaboración propia.

Figura 45

Pregunta 13 de la encuesta



Nota. La imagen muestra el gráfico de torta con las respuestas elegidas por los estudiantes para la pregunta 13. Elaboración propia.

9.1.2 Habilidades de aplicación y desafíos identificados:

En cuanto a las habilidades de aplicación, los videos demostraron ser muy efectivos para la entrada de datos como ilustra la figura 46, con un 70% de los encuestados lográndolo sin dificultad. Asimismo, la ejecución de la simulación y la visualización de resultados fue lograda sin dificultad por el 65%, lo cual indica una buena transferencia de conocimiento práctico (Figura 47). La figura 49 demuestra que el 70% de los participantes logró completar exitosamente la

simulación del caso de estudio. Sin embargo, se identifica un área de mejora en la autonomía como se puede ver en la figura 48, ya que solo el 50% de los encuestados se siente capaz de replicar simulaciones similares sin volver a ver los vídeos, con un 45% aún inseguro. Los aspectos más fáciles de aplicar gracias a los videos según las respuestas a las preguntas abiertas, incluyeron “definición de la ubicación y descarga de recursos”, "la interfaz", “definición de las restricciones” y la "configuración de componentes", entre otros. En contraste, algunos desafíos persistentes o confusos incluyen "Ajustar el perfil de demanda", "El tema de costos" y "Los datos de salida", mientras que un 20% indicó "Ninguno", señalando una variabilidad en la experiencia de dificultad.

Figura 46

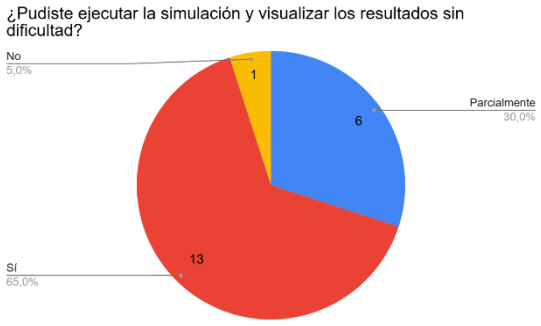
Pregunta 2 de la encuesta



Nota. La imagen muestra el gráfico de torta con las respuestas elegidas por los estudiantes para la pregunta 2. Elaboración propia.

Figura 47

Pregunta 5 de la encuesta



Nota. La imagen muestra el gráfico de torta con las respuestas elegidas por los estudiantes para la pregunta 5. Elaboración propia.

Figura 48

Pregunta 7 de la encuesta



Nota. La imagen muestra el gráfico de torta con las respuestas elegidas por los estudiantes para la pregunta 7. Elaboración propia.

Figura 49

Pregunta 16 de la encuesta º



Nota. La imagen muestra el gráfico de torta con las respuestas elegidas por los estudiantes para la pregunta 16. Elaboración propia.

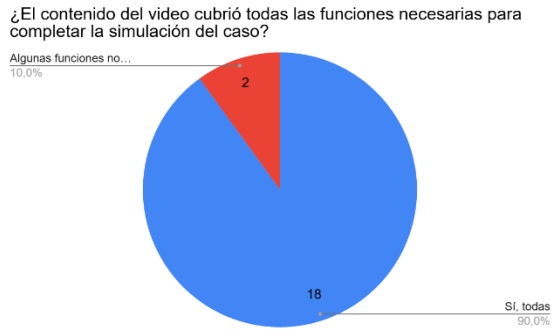
9.1.3 Calidad del contenido y estructura de los videos:

La calidad del contenido y la estructura de los vídeos recibieron una evaluación muy favorable. Como se evidencia en la figura 50, el 90% de los participantes consideró que el contenido del video cubrió todas las funciones necesarias para completar la simulación, sugiriendo una

cobertura exhaustiva del caso de estudio. En términos de organización, la figura 51 muestra que la totalidad de los encuestados estuvo "De acuerdo" o "Totalmente de acuerdo" (60% y 40% respectivamente) en que los videos estaban bien estructurados y ordenados. Adicionalmente, el ritmo y la duración de los videos fueron percibidos como "Muy adecuados" por el 65% y "Adecuados" por el 35% de los encuestados como se ve en la figura 52, lo que indica que el tiempo y la cadencia de la información fueron óptimos para el aprendizaje y la aplicación del contenido.

