



Sistema de gestión óptima de la energía para la coordinación de microrredes operando en modo isla.

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica

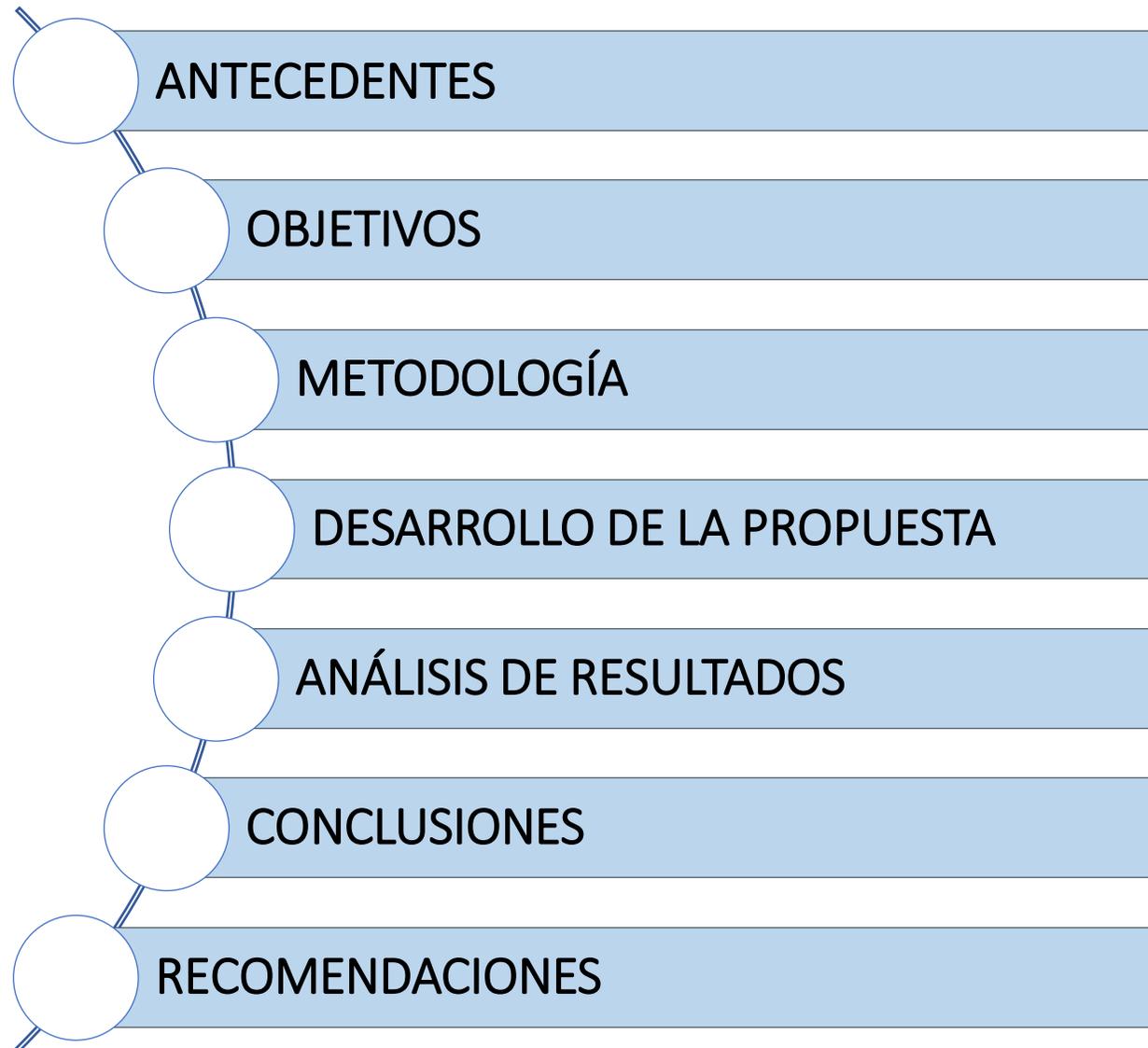
Autores: Pinto Calispa, Bryan Alexander
Torres Taco, Luis Gonzalo

Tutora: Ing. Llanos Proaño, Jacqueline del Rosario PhD.

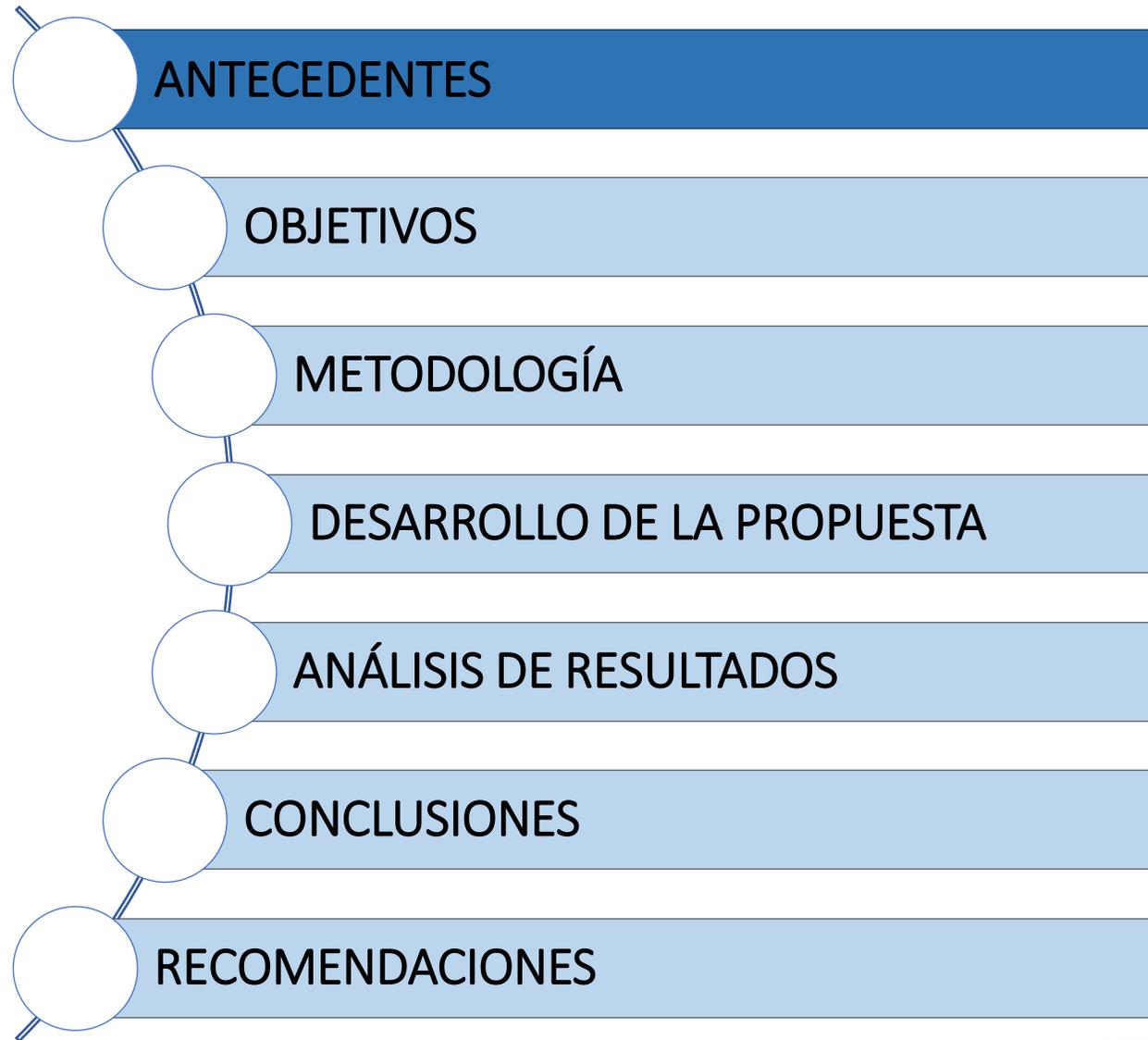
Latacunga 2023



AGENDA



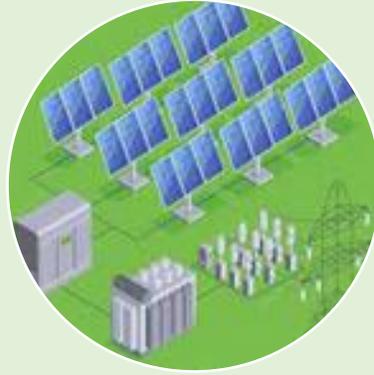
AGENDA



Antecedentes



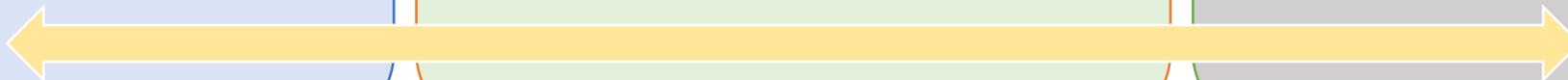
El incremento poblacional no cesa en todo el mundo y con ello el desafío de abastecer el consumo eléctrico que acarrea algunos problemas ambientales.

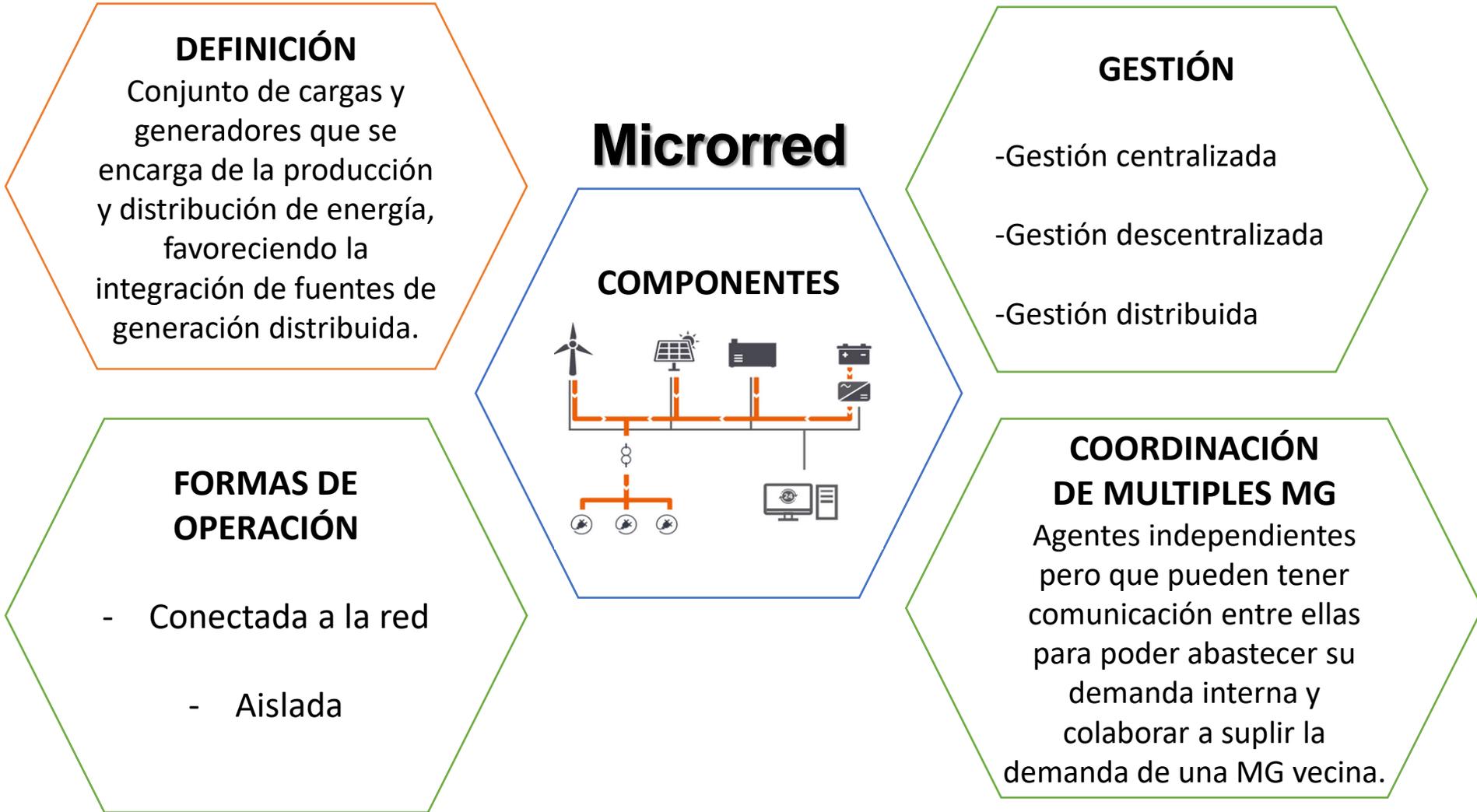


La capacidad de producción de energía renovable instalada tiene una tendencia creciente en los últimos años en varios países del mundo, teniendo como principales fuentes de energía a el sol y el viento



En el Ecuador el gobierno tiene el compromiso de impulsar la implementación de nuevas tecnologías en beneficio del medio ambiente

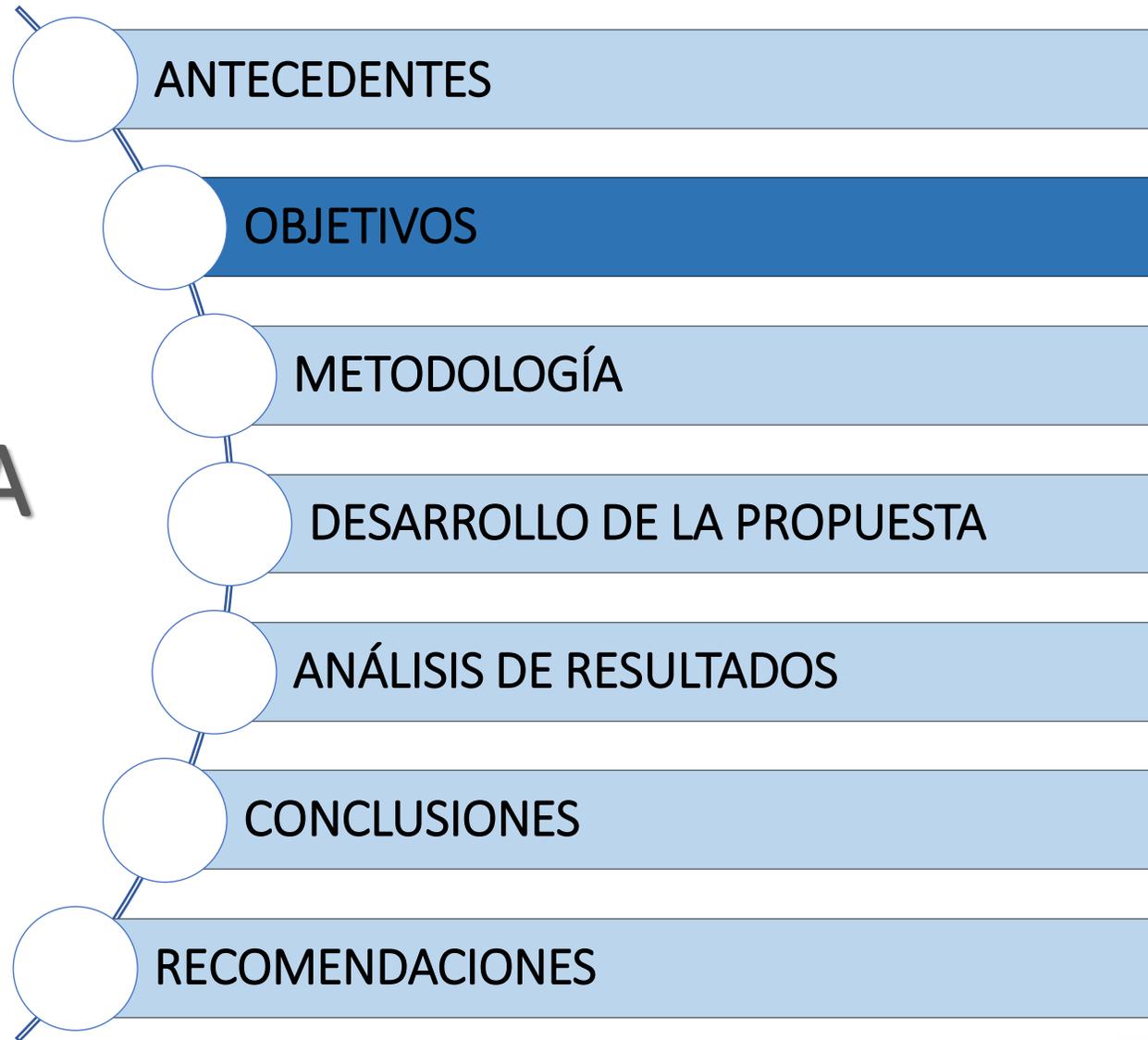




Investigaciones de Microrredes

Tema	Discusión	Referencia
Planificación de microrredes para la generación de energía para Galápagos considerando vehículos eléctricos y estufas de inducción	Analiza las alternativas de energía renovable para la región amazónica de Ecuador. Se evalúan dos escenarios considerando diferentes tipos de generación. Se realiza un espacio de búsqueda, y para cada escenario se obtiene la configuración óptima en términos de costos.	(Clairand, 2019)
Energy Management System Optimization in Islanded Microgrids.	Estudio mediante el cual se da a conocer un sistema de gestión de energía (EMS), visto desde el punto de vista de optimización para ser aprovechadas en microrredes aisladas de la red.	(Maurilio. R, 2021)
Hierarchical Coordination of a Community Microgrid with AC and DC Microgrids.	Planteamiento de una microrred comunitaria con múltiples microrredes de CA y CC operando como entidades autocontroladas de forma individual con requisitos de frecuencia y voltaje. Se expone una estrategia con coordinación primaria, secundaria y terciaria para la operación económica de una comunidad isleña.	(Che, Shahidehpour, Alabdulwahab, & Turki, 2015)

AGENDA



Objetivo General

Diseñar un sistema supervisorio de gestión óptima de la energía para la coordinación de microrredes que estén operando en modo isla, con el fin de aprovechar la energía basada en recursos naturales disponibles.

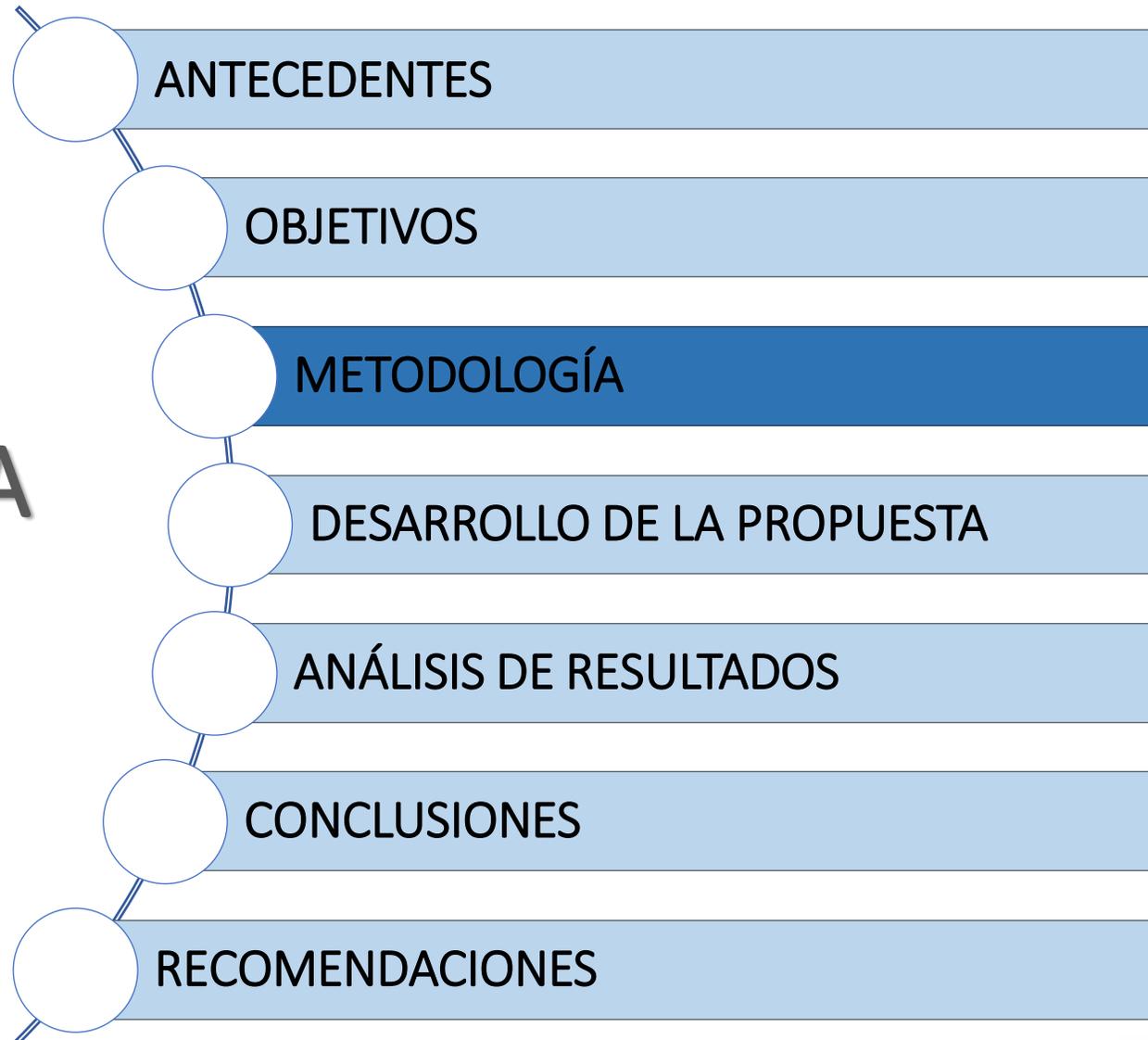
Objetivos Específicos

- Realizar una revisión bibliográfica acerca de las metodologías que permitan desarrollar la coordinación de microrredes aisladas.

Objetivos Específicos

- Diseñar y evaluar un sistema de gestión óptima de la energía EMS para cada microrred a coordinar, que permita gestionar la operación segura, confiable y económica de cada microrred aislada.
- Proponer, diseñar y validar un sistema supervisorio basado en un problema de optimización que permita la coordinación de varias microrredes aisladas.
- Analizar la propuesta de operación coordinada de microrredes en comparación con las microrredes operando independientemente.

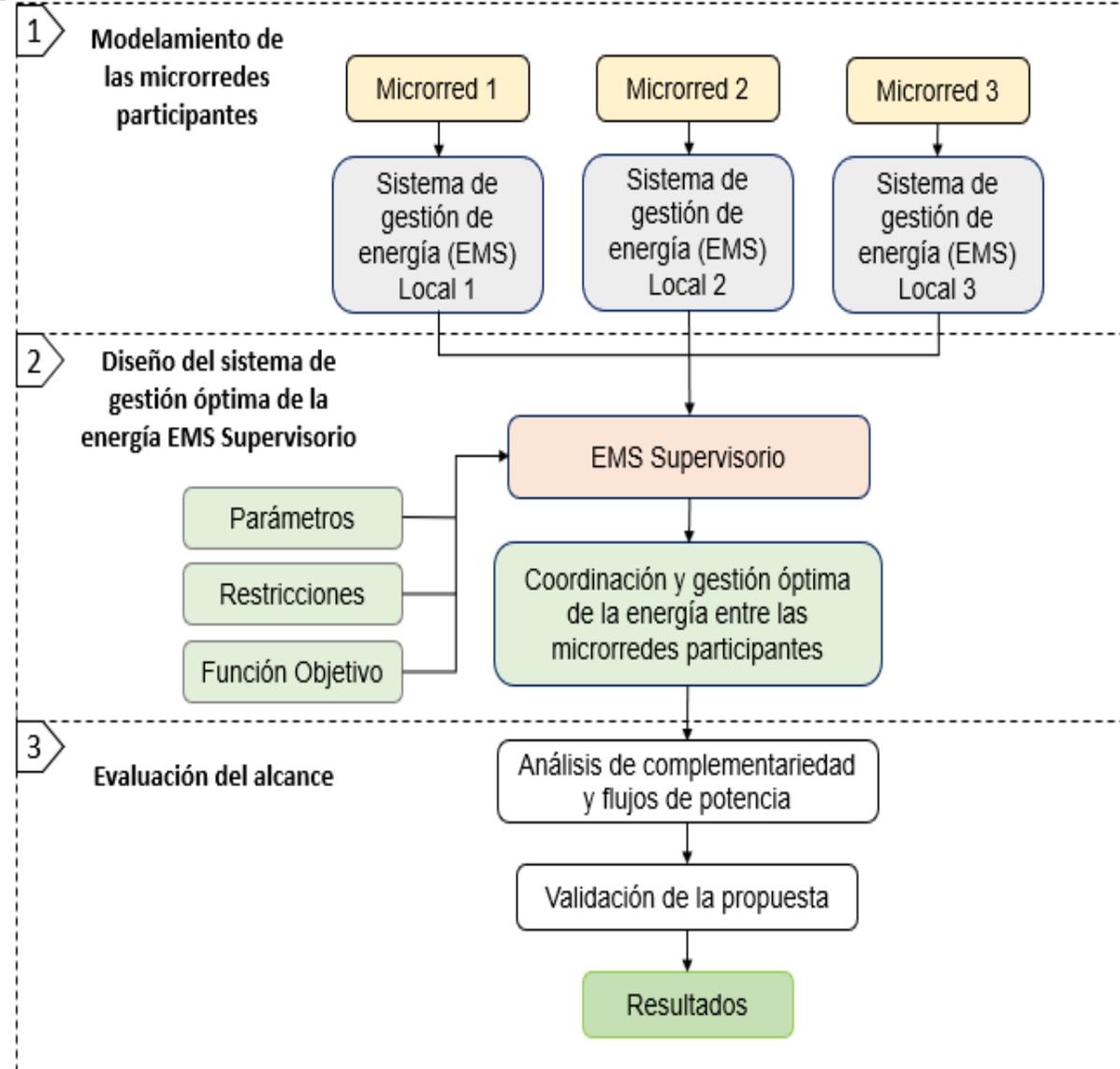
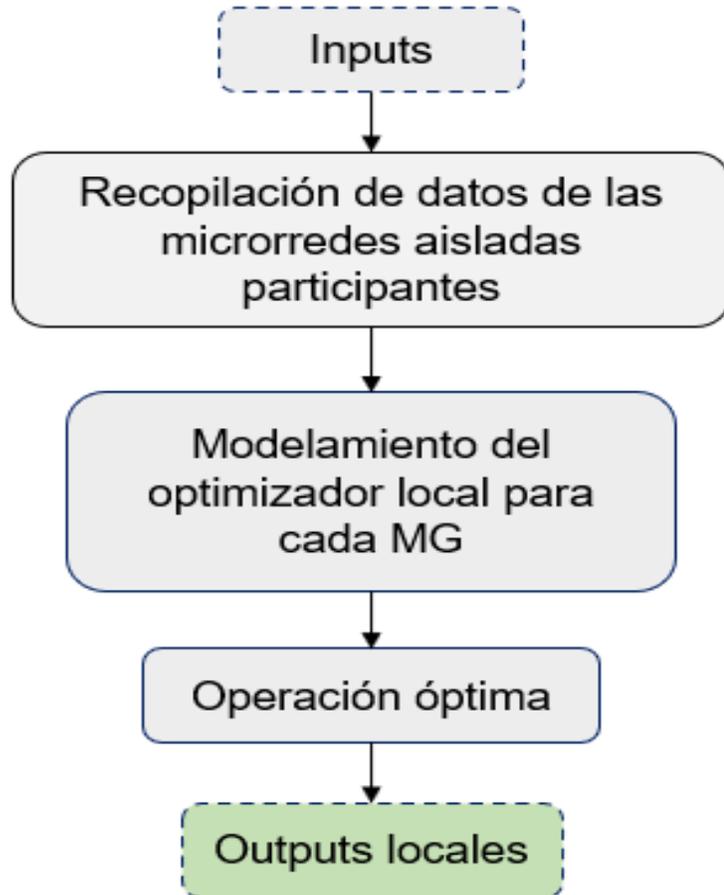
AGENDA