Figura 50

Pregunta 4 de la encuesta



Nota. La imagen muestra el gráfico de torta con las respuestas elegidas por los estudiantes para la pregunta 4. Elaboración propia.

Figura 51

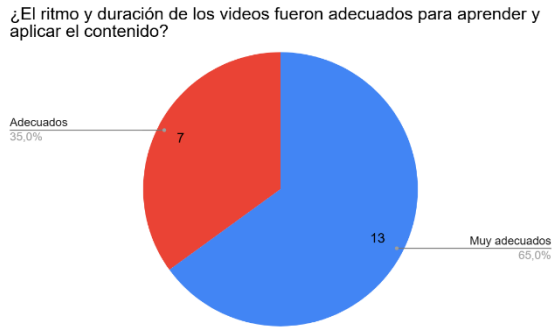
Pregunta 10 de la encuesta



Nota. La imagen muestra el gráfico de torta con las respuestas elegidas por los estudiantes para la pregunta 10. Elaboración propia.

Figura 52

Pregunta 11 de la encuesta



Nota. La imagen muestra el gráfico de torta con las respuestas elegidas por los estudiantes para la pregunta 11. Elaboración propia.

9.2 Sugerencias y áreas de mejora futura:

Aunque un 25% de los encuestados no tuvo sugerencias específicas para mejorar los videos, las aportaciones de los demás usuarios destacan áreas clave para el desarrollo futuro como señala la figura 52. Principalmente, se sugirió la necesidad de **"Recomendaciones para interpretar los resultados"**, lo que indica un deseo de profundizar en la interpretación financiera de las simulaciones. También se expresó interés en **"Realizar un ejemplo simulado más complejo"**.

Para futuros videos, los participantes mostraron un claro interés en que se incluyan **"Ejercicios paso a paso" (30%), "Casos reales más complejos" (30%) y "Ejemplos" (30%)**, lo que apunta a la demanda de un enfoque más práctico y contextualizado.

Figura 53

Pregunta 15 de la encuesta



Nota. La imagen muestra el gráfico de torta con las respuestas elegidas por los estudiantes para la pregunta 15. Elaboración propia.

Los resultados de la encuesta validan que los videos tutoriales realizados sobre HOMER Pro constituyen una herramienta educativa altamente recomendable y eficaz para la comprensión inicial del software y la configuración de sus componentes clave. La totalidad de los participantes afirmó que los videos les ayudaron a comprender la configuración del sistema.

Sin embargo, a pesar de la buena comprensión inicial, se identificaron limitaciones significativas en la aplicación práctica de los conocimientos y la autonomía de los estudiantes. Aunque la mayoría pudo seguir los pasos para ingresar datos, algunos requirieron "ayuda adicional". Además, se requiere mayor confianza para replicar simulaciones similares de forma independiente, y aspectos como los "datos de salida/resultados" y el "tema de los costos" fueron señalados como aún confusos o difíciles de aplicar.

Para abordar estas brechas y potenciar la autonomía, fue necesario explicar con mayor detalle ejemplos de simulación de casos de estudio. Profundizando en los resultados de simulación obtenidos, se complementó con un nuevo video centrado en un caso de estudio real, como el de una comunidad energética en una playa en Caño Dulce, Tubará, Atlántico. Esta iniciativa responde directamente a las sugerencias de los propios encuestados, quienes expresaron interés en la inclusión de "casos reales más complejos" y "recomendaciones para interpretar los resultados". Al integrar un escenario práctico y complejo, este nuevo video no solo consolidará los conocimientos, sino que, fundamentalmente, profundizará en la interpretación y análisis de los resultados, cerrando la brecha entre la teoría y la aplicación práctica, y fortaleciendo significativamente la capacidad de los estudiantes para enfrentar desafíos de diseño de sistemas energéticos de forma independiente.

10. CONCLUSIONES

El desarrollo de videos didácticos sobre HOMER Pro permitió disponer de un recurso estructurado, en español y que facilita el aprendizaje progresivo del software y su integración en la formación de ingenieros eléctricos. La pasantía contribuye a cerrar la brecha existente en recursos pedagógicos accesibles, fortaleciendo competencias clave para el diseño y optimización de microrredes híbridas, y preparando a los estudiantes para enfrentar los retos técnicos y económicos del sector energético.

La elaboración del estado del arte permitió identificar brechas educativas críticas en los recursos existentes para la enseñanza de HOMER Pro. Se constató una predominancia de contenido en inglés técnico, una orientación hacia usuarios intermedios o avanzados que carecía de una introducción básica y progresiva, así como deficiencias en la claridad pedagógica y en la presentación visual del entorno del software. Además, se observó que una proporción considerable de los materiales estaba desactualizada. Este análisis confirmó la necesidad urgente de desarrollar materiales didácticos accesibles, pedagógicos y adaptados al contexto hispanohablante, sentando las bases para la creación de los videos. La información recopilada fue sistematizada y organizada en un gestor de referencias (Zotero), facilitando su trazabilidad y consulta futura.

El análisis de HOMER Pro reveló que sus funcionalidades permiten modelar, simular y optimizar microrredes híbridas con alta precisión técnica y económica, gracias a su estructura modular, sus herramientas de análisis de sensibilidad, su capacidad de visualización detallada de resultados y su tratamiento integrado de componentes energéticos, económicos y ambientales. Estas capacidades lo consolidan no solo como herramienta de ingeniería aplicada, sino también como un recurso pedagógico valioso. La riqueza funcional del software validó su idoneidad para ser enseñada mediante estrategias audiovisuales y reafirmó la importancia de contextualizar sus capacidades en materiales accesibles y estructurados pedagógicamente.

La validación realizada con 20 estudiantes de ingeniería eléctrica demostró que los videos tutoriales permiten adquirir las habilidades necesarias para configurar sistemas, ejecutar simulaciones y analizar resultados de manera autónoma. Los resultados de la encuesta fueron altamente positivos, destacando que el 90% de los participantes encontró los videos "completamente suficientes" para comprender el uso del software en el caso de estudio. Además, el 100% afirmó que los videos les ayudaron a comprender la configuración de los componentes del sistema, y el 95% los recomendó para cursos de Ingeniería Eléctrica, permitiendo inferir que este material no solo es eficaz para la enseñanza del software, sino que también es una herramienta valiosa para la formación de profesionales capaces de diseñar soluciones energéticas sostenibles y económicamente viables. El 70% de los participantes logró completar exitosamente la simulación del caso de estudio lo que confirma transferencia efectiva de conocimiento práctico. La calidad del contenido y la estructura de los videos también fueron evaluadas favorablemente, con un 90% de los participantes considerando que cubrieron todas las funciones necesarias y un 100% que los encontró bien estructurados y ordenados.

11. RECOMENDACIONES

Mantener la producción de contenido en español y garantizar su actualización constante: La "barrera idiomática" y la "predominancia de contenido en inglés" fueron limitaciones significativas identificadas en el estado del arte. Es fundamental continuar desarrollando material en español y asegurarse de que estos recursos se actualicen regularmente para reflejar las últimas funcionalidades y versiones del software HOMER Pro, ya que la desactualización de materiales es una brecha común en los recursos existentes.

Explorar la integración curricular y establecer mecanismos de retroalimentación continua: Se recomienda que la Universidad Distrital Francisco José de Caldas o las facultades de Ingeniería Eléctrica consideren la integración formal de estos videos como material de apoyo en asignaturas pertinentes como energías renovables, microrredes, recursos distribuidos u optimización. La creación de un repositorio institucional, como podría ser un canal en la plataforma YouTube que agrupe estos y futuros materiales es vital para establecer canales de retroalimentación continua para que los estudiantes y docentes puedan sugerir mejoras o nuevos temas, garantizando que el material siga siendo relevante y responda a las necesidades educativas cambiantes.