Metodología

1. Modelamiento de las microrredes participantes

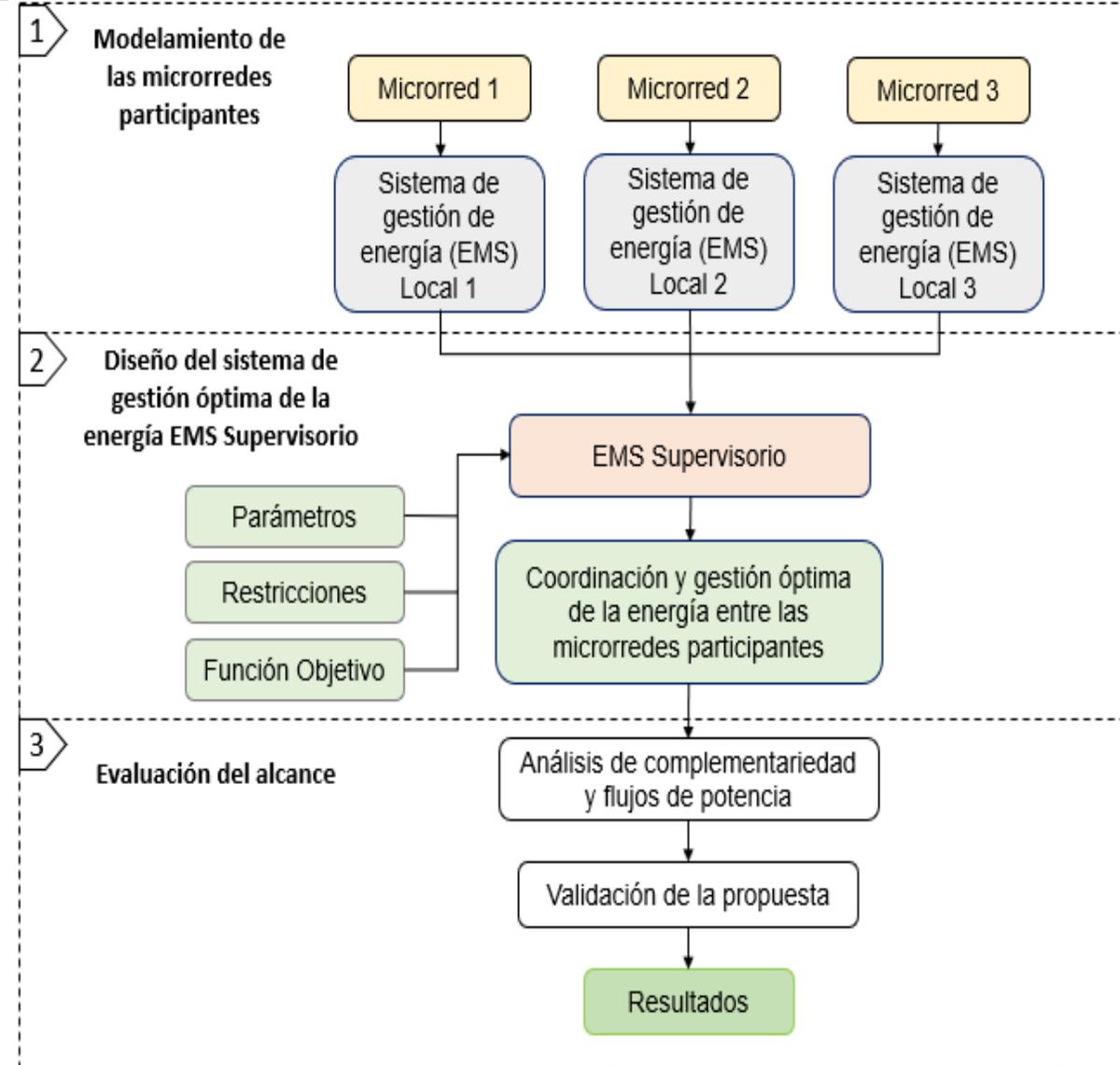
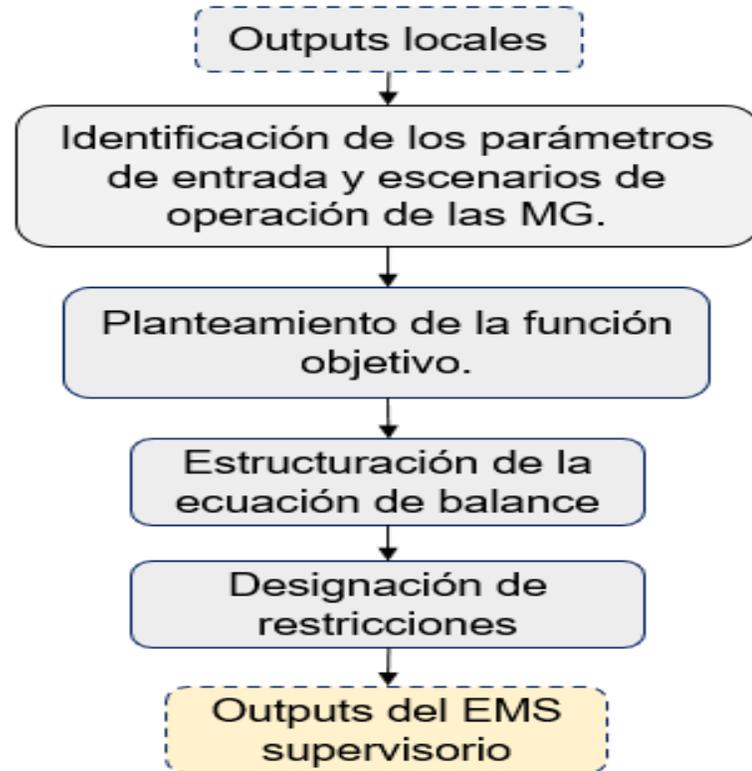
Se modela las microrredes aisladas participantes, estableciendo los parámetros en cada microrred y para ello se plantea subetapas.



Metodología

2. Diseño del sistema de gestión óptima de la energía EMS supervisorio

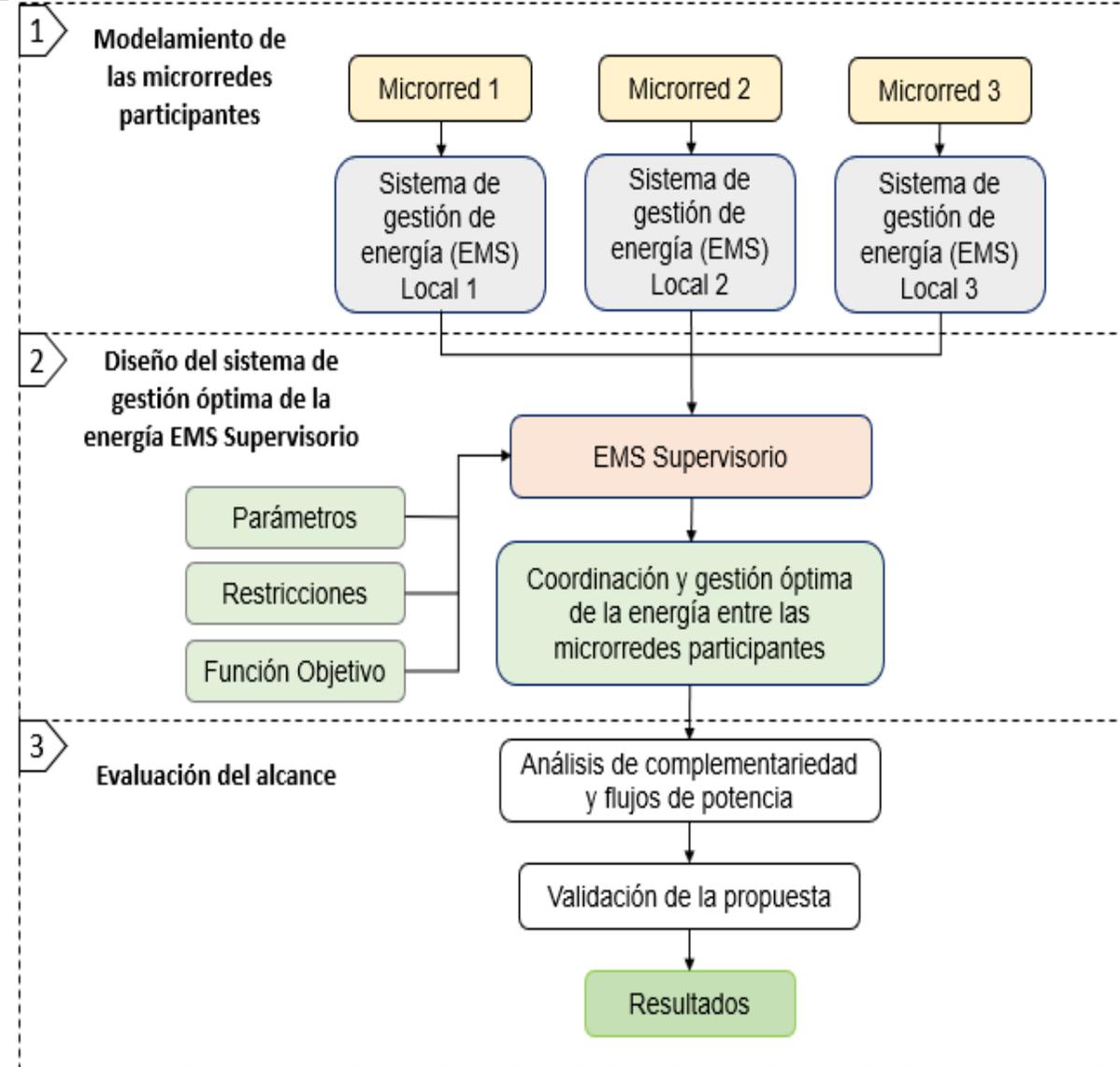
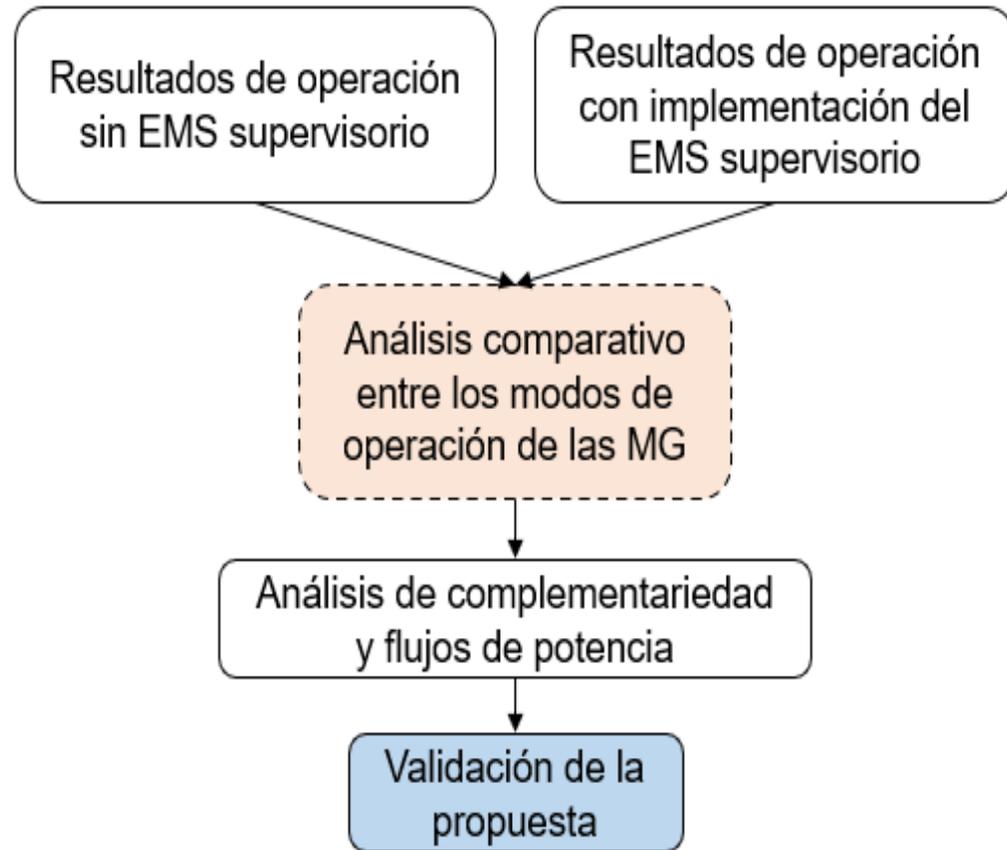
Se diseña el EMS supervisorio para coordinar las microrredes asiladas ya establecidas, tomando los datos entregados por las mismas y estableciendo como se dará el intercambio de energía, para ello se plantea las siguientes subetapas.



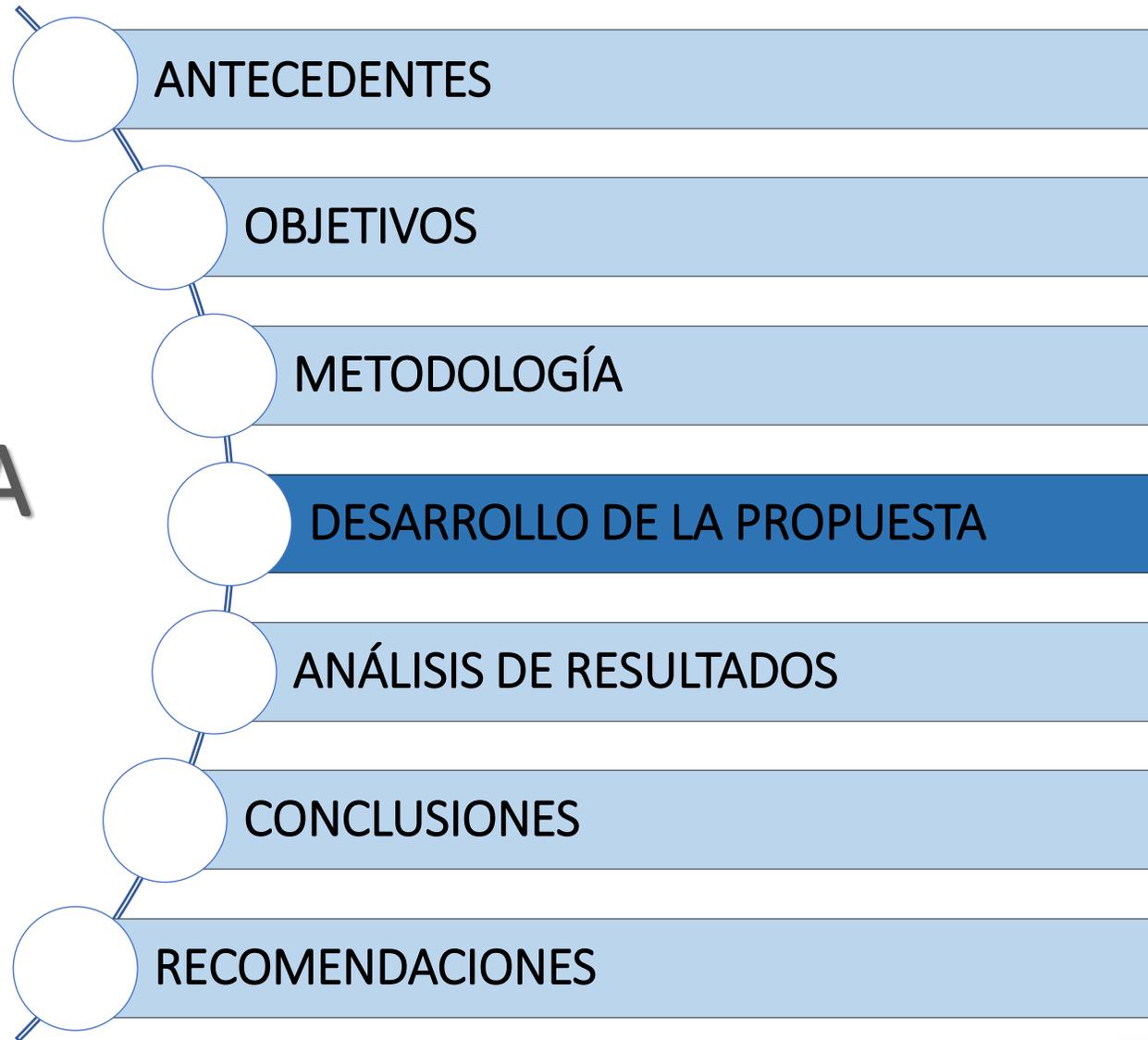
Metodología

3. Evaluación del alcance

Estudio y análisis de los resultados obtenidos en la operación de las microrredes, para ello se realiza los siguientes pasos planteados.