Complementar los videos con el capítulo de funcionalidades detallado para referencia continua: Para potenciar aún más la utilidad del material, se recomienda vincular o integrar activamente el capítulo sobre las "Funcionalidades del software HOMER Pro" con los videos didácticos correspondientes. Este capítulo describe en profundidad aspectos como la parametrización de la carga eléctrica (Sección 7.1), los costos (Sección 7.2), la curva de costos (Sección 7.3), el espacio de búsqueda (Sección 7.4), el modelado de componentes, controlador (Sección 7.5.1), PV (Sección 7.5.2), aerogenerador (Sección 7.5.3), batería (Sección 7.5.4), convertidor (Sección 7.5.5), red (Sección 7.5.6), el modelado de recursos renovables (Sección 7.6) y el análisis de sensibilidad (Sección 7.7). Esta sinergia textual y visual fortalecerá la comprensión técnica y servirá como un recurso de referencia exhaustivo y autónomo para los estudiantes, permitiéndoles profundizar a su propio ritmo.

12. REFERENCIAS

Akhtar, U., & Iqbal, M. (2024). Design and Techno-Economic Analysis of an On-Grid Solar System for a House in Lahore, Pakistan. *Jordan Journal of Electrical Engineering*, *10*(4), 1. https://doi.org/10.5455/jjee.204-1706084676

Almanza Rodríguez, A., & Salazar Huertas, Y. W. (2024). *Diseño cartográfico de una microrred eléctrica en isla para una comunidad energética en la Playa Caño Dulce y sus alrededores en el municipio de Tubará Atlántico*. http://hdl.handle.net/11349/92062

Arunachalam, R. K., Chandrasekaran, K., Rusu, E., Ravichandran, N., & Fayek, H. H. (2023). Economic Feasibility of a Hybrid Microgrid System for a Distributed Substation. *Sustainability*, *15*(4), Article 4. https://doi.org/10.3390/su15043133

Ashraful Islam, M., Naushad Ali, M. M., Mollick, T., Islam, A., Benitez, I. B., Sidi Habib, S., Al Mansur, A., Shahadat Hossain Lipu, M., Flah, A., & kanan, M. (2024). Assessing the feasibility and quality performance of a renewable Energy-Based hybrid microgrid for electrification of remote communities. *Energy Conversion and Management: X*, *23*, 100674. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100674

Barton, J. P., & Infield, D. G. (2004). Energy storage and its use with intermittent renewable energy. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, *19*(2), 441-448. https://doi.org/10.1109/TEC.2003.822305

Biswash, R. A., Moniruzzaman, Md., Chowdhury, S. H., Saha, D., Billah, M. M., Al Helal, & Hasan, A. (2022). Design and Simulation of a Hybrid Microgrid System for Remote Areas of Kuakata, Bangladesh. *Australian Journal of Engineering and Innovative Technology*, 8-12. https://doi.org/10.34104/ajeit.022.008012

Castrillón, Y. U. L. (Director). (2023, mayo 12). *Simulación para el dimensionado de un sistema híbrido usando HOMER PRO para Guajira—Colombia.* [Video recording]. https://www.youtube.com/watch?v=dpOGlRnoO1U

Çetinbaş, İ., Tamyürek, B., & Demirtaş, M. (2019). Design, Analysis and Optimization of a Hybrid Microgrid System Using HOMER Software: Eskişehir Osmangazi University Example. *International Journal of Renewable Energy Development*, *8*(1), 65-79. https://doi.org/10.14710/ijred.8.1.65-79

Connolly, D., Lund, H., Mathiesen, B. V., & Leahy, M. (2010). A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems. *Applied Energy*, *87*(4), 1059-1082. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.09.026

Cuervo Arias, K., Sarmiento Ariza, Y. B., García, J. F., & Campos Rodríguez, L. T. (2021). *ESTUDIO DE CAPACIDADES DE LA HERRAMIENTA HOMER PRO*. https://noesis.uis.edu.co/items/c097130d-8878-449d-8d0c-dc57db239770

Enciso Pineda, Y., & Perdomo Ocampo, D. F. (2024). *Comparación y análisis de resultados obtenidos a partir de tres softwares especializados (Homer pro, Archelios Pro y solar*

Pro) en un proyecto real de un sistema solar fotovoltaico para una ZNI del país. http://hdl.handle.net/11349/91809

Fenner, G. S. (2004). *NREL International Programs • www.nrel.gov/international*.