AGENDA

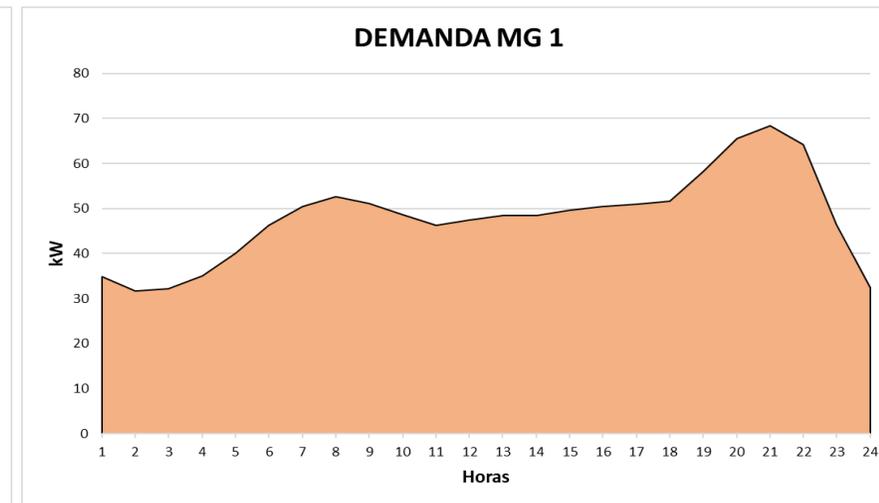
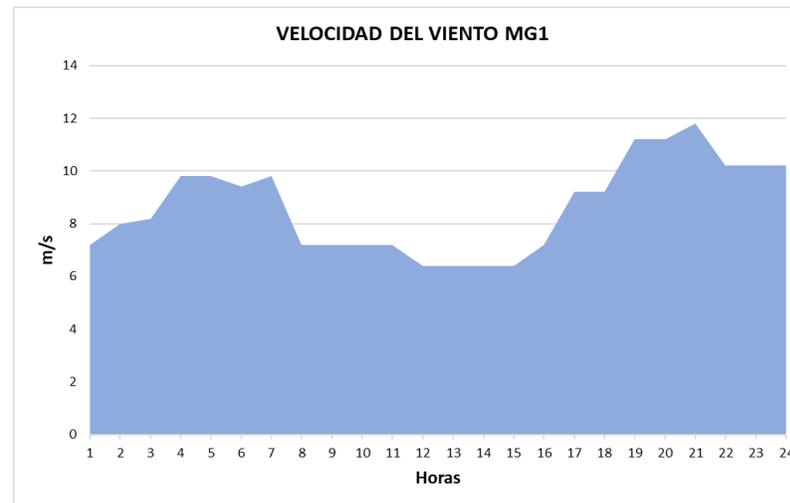
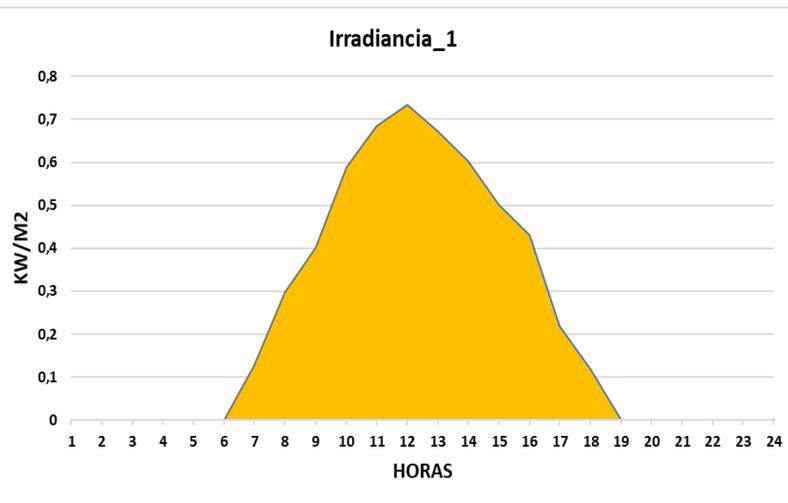


Microrred 1

La microrred 1 está compuesta de generación fotovoltaica, eólica, sistema de almacenamiento de energía y la carga producida por los usuarios de la misma.

$$Objective = (Cost_{GD} * P_{GD}) + (Cost_{NS} * P_{NS}) + (0,8 * P_{VS}) + (0,8 * P_{VE})$$

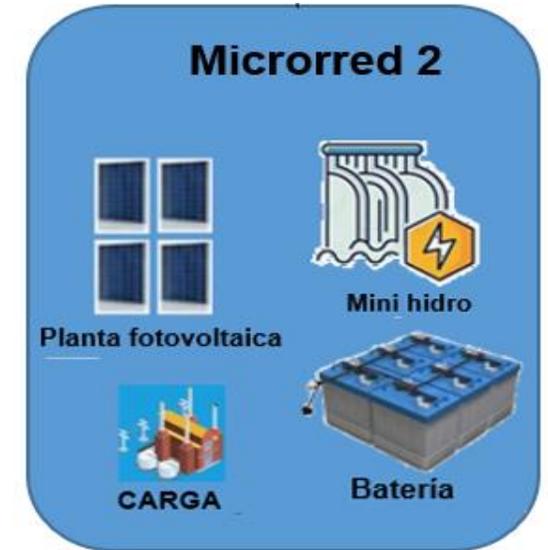
$$P_{GD} + P_{GS} + P_{GE} + P_{BD} + P_{GV1} = D + P_{VS} + P_{VE} - P_{ENS} - P_{BC}$$



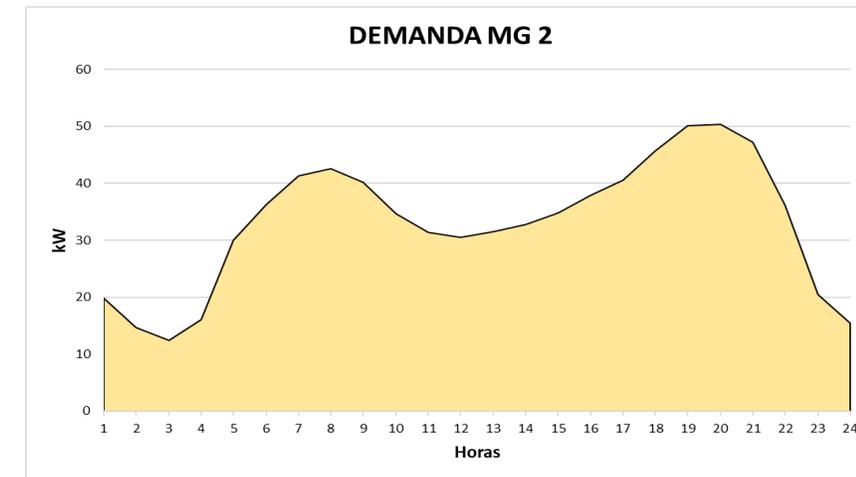
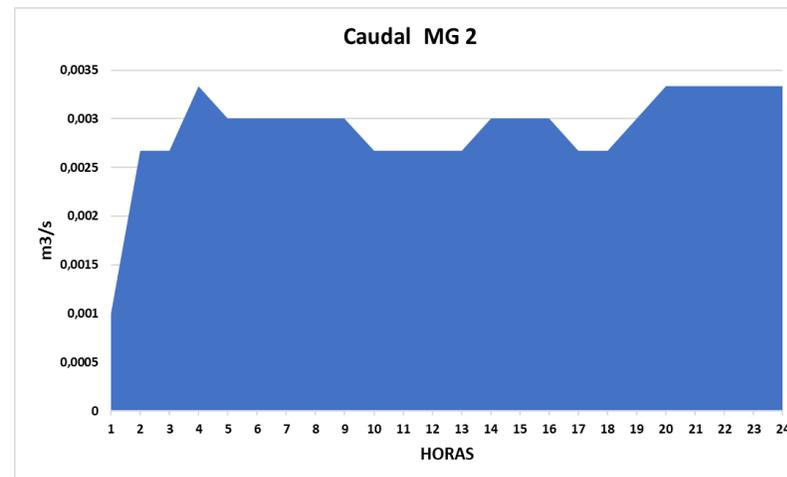
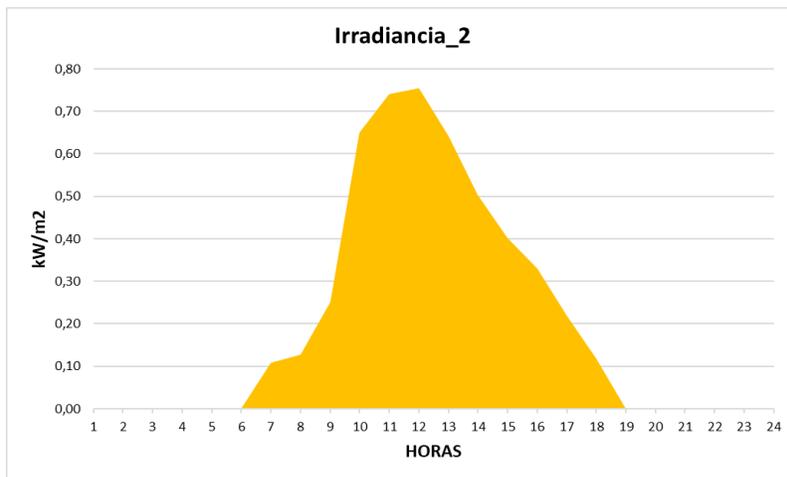
Microrred 2

La microrred 2 está compuesta de generación fotovoltaica, mini hidro, un sistema de almacenamiento de energía y la carga producida por los usuarios de la misma.

$$P_{GS}(t) + P_{GH}(t) + P_{BD}(t) + P_{GVIRT}(t) = D(t) + P_{VS}(t) + P_{VH}(t) - P_{BC}(t) - ENS(t)$$



$$Objective = (Cost_{ENS} * ENS(t)) + (Cost_{VS} * P_{VS}(t)) + (Cost_{VH} * P_{VH}(t)) + (Cost_{BD} * P_{BD}(t))$$



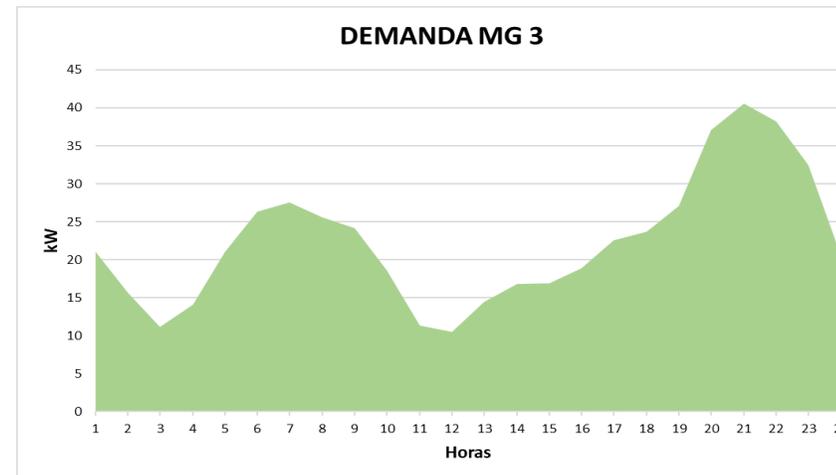
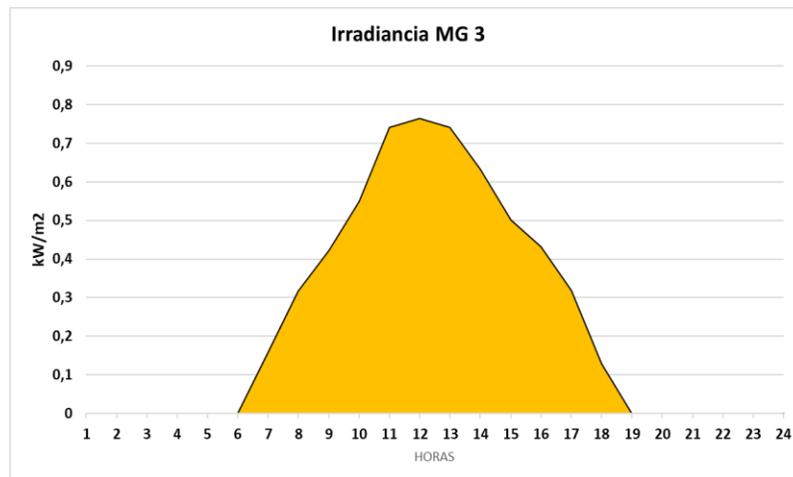
Microrred 3

La microrred 3 está compuesta de generación fotovoltaica, un generador diésel, un sistema de almacenamiento de energía y la carga producida por los usuarios de la misma.

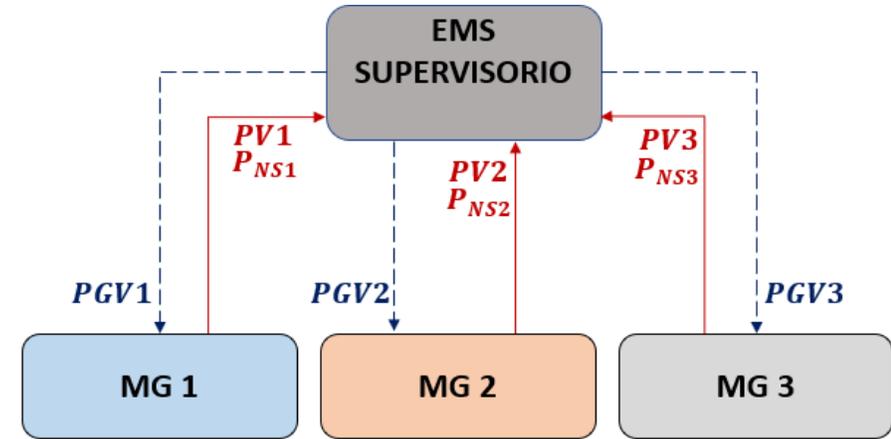
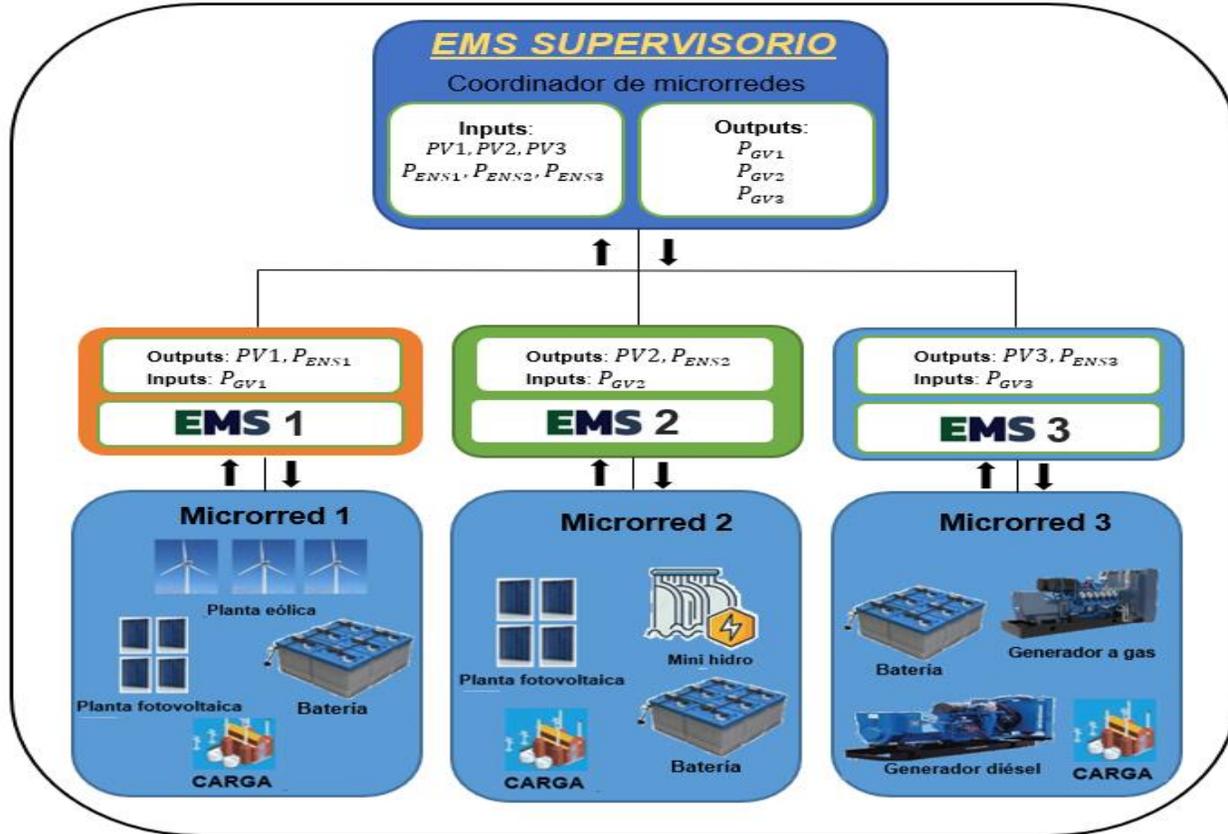
$$P_{GD}(t) + P_{GS}(t) + P_{BD}(t) + P_{GVIRT}(t) = D(t) + P_{VS}(t) - P_{BC}(t) - ENS(t)$$



$$Objective = (Cost_{ENS} * ENS(t)) + (Cost_{GD} * P_{GD}(t)) + (Cost_{VS} * P_{VS}(t)) + (Cost_{BD} * P_{BD}(t))$$



EMS SUPERVISORIO



RESTRICCIONES

$$PV1_{EMSS} \leq PV1$$

$$PV2_{EMSS} \leq PV2$$

$$PV3_{EMSS} \leq PV3$$

$$D = P_{ENS1} + P_{ENS2} + (P_{ENS3} + P_{GD3})$$

$$PGV1 \leq P_{ENS1} - P_{ENS1EMSS}$$

$$PGV2 \leq P_{ENS2} - P_{ENS2EMSS}$$

$$PGV3 \leq (P_{ENS3} + P_{GD3}) - P_{ENS3EMSS}$$

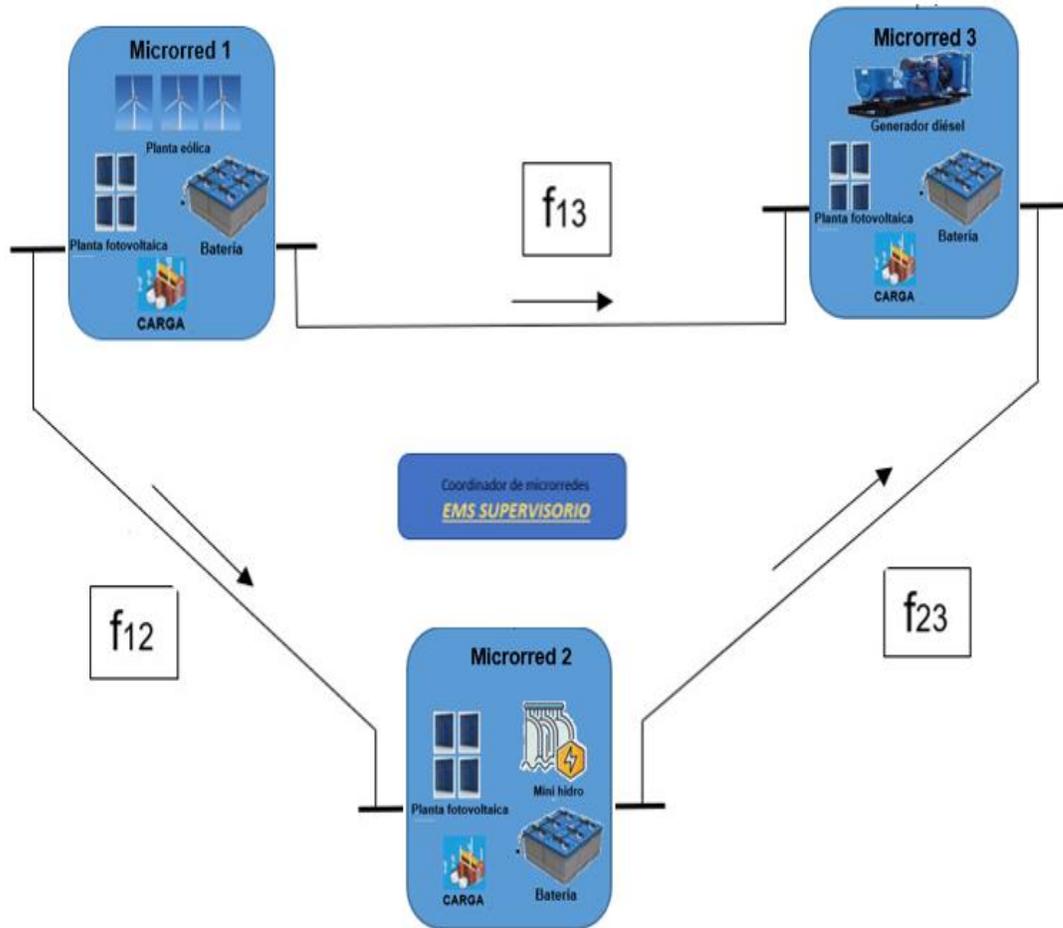
Objective

$$= (Cost_{VEMSS} * PV1_{EMSS}) + (Cost_{VEMSS} * PV2_{EMSS}) + (Cost_{VEMSS} * PV3_{EMSS}) + (Cost_{ENSEMSS} * P_{NS1EMSS}) + (Cost_{NSEMSS} * P_{NS2EMSS}) + (Cost_{ENSEMSS} * P_{NS3EMSS})$$

$$Balance: P_{GD}(t) + P_{GS}(t) + P_{BD}(t) + P_{GVIRT}(t) = D(t) + P_{VS}(t) - P_{BC}(t) - ENS(t)$$

FLUJOS DE POTENCIA PARA LA COORDINACIÓN DE MICRORREDES

Balace



$$[PV1(t) - PV1_{EMSS}(t)] - f_{13}(t) - f_{12}(t) = P_{ENS1}(t) - P_{ENS1_{EMSS}}(t)$$

$$[PV2(t) - PV2_{EMSS}(t)] - f_{23}(t) - f_{12}(t) = P_{ENS2}(t) - P_{ENS2_{EMSS}}(t)$$

$$[PV3(t) - PV3_{EMSS}(t)] - f_{13}(t) - f_{23}(t) = P_{ENS3}(t) - P_{ENS3_{EMSS}}(t)$$

Restricciones de flujo

$$-\overline{f_{12}} \leq f_{12} \leq \overline{f_{12}}$$

$$-\overline{f_{13}} \leq f_{13} \leq \overline{f_{13}}$$

$$-\overline{f_{23}} \leq f_{23} \leq \overline{f_{23}}$$

$$f_{12} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{X_{12}}$$

$$f_{13} = \frac{\theta_3 - \theta_1}{X_{13}}$$

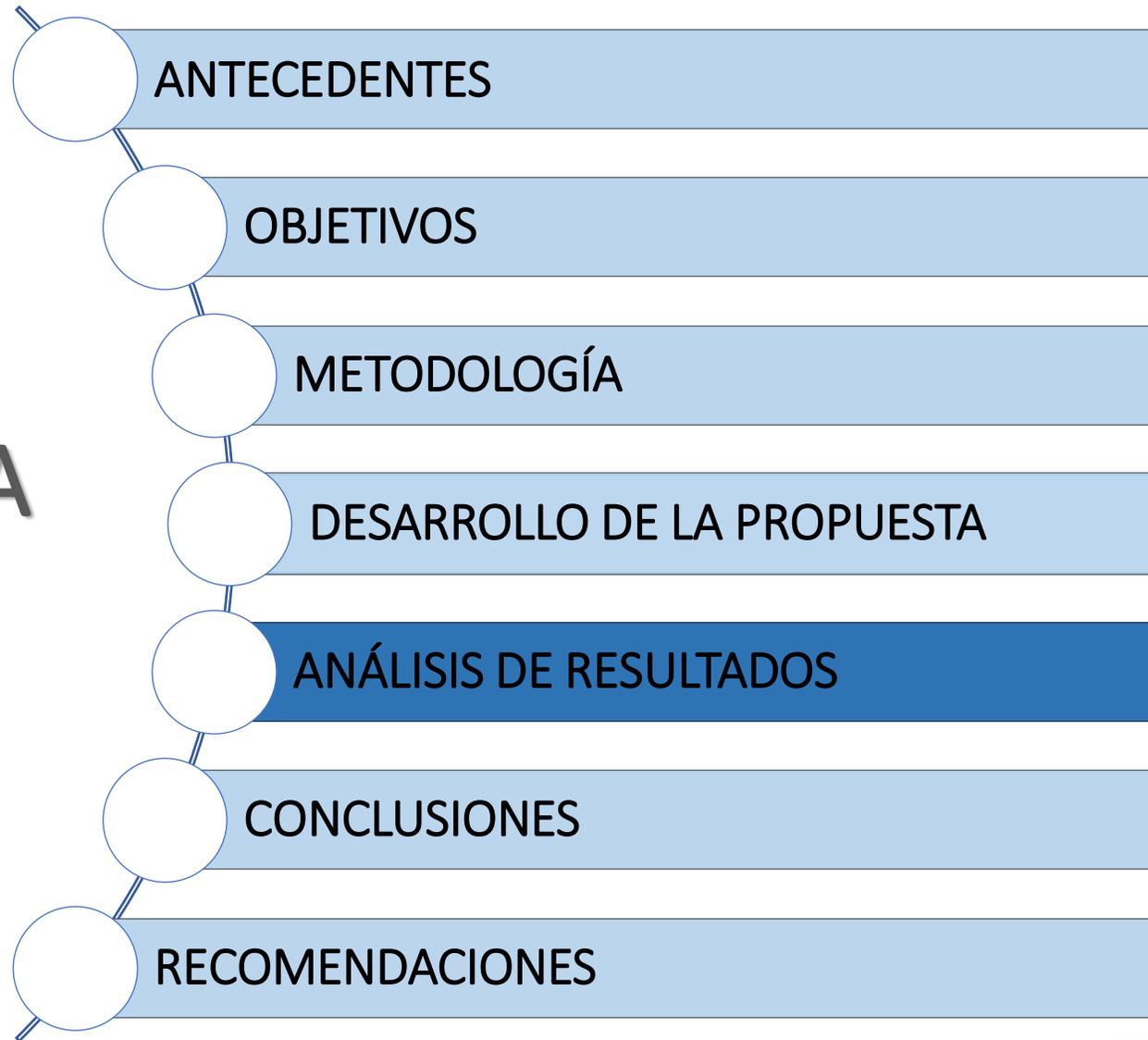
$$f_{23} = \frac{\theta_3 - \theta_2}{X_{23}}$$

Barra Slack pertenece a la MG 1

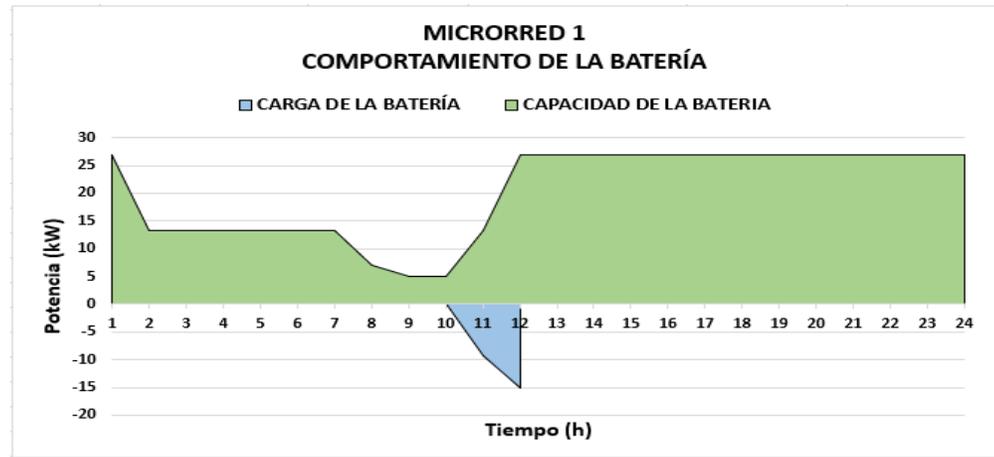
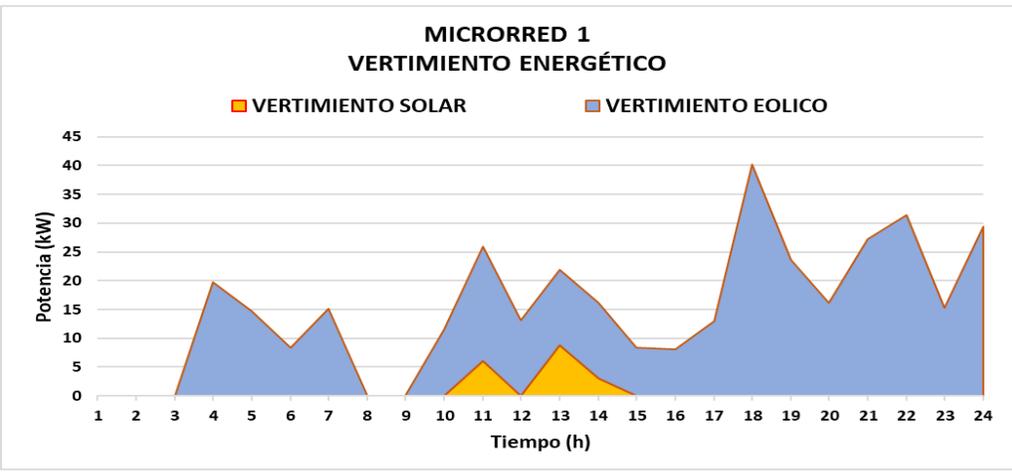
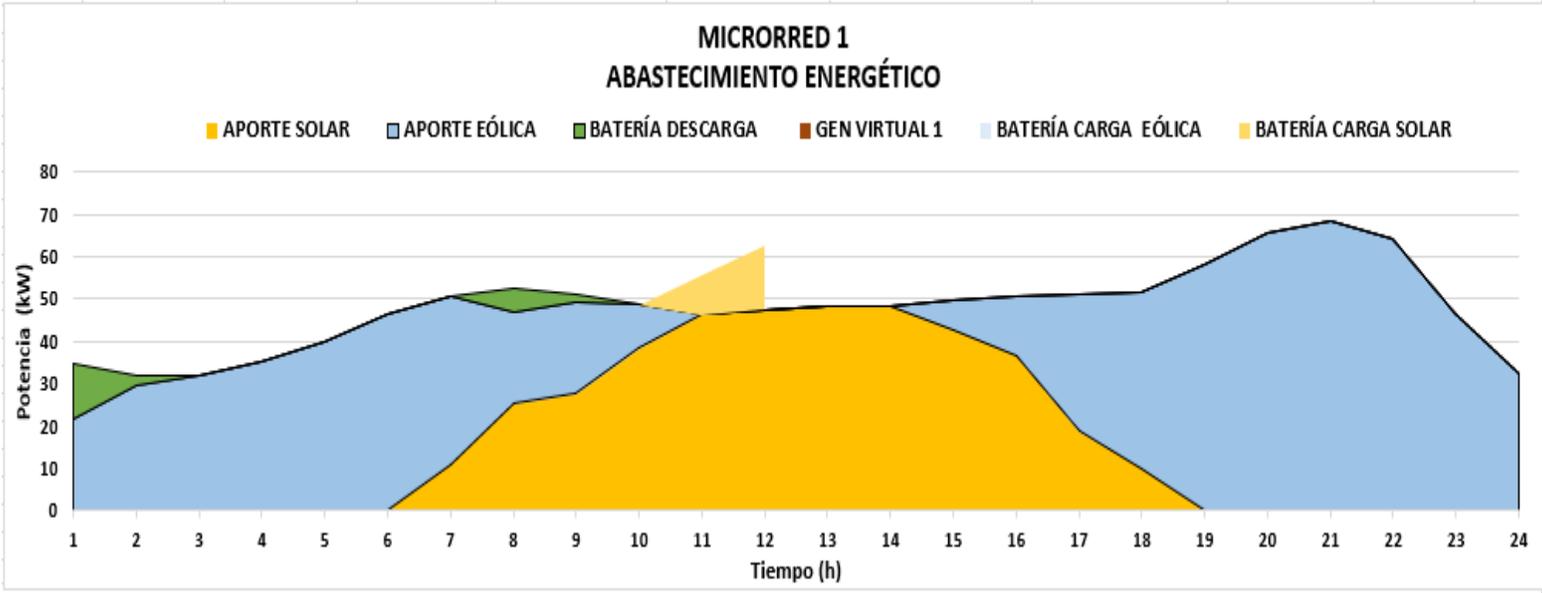
$$-\frac{\pi}{2} \leq \theta_2 \leq \frac{\pi}{2}$$