García-García, J., & Osma-Pinto, G. (2023). Dimensionamiento y análisis de sensibilidad de una microrred aislada usando HOMER Pro. *TecnoLógicas*, *26*(56), Article 56. https://doi.org/10.22430/22565337.2565

HOMER Energy. (2016, agosto). *HOMER Pro Versión 3.7 User Manual*. https://homerenergy.com/pdf/HOMERHelpManual.pdf

HOMER Energy LLC. (2021, noviembre). *Foundations of HOMER® Pro Student Training Guide*. https://www.saarcenergy.org/wp-content/uploads/2021/11/HOMER-Pro-Foundations-Student-Training-Guide-ver20211125.pdf

Hüner, B. (2025). Feasibility and environmental analysis of biogas-based hybrid energy system using HOMER pro software: A case study for Hatay. *Energy Conversion and Management*, *326*, 119480. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.119480

Lambert, T., Gilman, P., & Lilienthal, P. (2005). Micropower System Modeling with Homer. En F. A. Farret & M. G. Simões (Eds.), *Integration of Alternative Sources of Energy* (1.ª ed., pp. 379-418). Wiley. https://doi.org/10.1002/0471755621.ch15

Morales Rojas, E. I. (2023). *Diseño de una microrred de energía conectada a la red en una planta empacadora de mango en Bogotá, Colombia*. http://hdl.handle.net/1992/69148

Natural Resources, Canada. (2010, marzo 9). *RETScreen*. https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-publications/tools-applications/retscreen

Naveed, A., Iqbal, S., Munir, S., Rehman, A. U., Eslami, M., & Kamel, S. (2024). Renewable energy integration in healthcare systems: A case study of a hospital in Azad Jammu and Kashmir. *IET Renewable Power Generation*, *18*(5), 796-809. Scopus. https://doi.org/10.1049/rpg2.12946

NREL. (2025). *About REopt | REopt: Renewable Energy Integration & Optimization | NREL*. REopt: Renewable Energy Integration and Optimization. https://www.nrel.gov/reopt/about

Onu, U. G., Zambroni de Souza, A. C., & Bonatto, B. D. (2023). Drivers of microgrid projects in developed and developing economies. *Utilities Policy*, *80*, 101487. https://doi.org/10.1016/j.jup.2022.101487

Rebollal Jordan, D. (s. f.). *HOMER Pro DISEÑO OPTIMIZADO DE MICRORREDES CON SISTEMAS HÍBRIDOS*.

Restrepo, D., Restrepo, B., & Trejos-Grisales, L. A. (2018). Microgrid analysis using HOMER: A case study. *DYNA*, *85*(207), Article 207. https://doi.org/10.15446/dyna.v85n207.69375

SAARC Energy Centre, Pakistan (Director). (2022). *Online Training on "HOMER Software"* [Video recording]. http://www.youtube.com/playlist?list=PLAphw2okeOhX6_PXfqxYv52RU073XFUFR

Said, T. R., Kichonge, B., & Kivevele, T. (2024). Optimal design and analysis of a grid-connected hybrid renewable energy system using HOMER Pro: A case study of Tumbatu Island, Zanzibar. *Energy Science & Engineering*, *12*(5), 2137-2163. https://doi.org/10.1002/ese3.1735

Santander Universidades. (2024). *Qué es el microlearning: Características y ventajas*. Santander Open Academy. https://www.santanderopenacademy.com/es/blog/microlearning.html