$$-\frac{\pi}{2} \leq \theta_3 \leq \frac{\pi}{2}$$

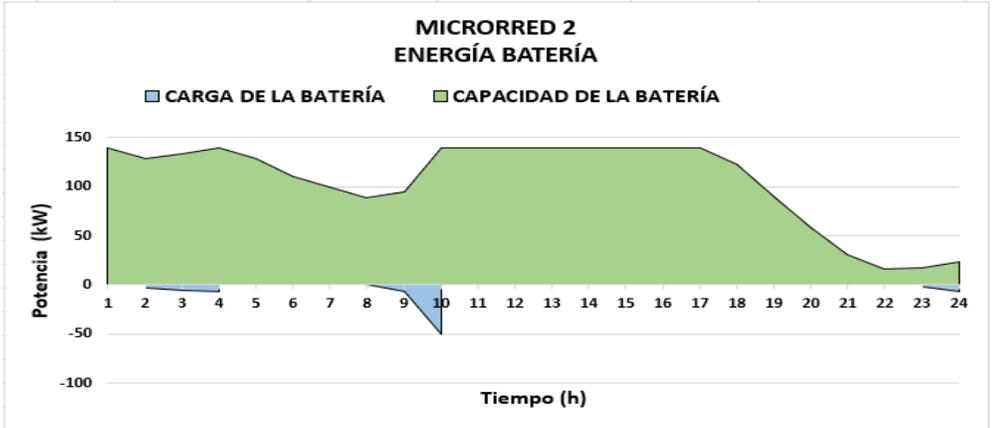
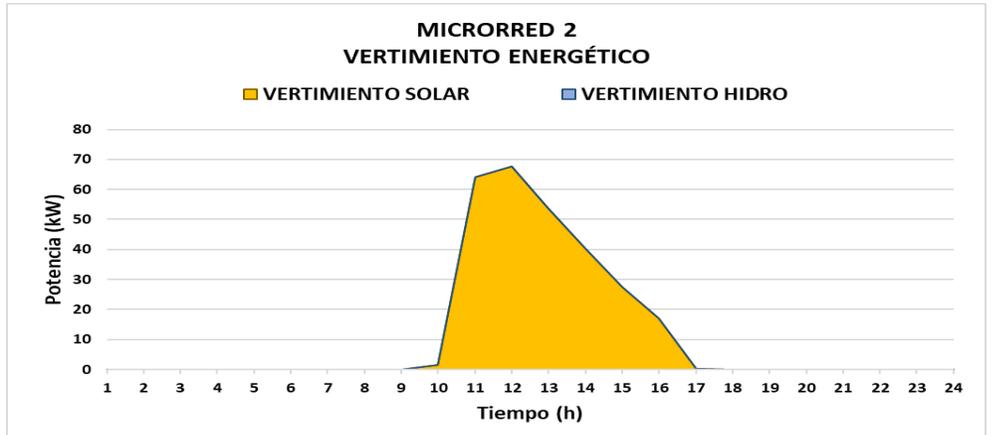
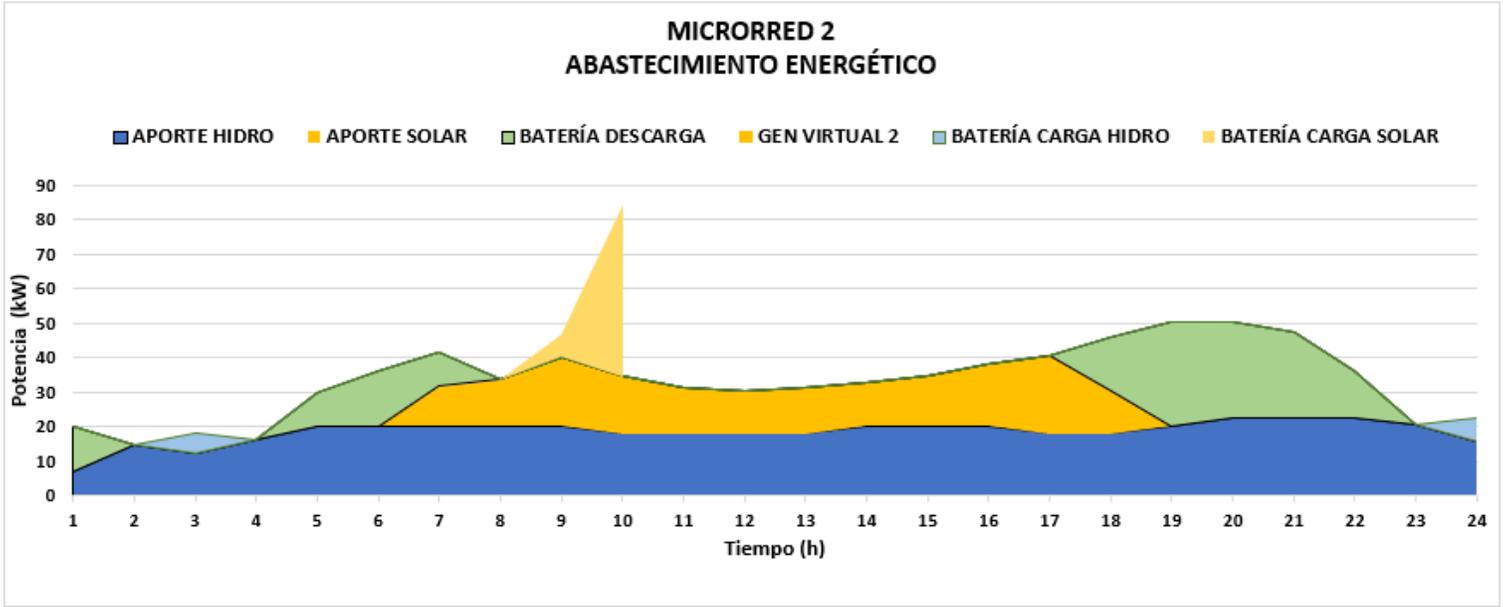
AGENDA



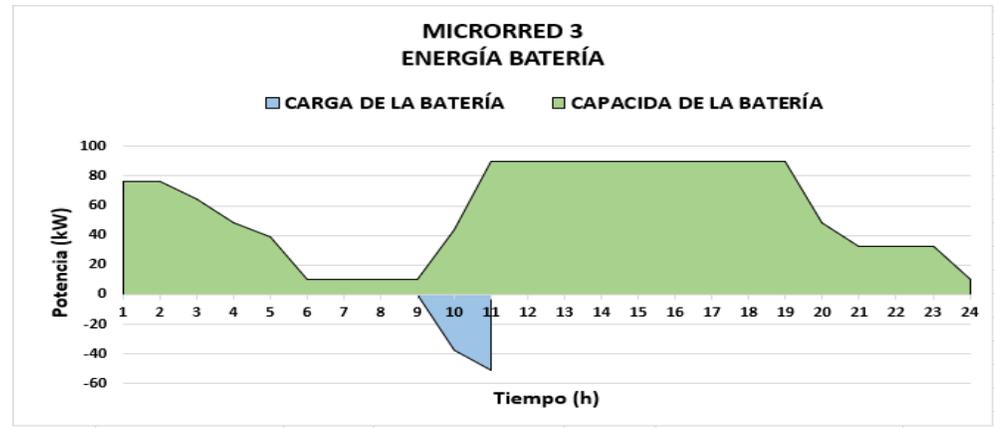
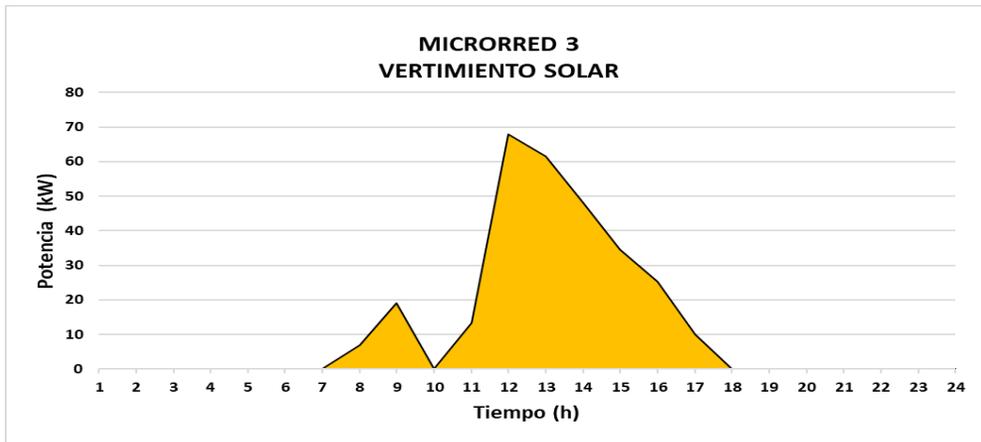
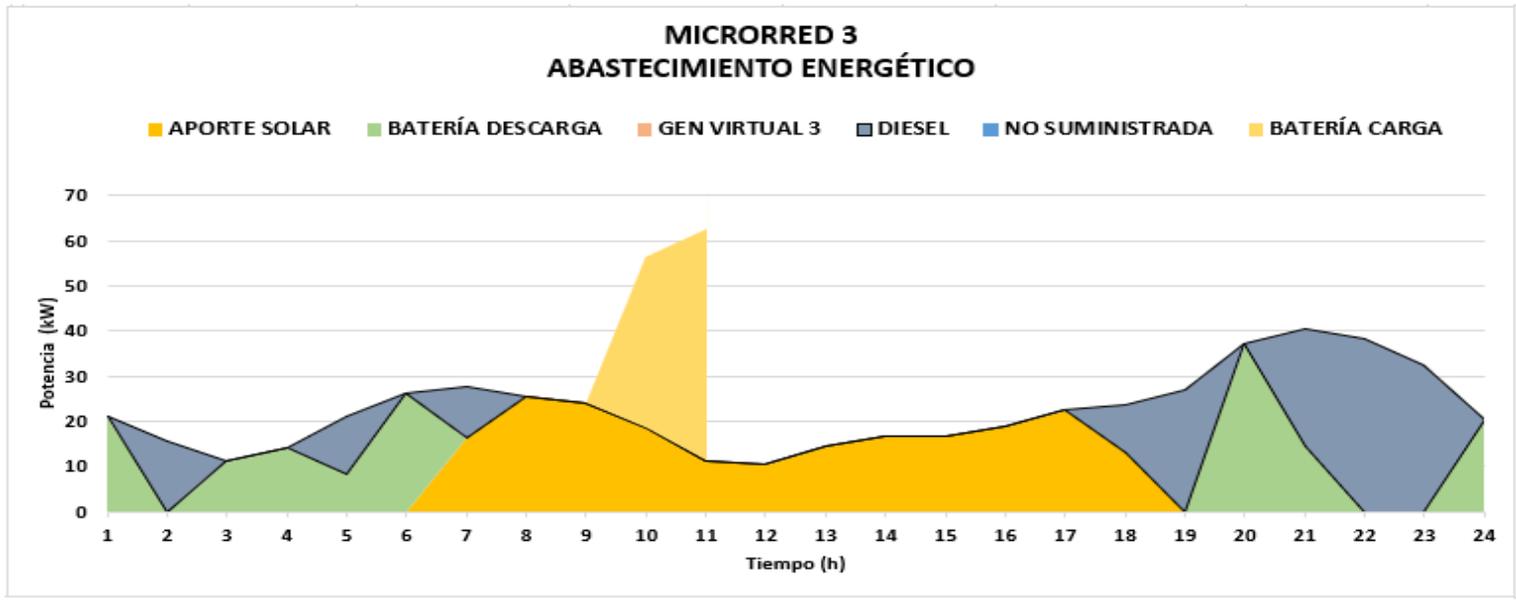
Operación antes del EMS Supervisorio (Microrred 1)