UL Solutions. (s. f.-a). *Foundations of HOMER Pro*. Recuperado 18 de marzo de 2025, de https://support.ul-renewables.com/homer-training-pro/

UL Solutions. (s. f.-b). *How HOMER Calculates Emissions*. Recuperado 21 de abril de 2025, de https://support.ul-renewables.com/homer-manuals-pro/how_homer_calculates_emissions.html

UL Solutions (Director). (2016). *HOMER Renewable Energy Software Training* [Video recording]. https://www.youtube.com/watch?v=Q72z-k8brtc&list=PL6mS4aoqHFn5qyQY9qa7mjHRWDlvhbWml&index=1

UL Solutions. (2022). *HOMER - Hybrid Renewable and Distributed Generation System Design Software*. https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html

UL Solutions. (2025). *Welcome to HOMER*. HOMER Pro 3.16. https://support.ul-renewables.com/homer-manuals-pro/index.html

ANEXOS

ANEXO A. GUÍA PARA LA SIMULACIÓN DE CASO DE ESTUDIO 1 EN HOMER Pro

Caso de estudio n°1: Diseño óptimo y análisis de un sistema híbrido de energía renovable conectado a la red utilizando HOMER Pro: Un caso de estudio de la isla de Tumbatu, Zanzíbar, parte de Tanzania, en la costa oriental de África. (Said et al., 2024)

Objetivo: Simular en HOMER Pro el caso de estudio, tomando como referencia los videos y datos necesarios de la CARPETA EN ONEDRIVE: VIDEOS FINALES 3

Guía de simulación:

1. **Descargar y activar licencia del software (ver video 1. Introducción a Homer pro)**

Descargar el instalador (HomerPro-3.18.4x64.msi) desde el ONEDRIVE

2. **Ventana home (video 2: recorrido por Homer pro)**

Name: Caso de estudio de la isla de Tumbatu
Author: Nombre
Description: Caso de estudio de la isla de Tumbatu, diseño óptimo y análisis de un sistema híbrido de energía renovable conectado a la red utilizando HOMER Pro.
Location: Tumbatu
Nota: No olvide descargar los recursos en **Resources**

Discount rate (%): 5
Inflation rate (%): 2
Annual capacity shortage (%): 10
Project lifetime (years): 25
Currency: US DOLLAR ($) **(Video 12: La Ventana "Proyecto" en HOMER Pro)**
Nota: Para “Currency” ve a la pestaña Project (Economics) y define la moneda base

3. **Definir load (Video 3: La pestaña de carga eléctrica en HOMER Pro)**

Agregar la carga, archivo de Excel “caso de estudio Tumbatu”

Una vez definida la carga, continuar como sigue:

Random Variability
Day-to-day (%): 10
Timestep (%): 20
Scaled Annual Average (kWh/day): 6000

4. **Definir COMPONENTS (VER VIDEO SEGÚN COMPONENTE)**

Elemento	PV	Turbina Eólica	Convertidor	Almacenamiento	Red
Modelo	Generic flat plate PV	Generic 3 kW	System Converter	Discover 12VRE-3000TF	Tarifas Simples
Capacidad (kW o kWh)	1	3	1	3.114 kWh	-
Cantidad	1	1	1	1	-
Capital ($)	883	4065	800	800	-
Reemplazo ($)	529	2844.5	560	560	-
O&M ($/año)	8.83	20	8	8	-
Tiempo (años)	25	-	-	4	-
Factor de Derivación (%)	80	-	-	-	-
¿Considera Efectos de Temperatura?	Sí	Sí	-	-	-
Precio de Energía de Red ($/kWh)	-	-	-	-	0.114
Precio de Venta de Red ($/kWh)	-	-	-	-	0.05

Adicional para **WIND TURBINE** definir el siguiente espacio de búsqueda:

Search Space:

kW
0
10
20
30

5. **Definir restricciones en ventana project (constraints)**

   (Video 12: La Ventana "Proyecto" en HOMER Pro)

   Minimum renewable fraction (%): 40

6. **Finalmente calculamos: dar clic en "Calculate" Nota (asegurarse que el botón esté activo, de no ser así software no va a simular)**