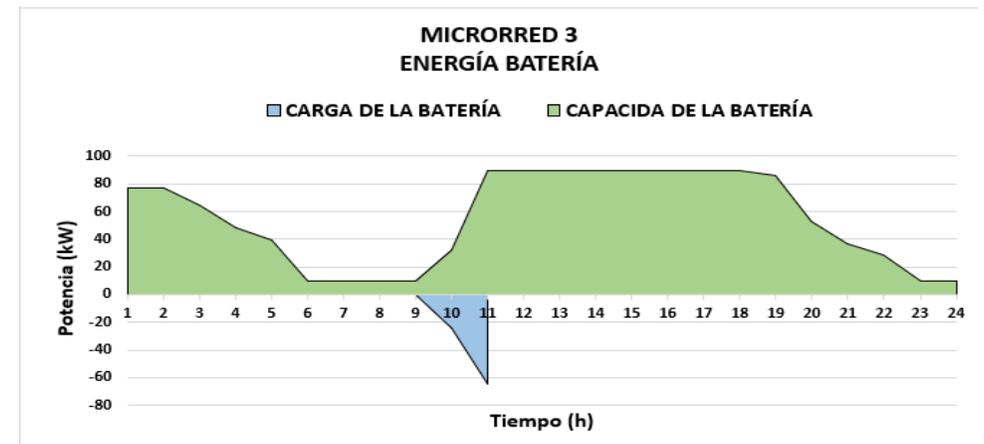
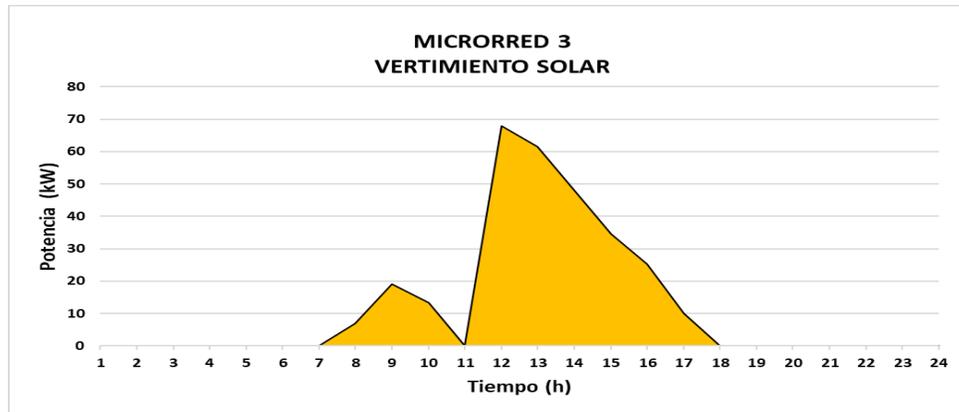
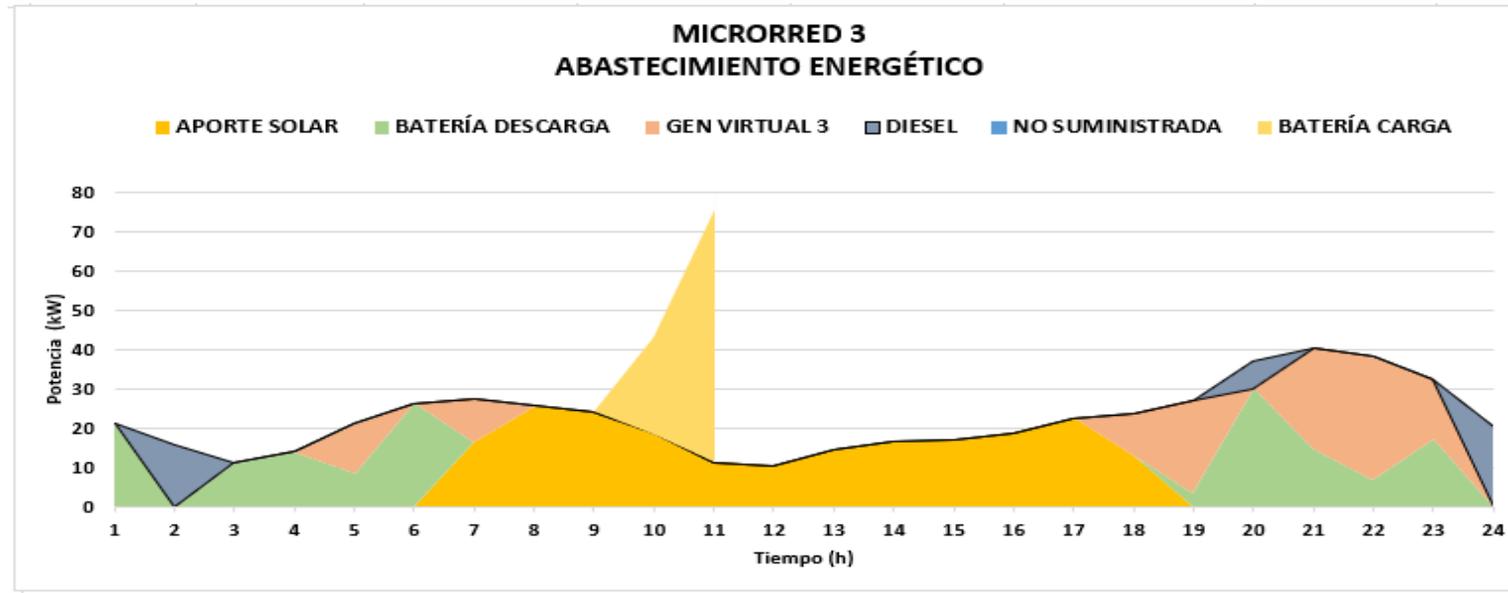
Operación antes del EMS Supervisorio (Microrred 2)



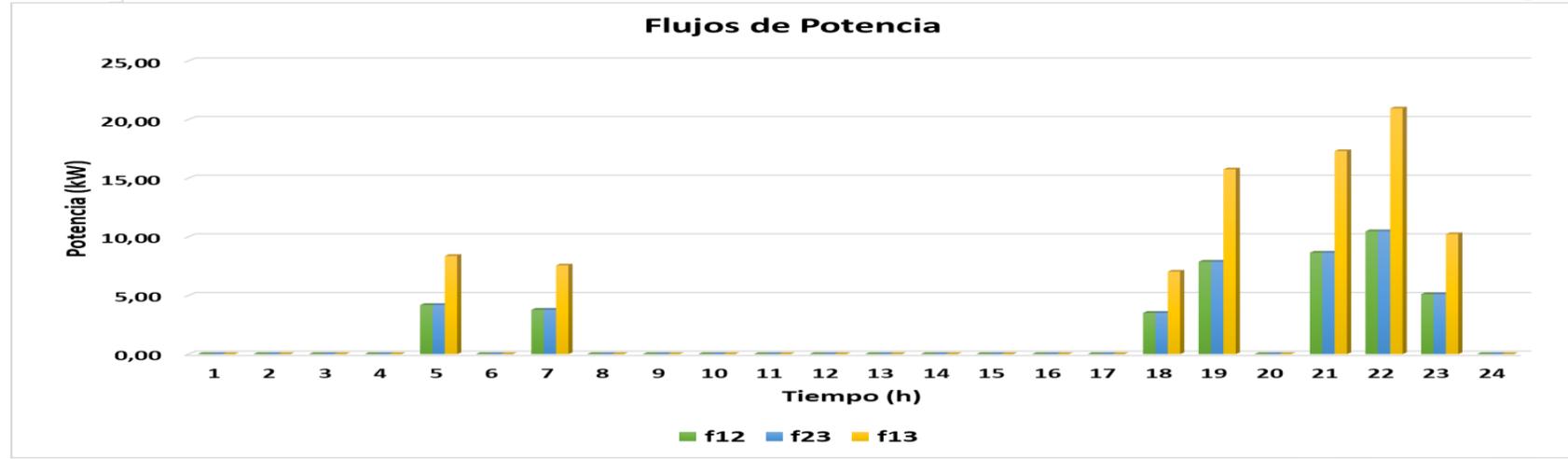
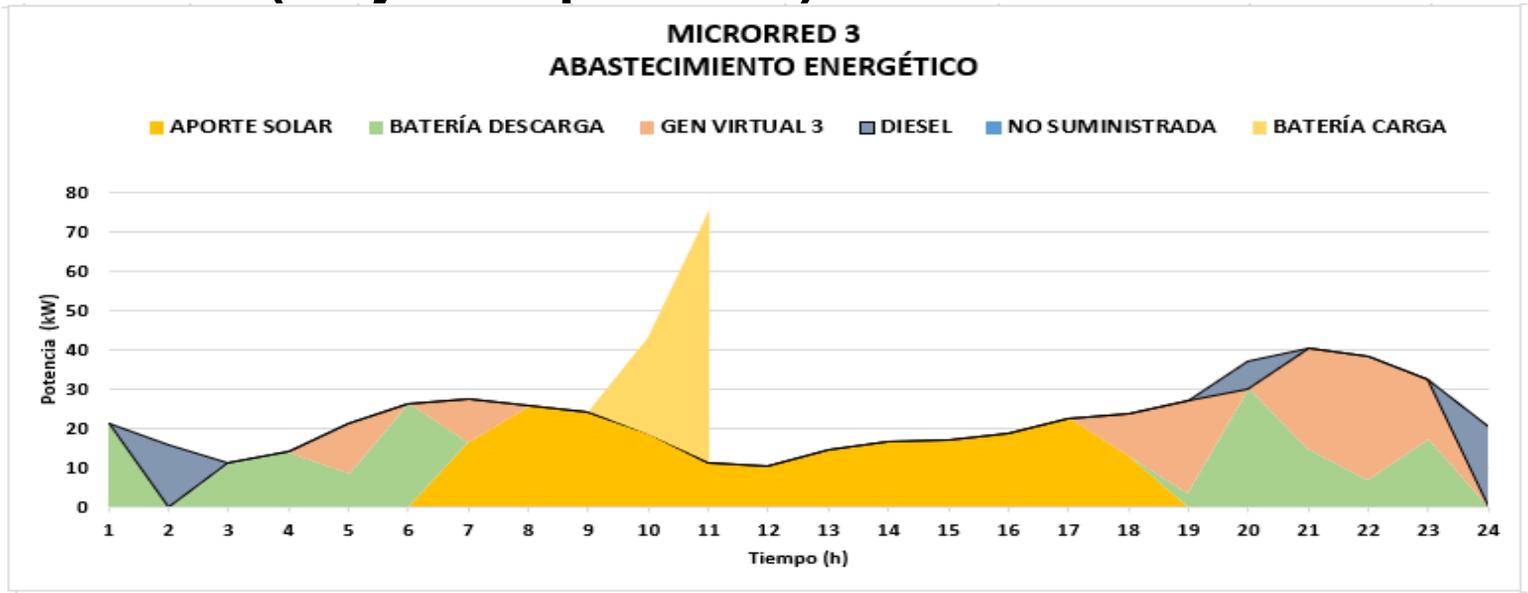
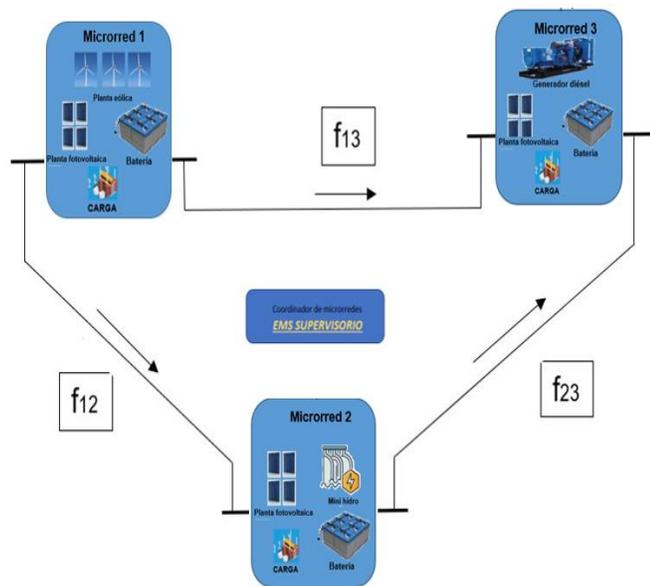
Operación antes del EMS Supervisorio (Microrred 3)



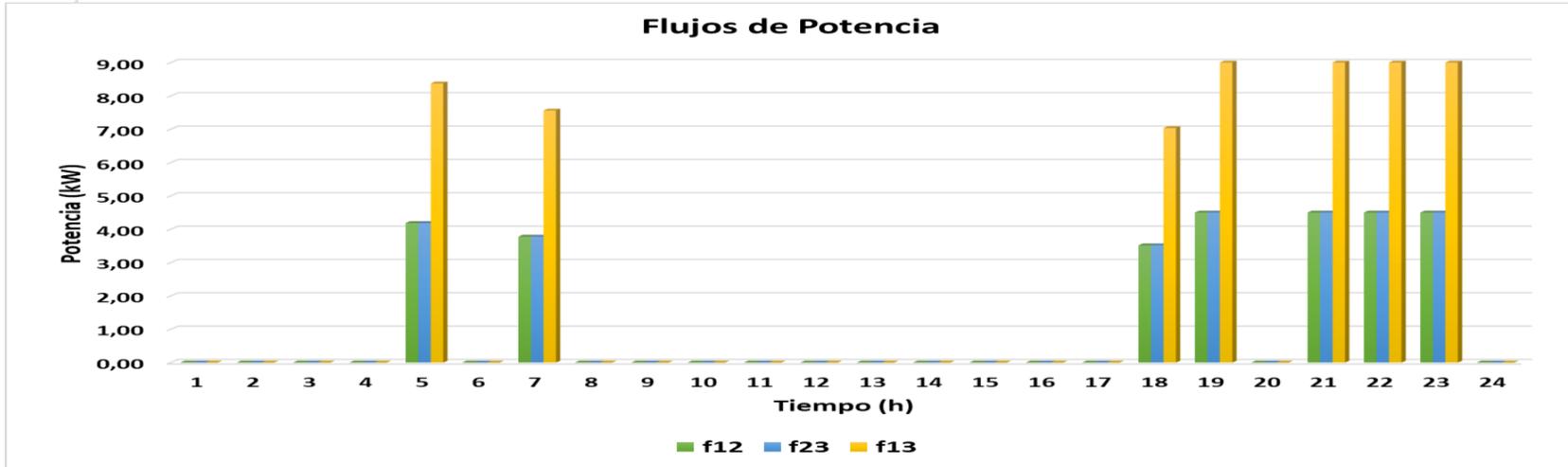
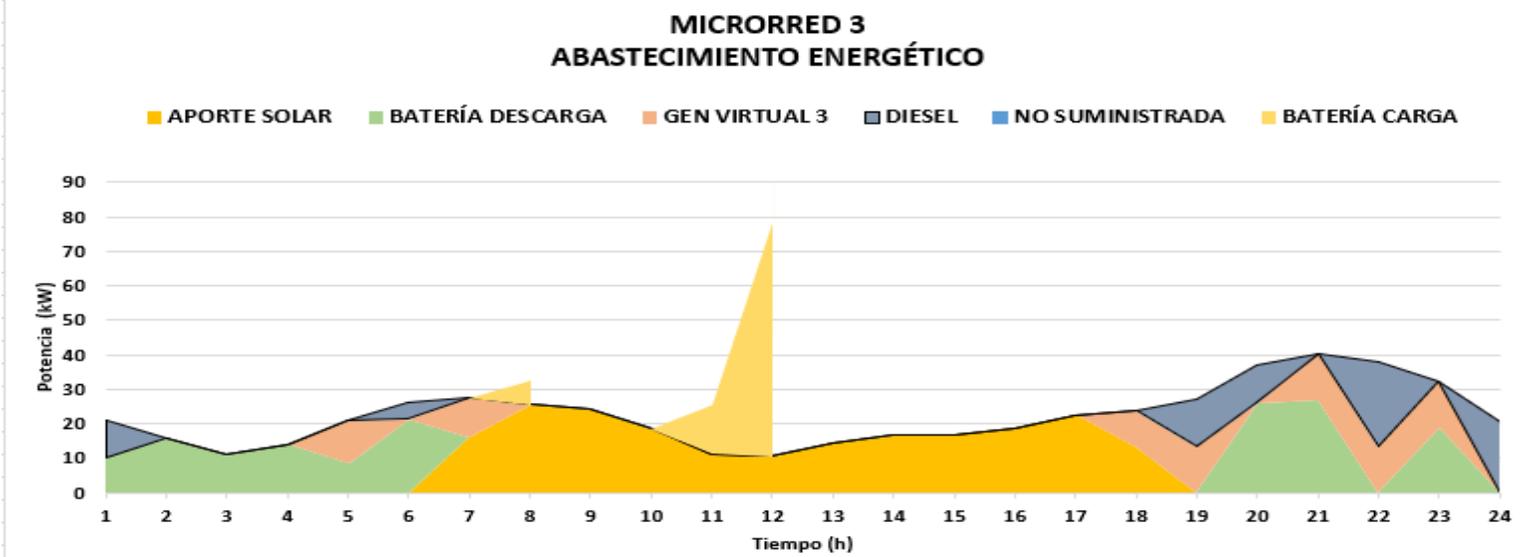
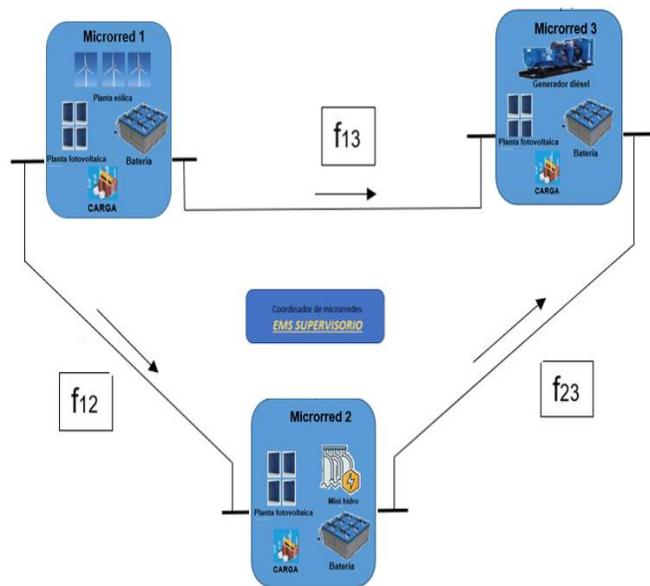
Operación después del EMS Supervisorio (Microrred 3)