Una vez concluida la simulación ayúdanos respondiendo las siguientes preguntas: https://docs.google.com/forms/d/1TscRfUzXB86Kr94DpWmfcHNbmrTRDzc702i0FQq_k_A/edit

ANEXO B. GUÍA PARA LA SIMULACIÓN DE CASO DE ESTUDIO 2 EN HOMER Pro

Caso de estudio n°2: Diseño cartográfico de una microrred eléctrica en isla para una comunidad energética en la playa caño dulce y sus alrededores en el municipio de Tubará atlántico.(Almanza Rodríguez & Salazar Huertas, 2024)

Objetivo: Simular en HOMER Pro el caso de estudio, tomando como referencia los videos y datos necesarios de la CARPETA ONEDRIVE: VIDEOS FINALES 3

Guía de simulación:

1. **Descargar y activar licencia del software (video 1: introducción a Homer pro)**

Descargar el instalador (HomerPro-3.18.4x64.msi) desde el ONEDRIVE

2. **Ventana home (video 2: recorrido por Homer pro)**

Name: Comunidad de caño dulce tubará atlántico
Author: Nombre
Descripción: Comunidad 10 casas y 40 casetas con una potencia de 15kW aproximadamente.
Location: Caño dulce tubará atlántico (10° 56.3'N, 75°1.7'W).
Nota: No olvide descargar los recursos en **Resources**

Discount rate (%): Por defecto
Inflation rate (%): Por defecto
Annual capacity shortage (%): Por defecto
Project lifetime (years): 25
Currency: COP ($) (Peso colombiano)
Nota: Para "Currency" Ve a la pestaña Project (Economics) y define la moneda base (**Video 12: La Ventana "Proyecto" en HOMER Pro)**

3. **Definir load (Video 3: La pestaña de carga eléctrica en HOMER Pro**

Agregar el perfil de carga, utilizando la función importar, cargando el archivo de texto correspondiente al "caso de estudio caño dulce"

Una vez definida la carga, continuar como sigue:

Random Variability (NO ES EDITABLE PARA ESTE CASO, VERIFICAR VALORES)
Day-to-day (%): 8.375
Timestep (%): 0.067
Scaled Annual Average (kWh/day): 88.47

4. **Definir COMPONENTS (VER VIDEO SEGÚN COMPONENTE)**

Elemento	PV		Turbina Eólica	Convertidor	Almacenamiento		Generador
Modelo	Generic flat plate PV		Generic 3 kW	System Converter	SmatLi-672V-100AH-F/S		Protector
Capacidad (kW)	**Curva de costos**				**Curva de costos**		
	0.5	3.5	3	1	1	5	15
Cantidad	1	1	1	1	1	1	1
Capital ($)	375.000	2'423.00	6'650.000	650.000	4'028.000	4'028.000	22'900.000
Reemplazo ($)	375.000	2'423.00	6'650.000	650.000	18'445.000	18'445.000	20'000.000
O&M ($/año)	60.000	420.000	180.000	0	0	0	-
O&M ($/op. hour)	-	-	-	-	-	-	1.000
Precio del combustible ($/L).	-	-	-	-	-	-	2.735 - 4.200
Tiempo (años)	25	25	20	20	15	15	15
Factor de Derivación (%)	85	85	-	-	-	-	-
¿Considera Efectos de Temperatura?	Sí	Sí	Sí	-	-	-	-

5. **Definir restricciones en VENTANA PROJECT (Constraints) (Video 12: La Ventana "Proyecto" en HOMER Pro)**

   Minimum renewable fraction (%): 40

6. **Finalmente calculamos: dar clic en "Calculate"**

   Nota (asegurarse que el botón esté activo, de no ser así software no va a simular)

Una vez concluida la simulación ayúdanos respondiendo las siguientes preguntas:
https://docs.google.com/forms/d/1TscRfUzXB86Kr94DpWmfcHNbmrTRDzc702i0FQq_k_A/edit

ANEXO C. GUÍA PARA LA SIMULACIÓN DE CASO DE ESTUDIO 3 EN HOMER Pro

Caso de estudio n°3: Dimensionamiento y análisis de sensibilidad de una microrred aislada usando HOMER Pro. (García-García & Osma-Pinto, 2023)

Objetivo: Simular en HOMER Pro el caso de estudio, tomando como referencia los videos y datos necesarios de la CARPETA EN ONEDRIVE: VIDEOS FINALES 3

Guía de simulación:

1. **Descargar y activar licencia del software**

   (Video 1: Introducción a HOMER Pro)

Descargar el instalador (HomerPro-3.18.4x64.msi) desde el ONEDRIVE

2. **Ventana home (Video 2: Recorrido por HOMER Pro)**

Name: Caso de estudio microrred aislada
Author: Nombre
Description: Este trabajo considera un conjunto de usuarios residenciales rurales ubicados cerca al municipio de Sipí (4.653°N, 76.645°W) a 332 msnm, lugar que corresponde a una zona del departamento de Chocó (Colombia) con limitaciones para el acceso al servicio de energía eléctrica.
Location: Municipio de Sipí
Nota: No olvide descargar los recursos en **Resources**

Discount rate (%): 8
Inflation rate (%): 2
Annual capacity shortage (%): 5
Project lifetime (years): 25
Currency: US DOLLAR ($) **(Video 12: La Ventana "Proyecto" en HOMER Pro)**
Nota: Para “Currency” ve a la pestaña Project (Economics) y define la moneda base

3. **Definir load (Video 3: La pestaña de carga eléctrica en HOMER Pro)**

Agregar un perfil de carga estándar **tipo Residencial** en el menú desplegable, una vez en la ventana de carga definir un promedio anual escalado de 50 (kWh/día) obteniendo un pico de consumo de 9.8 kW.

Scaled Annual Average (kWh/day): 50

4. **Definir COMPONENTS (VER VIDEO SEGÚN COMPONENTE)**

Elemento	PV	Turbina Eólica	Convertidor	Almacenamiento	Generador
Modelo	Generic flat plate PV	Generic 10kW	System Converter	Batería plomo ácido 12V, 200Ah	Generador diésel Auto Genset
Capacidad (kW)	1	10	1	-	1
Capacidad (kWh)	-	-	-	2.4	-
Cantidad	1	1	1	3	1
Capital ($)	1210	1500	590	300	340
Reemplazo ($)	1210	1500	590	300	340
O&M ($/año)	15	190	10	3.75	10.95
Tiempo (años)	25	20	15	10	-
Tiempo (horas)	-	-	-	-	15000

5. **ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD:** Para realizar este análisis seleccione máximo 2 variables (Nota: Usar más variables podría aumentar demasiado el tiempo de simulación)

Variable	Valores	Comentario
Radiación Solar (kWh/día)	3.5 4.25	Rango de valores de irradiación solar en Colombia.
Velocidad del viento (m/s)	1.0 2.0	Rango de valores de velocidad del viento en Colombia.
Precio del combustible($/l)	0.38 0.51	Potencial variación del precio de combustible en Colombia.
Estado mínimo de carga de la batería (%)	50 60	Valores posibles usados en dimensionamiento.
Temperatura ambiente (°C)	15 35	Rango de valores de temperaturas ambiente promedio en Colombia.
Tasa de descuento (%)	8 10	Valores representativos para Colombia.
Tasa de inflación (%)	3 4	Valores representativos para Colombia.

6. **DEFINIR RESTRICCIONES EN VENTANA PROJECT (CONSTRAINTS)**
   (Video 12: La Ventana "Proyecto" en HOMER Pro)
   Minimum renewable fraction (%): 32
7. **Finalmente calculamos: dar clic en "Calculate" Nota (asegurarse que el botón esté activo, de no ser así software no va a simular**

Una vez concluida la simulación ayúdanos respondiendo las siguientes preguntas:
https://docs.google.com/forms/d/1TscRfUzXB86Kr94DpWmfcHNbmrTRDzc702i0FQq_k_A/edit