Operación después del EMS Supervisorio (Flujos de potencia)



Operación después del EMS Supervisorio con restricción de flujos



Costos de Operación

Costo de operación de forma aislada

<i>Microrred</i>	<i>Costo de generación (\$)</i>	<i>Costo ENS (\$)</i>	<i>Costo total (\$)</i>
MG 1	0,00	0,00	0,00
MG 2	0,00	0,00	0,00
MG 3	160,82	0,00	160,82

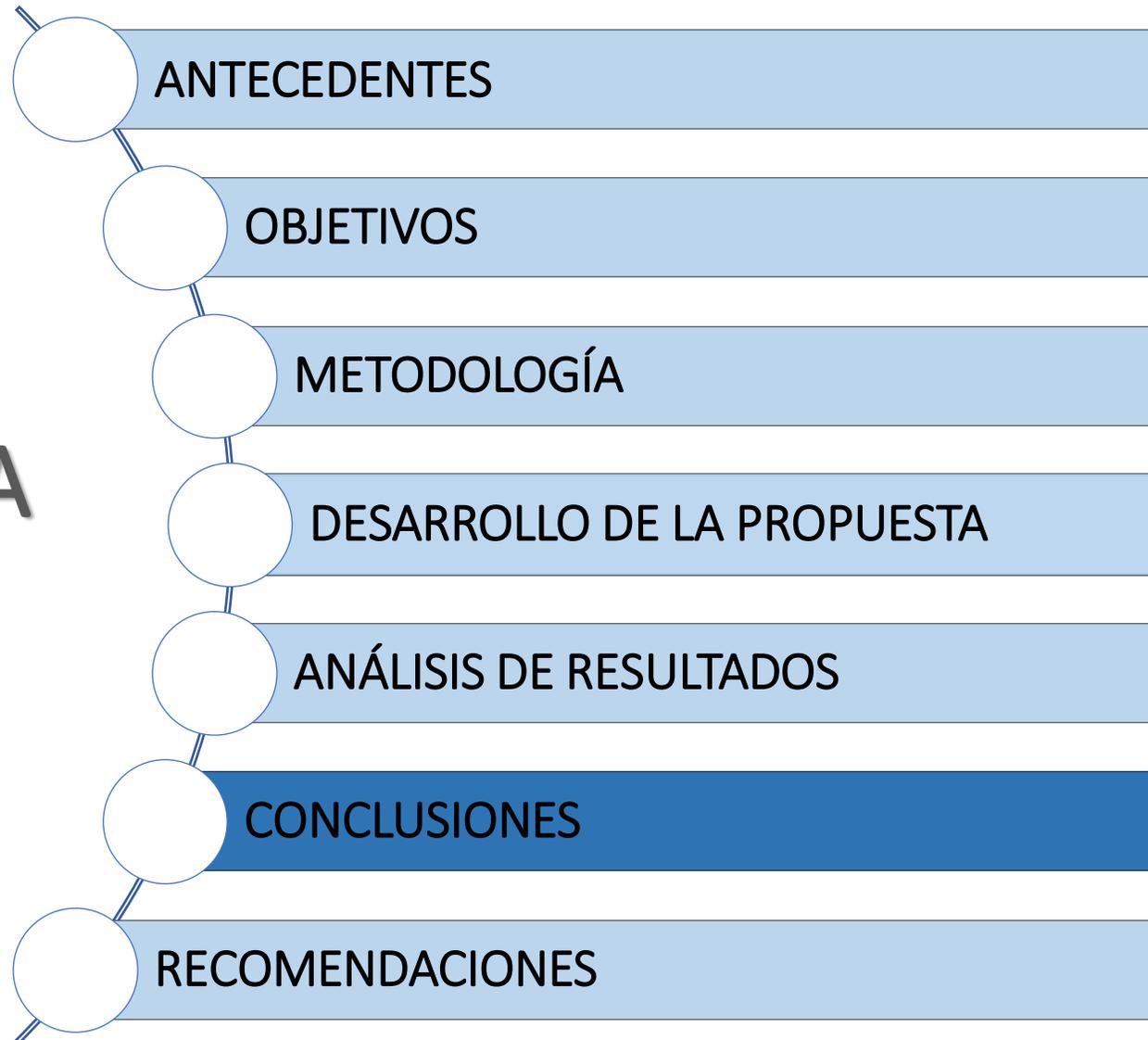
Costo de operación de forma coordinada

<i>Microrred</i>	<i>Costo de generación (\$)</i>	<i>Costo ENS (\$)</i>	<i>Costo total (\$)</i>
MG 1	0,00	0,00	0,00
MG 2	0,00	0,00	0,00
MG 3	56,13	0,00	56,13

Costo de operación con restricción de flujos

<i>Microrred</i>	<i>Costo de generación (\$)</i>	<i>Costo ENS (\$)</i>	<i>Costo total (\$)</i>
MG 1	0,00	0,00	0,00
MG 2	0,00	0,00	0,00
MG 3	70,43	0,00	70,43

AGENDA



Conclusiones

- ❑ Se desarrollo una metodología que aporta información sobre el comportamiento de las diferentes fuentes de energía disponibles en zonas remotas, considerando la demanda eléctrica de los domicilios y almacenamiento en las BESS para obtener el mayor aprovechamiento de los recursos que nos permite la correcta coordinación de las microrredes aisladas, con la metodología propuesta se puede gestionar la tecnología de cada microrred para obtener el comportamiento deseado.
- ❑ Se diseño un sistema de gestión óptima de la energía EMS local para cada microrred operando en modo isla, para lo cual se gestionó la energía disponible para cada microrred de forma independiente, mediante la formulación de ecuaciones de balance tomando en cuenta que las microrredes utilizan un sistema de almacenamiento con control de carga y descarga, logrando cubrir todo el perfil la demanda de las localidades, para el primer caso de estudio se concluye que la energía renovable disponible en el sector junto con las baterías, abastece en su totalidad estas demandas, mientras que la microrred 3 logra cubrir la demanda requerida mediante el aporte de generación a base de diésel en horas de la noche y madrugada, alcanzando los 173,80 kW de potencia activa generada en las 24 horas, representando un costo de generación de \$ 160,82.

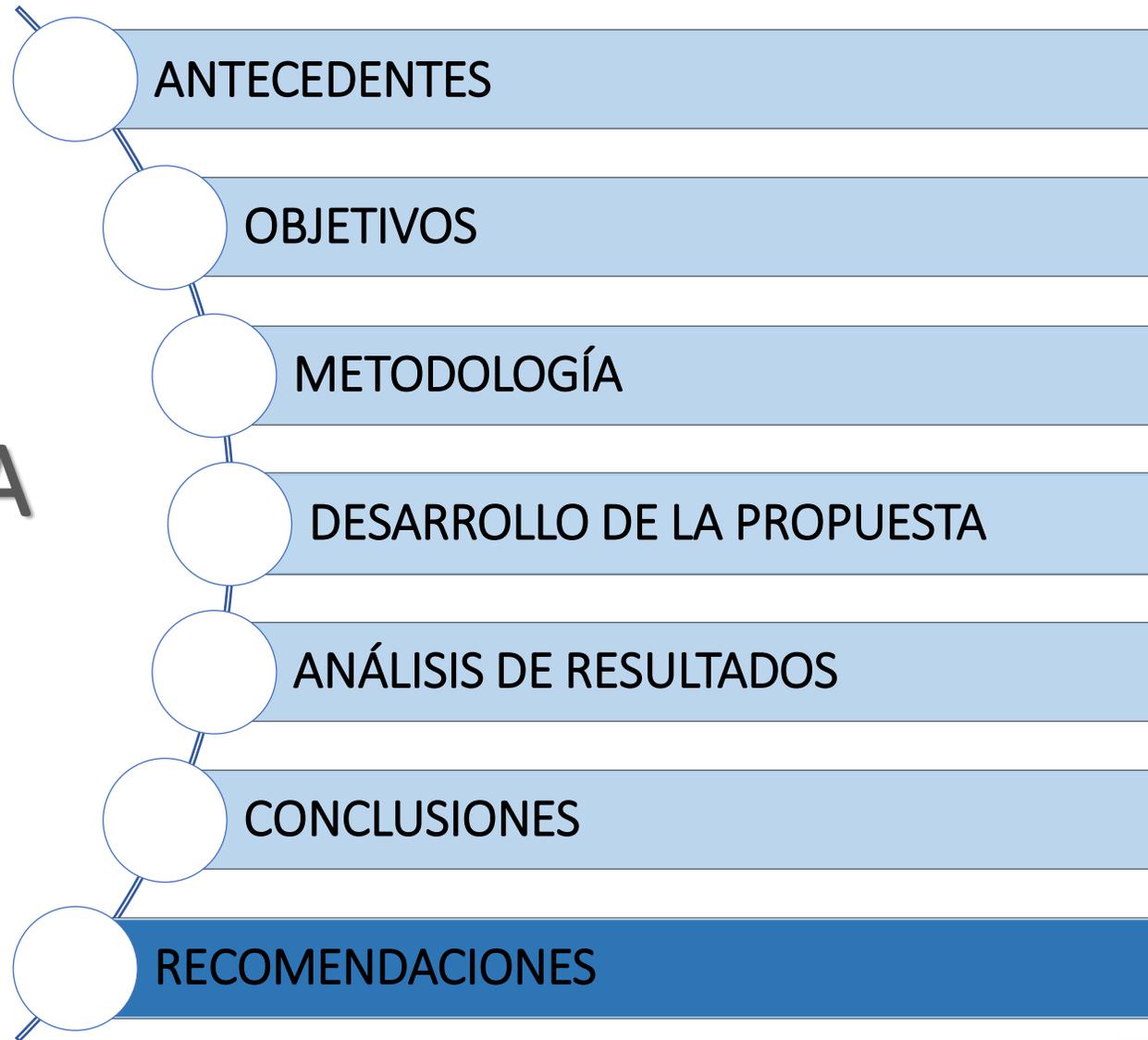
Conclusiones

- Mediante la implementación del sistema de gestión de la energía EMS supervisorio, se alcanzó una óptima coordinación entre las MG participantes, lo cual se vio reflejado en el aporte de energía por parte de las microrredes excedentarias hacia la MG deficitaria, es así que a lo largo del día la MG 1 y 2 entregaron un total de 130,82 kW a la MG 3 por medio de la llamada generación virtual, mientras que el generador diésel únicamente generó 42,9 kW en todo el día, lo cual representa una disminución del 75,26 % de potencia activa proveniente de fuentes de energías contaminantes y de alto costo.
- Con la reducción del costo de generación en la MG 3, las localidades se ahorran cerca de \$ 104,69 al día, reflejando un ahorro anual promedio de \$ 38.211,85, dinero que puede ser aprovechado para mejorar la infraestructura eléctrica y otros servicios básicos. Además del ahorro económico se pueden tener beneficios como: reducción del uso de fuentes de energía no renovable, reducción de la energía no suministrada principalmente en lugares de difícil acceso, obtener un mayor aprovechamiento de energías amigables con el medio ambiente y, por último, que la implementación de este sistema sería económicamente viable.

Conclusiones

- ❑ Mediante la ejecución de flujos de potencia en la interconexión de las microrredes, se validó la correcta coordinación y ejecución del EMS supervisorio, es así que se logra obtener una nueva perspectiva del funcionamiento más apegada a la realidad, unos de los comportamientos más visibles de los flujos es cuando el 50% de la energía de aporte o generación virtual se dirige directamente de la MG 1 a la MG 3 por medio de la línea 1-3 y el 50 % restante se dirige por la vía más larga, es decir haciendo paso por la barra de la MG 2, además al ejecutar limitaciones de flujo en las líneas de interconexión se obtiene como resultado el redireccionamiento de las mismas al ser un circuito cerrado.

AGENDA



Recomendaciones

- ❑ Para la selección de las fuentes de energía participes dentro de cada MG, se recomienda seleccionar localidades donde cuenten con recursos energéticos renovables cercanas al lugar de estudio, facilitando a su vez la planificación y recolección de datos históricos provenientes de fuentes confiables.
- ❑ Se recomienda corroborar los resultados obtenidos con otro tipo de metodología, obteniendo resultados confiables y nuevas perspectivas de solución a la problemática planteada.
- ❑ Establecer una variable auxiliar que actúe como enlace de comunicación entre los EMS locales y el EMS supervisorio, la cual permita llevar la información de generación virtual necesaria en la MG deficitaria.
- ❑ Para trabajos futuros enfocados en la coordinación de microrredes aisladas, se recomienda realizar estudios de distribución, coordinación de protecciones, lo cual permitirá una visión más clara de las exigencias de interconexión.

Referencias

- ❑ Alfredo Sánchez Silvera, J. G. (2021). Sistemas de gestión de energía descentralizado basado en multiagentes para la operación de múltiples microrredes. Colombia: UNIVERSIDAD SANTO TOMAS.
- ❑ ARCERNNR. (2020). AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES. Obtenido de Fuentes de energías renovables en el Ecuador.
- ❑ Bordons, C., Félix, G., & Valverde, L. (2015). ScienceDirect. Obtenido de Gestión Óptima de la Energía en Microrredes con Generación Renovable
- ❑ CENACE. (02 de Agosto de 2022). Producción Energética Anual. Obtenido de Información Operativa: <http://www.cenace.gob.ec/info-operativa/InformacionOperativa.htm>
- ❑ Che, L., Shahidehpour, M., Alabdulwahab, A., & Turki, Y. A. (2015). Hierarchical Coordination of a Community Microgrid With AC and DC Microgrids. EE.UU: IEEE.
- ❑ Gaviria, F., & Gómez, J. (2018). Metodología de optimización para microrredes eléctricas en zonas no interconectadas. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente
- ❑ H. Murdock, D. G. (2020). Renewables 2020 Global Status Report. Technical Report, REN21.
- ❑ IEEE. (2012). Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power Systems. IEEE Std 1547.4, New York, 1-54
- ❑ Llanos, J., Ortiz, D., Sáez, D., & Olivares, D. (2016). Economic dispatch for optimal management of isolated microgrids. Obtenido de IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7942382>
- ❑ Saenz, D. (2015). Diseño de estrategias de control para gestión de demanda de microrredes aisladas. Santiago de Chile: Universidad de Chile.



Sistema de gestión óptima de la energía para la coordinación de microrredes operando en modo isla.

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica

Autores: Pinto Calispa, Bryan Alexander
Torres Taco, Luis Gonzalo

Tutora: Ing. Llanos Proaño, Jacqueline del Rosario PhD.

Latacunga 2023

